

BIBLIOTEKA
SAZVEŽĐA

90

UREDNIK
MILOŠ STAMBOLIĆ

NIELS BOHR

ATOMSKA FIZIKA I LJUDSKO ZNANJE

CRTEŽ NA KORICAMA: DUŠAN RISTIĆ • RECENZIJA: ZVONKO MARIĆ • TEHNIČKI UREDNIK: BOGDAN ČURČIN • KOREKTOR: ANKA TEOFANOVIĆ • IZDAVAČ: NOLIT, BEOGRAD, TERAZIJE 27 • GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK: MILOŠ STAMBOLIĆ • ŠTAMPA: SLOBODAN JOVIĆ, BEOGRAD, STOJANA PROTIČA 52 • ŠTAMPANO U 3.000 PRIMERAKA 1985. GODINE.

NOLIT ● BEOGRAD
1985

Naslov originala
NIELS BOHR
ATOMIC PHYSICS
AND HUMAN KNOWLEDGE
© 1958 by Niels Bohr

S ENGLESKOG PREVELA
MIRJANA POPOVIĆ-BOŽIĆ

PREDGOVOR

O EPISTEMOLOŠKOM SADRŽAJU BOHROVOG PRINCIPA KOMPLEMENTARNOSTI

Bohrov princip komplementarnosti u uskoj formulaciji kazuje da se pri opisu fizičkih situacija u atomskim domenima mogu, i katkad moraju, koristiti različite ontologijske sheme, koje su, inače, međusobno isključive u pojavama makroskopske prirode.

„Da bi se ovo značajno stanovište slikovito predstavilo — pisao je Bohr — citiraću danskog pesnika i filozofa Paula Martina Møllera, koji je živeo pre stotinak godina i iza koga je ostao jedan nezavršen roman, koji još uvek sa uživanjem čitaju i stari i mladi u našoj zemlji. U ovom romanu, koji se zove *Avanture jednog danskog studenta*, autor na zadivljujuće živ i sugestivan način osvetljava uzajamne veze u različitim aspektima našega položaja, koje ilustruje diskusijama vođenim u jednom studentskom društvu, gde su učesnici različitih karaktera i raznih životnih pogleda.”*

* N. Bohr, *Essays 1958—1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*, New York, 1966.

Odlomak iz romana koji Bohr ima u vidu je razgovor između romantičnog studenta i činovnika filistarskog duha koji glasi.

Student: „Moja neprestana istraživanja stavljaju me u stanje nemoći da bilo šta završim. Štaviše, počinjem da mislim o svojim sopstvenim mislima u odnosu na situaciju u kojoj se nalazim. Mislim o tome na koji način o tome mislim i tako se delim u beskonačan povratni niz „Jastava” koja se između sebe osmatraju. Ne znam na kome svom *Ja* da se zadržim kao na istinitom, i baš kada se na jednom od njih zadržim, onda je to jedno moje *Ja* koje se je tu zadržalo. To izaziva u meni krajnju zbrku i imam osećaj vrtoglavice kao da sam razmišljao o ponoru bez dna.”

Filistar: „Nikako vam ne mogu pomoći da odvojite svoja mnogostruka *Ja*. To leži izvan njihovih delatnosti i bio bih lud koliko ste i vi, ili bih to postao, ako bih dozvolio da me ponesu ovakve sanjarije. Ono što određuje moje ponašanje jeste da se držim opipljivih stvari i da se krećem po širokom putu zdravog razuma. Tako se moja *Ja* nikada ne mešaju.”

Rosenfeld je uočio da se ovde nalaze sve glavne epistemološke teme koje je Bohr razmatrao ili ih se doticao: upotreba jezika u objektivnom saopštavanju iskustva, nužnost koja odavde sledi da se nedvosmisleno utvrdi upotreba izraza u odnosu na situaciju u kojoj su nastali i, konačno, pažnja koju treba posvetiti jeziku da bi se, uz mogućnost du-

alnog opisa, očuvala jasnost u komuniciranju”.*

Na danskom intelektualnom tlu Bohr je od Kierkegaarda učio o značenju diskontinualnih tokova, te se njegov uticaj oseća u Bohrovim komentarijama uz postuliranje teorije kvantnih skokova u atomskoj fizici, a od Høffdinga je preuzeo stajalište po kome „našem opisivanju prirode nije cilj da otkrije realnu suštinu pojava, nego samo da uspostavi, ukoliko je to uopšte moguće, odnose u mnogostranim vidovima našeg iskustva”.**

Mogućnost da se fizička svojstva u atomskim domenima opisuju klasičnim slikama, koje su u makroskopskim pojavama uzajamno isključive, proizilaze iz okolnosti da se mikroskopski fizički entiteti ne pojavljuju u samostalnoj objavi, nego uvek u sklopu jedne makroskopske okoline, čiji je glavni deo makroskopski merni uređaj. Makroskopska okolina određuje uslove za manifestaciju određenih atributa fizičke realnosti mikrostruktura i celovitost oba dela može biti i jeste predmet analize. Tako su osobine mikroskopskih fizičkih entiteta samo pojavnosti, i u makroskopskoj grani postoji jedna „sloboda izbora” u odnosu na okolnost koja se pojavnost želi aktualizovati. Time se u problemu odnosa subjekta i objekta jasna granica koju postulira kartezijski dualizam premešta u područje slobodnog izbora. Jedanput izvršen, ovaj izbor tu granicu stabilizuje jer je „razlika između subjekta i objekta nužna za nedvo-

* L. Rosenfeld, „Niels Bohr's Contribution to Epistemology”, *Physics Today*, 1963.

** N. Behr, *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge, 1934.

smisleni opis"*, ali ukupnost ovoga razlikovanja nije određena opštim principima, nego se iscrpljuje u prebrajanju mogućih opisa pod različitim uslovima. Ali u svakom od njih pojedinačno, pošto se ustanovi linija preseka subjekta i objekta, „sledi ne samo smisao svakog koncepta ili čak i svake reči, jer smisao zavisi od arbitrarnog izbora tačke gledišta, nego se moramo spremirati da u opštem slučaju prihvatimo činjenicu da jedan te isti objekat može zahtevati različite uglove gledanja, čime se odričemo jedinstvenog opisa".**

U doktrini komplementarnosti primenjenoj na fizičke situacije koncepti o kojima je reč, njihov smisao i pravila za njihovu upotrebu pripadaju klasičnoj fizici. To prističe iz makroskopske prirode mernog uređaja, to jest iz makroskopske okoline na kojoj se očitavaju u pojavnosti osobine fizičkog sveta na kvantnom nivou. Značaj klasičnih konceptata leži u okolnostima da se za jedanput izabranu graničnu crtu podele objekta i subjekta, iz koje slede „slike" klasične ontološke situacije, oni na neposredan način dovode u vezu sa ovim „slikama" kao nedvosmislene „forme percepcije", što se u datoj podeli precizno formira naučni jezik koji je „prefinjeni jezik svakodnevnog iskustva" i što se sa njima mogu povezati uslovi njihovog oformljenja i jednovremeno odrediti područja smislenosti njihove primene.

Klasični koncepti su aktivne kategorije percepcije „jer se u svakom novom iskustvu [ovi kon-

cepti] pojavljuju kao maše uobičajene predstave i forme percepcije. [Pri tome] relativna važnost koja se pripisuje različitim aspektima jednog naučnog istraživanja zavisi od prirode objekta koji istražujemo i čest je slučaj da „objektivnost" fizičkih opservacija može biti pogodno iskorišćena da se istakne subjektivni karakter sveg našeg iskustva".* Subjektivnost je izraz izabranog horizonta istraživanja.

Drugu ulogu koju klasični koncepti ispunjavaju, onu jezičke, to jest komunikacione naravi, Bohr je označio „kao prost logički zahtev, jer pod rečju ‚ogled' mi podrazumevamo proceduru koja nam omogućuje da saopštimo drugima to što smo uradili i naučili".**

Razlikovanjem uslova pod kojima se klasični koncept može formirati od uslova njegove pravilne upotrebe širi domen primene principa komplementarnosti.

Ova se okolnost najbolje uočava u analizi uloge mernih aparata, koji su, po definiciji, makroskopske prirode i koji služe za konceptualizaciju fizičkih atributa u uslovima kvantno-mehaničke situacije. Međutim, kontakt mernog aparata i mikroskopskog objekta postiže se međudelovanjem makroskopskih karakteristika mernih uređaja i objekata, to jest pretpostavlja se da u svom funkcionalnom delu merni uređaj sadrži fizičke entitete mikroskopske prirode ugrađene u fizičku situaciju na način koji celokupnost svih delova čini

* N. Bohr, *Atomska fizika i ljudsko znanje*, str. [105].

** N. Bohr, *op. cit.*, 1934.

* N. Bohr, *op. cit.*, 1934.

** N. Bohr, *Nature*, 121 (1928), 580.

„osetljivom” i odlučujućom za mikroskopsku pojavnost u istraživanju. Ova mikroskopičnost makroskopskog uređaja je opisana zakonitostima kvantno-mehaničke situacije, to jest u čisto fizičkom domenu Heisenbergovim relacijama neodređenosti kojima se postulira principijelna nemogućnost kompletnog opisa koji karakteriše klasičnu fiziku. Odavde sledi Bohrov zaključak da je za ukupnost uslova „odlučujuće da, za razliku od mernih instrumenata u uskom smislu reči, ova tela zajedno sa česticama konstituišu sistem na koji se mora primeniti formalizam kvantne mehanike”.*

Na ovaj se način jedna makroskopska situacija pretvara u dva komplementarna dela: makroskopičnost aparata u uskom smislu reči i makroskopičnost celovitosti kvantnih okolnosti. Odavde, po unutrašnjoj logici razmatranja, doktrina komplementarnosti može napustiti domen fizičkih zakonitosti i preći u druga područja misaone aktivnosti. To se posebno uočava globalnim određenjem prirode makroskopskih koncepata, njihovom vezom sa jezikom i analizom uslova njihove adekvatnosti koja služi jednovremeno kao pravilo proverljivosti.

Za ovakvo proširenje domena valjanosti principa komplementarnosti Bohr je tražio i nalazio primere u biologiji, psihologiji i sociologiji kulturnih stratifikacija. Ono što u ovom širenju ostaje nedovoljno poznato ne odnosi se samo na mogućnost postojanja različitih pogleda na jednu uoče-

nu datost nego na okolnost da se ovim principom izgrađuje diskurs koji sva obrazloženja zakrivljuje prema ravni na kojoj treba opravdati inherentnu statističku zakonitost u kvantno-mehaničkoj realnosti, to jest, nemogućnost da se ova svede na izvesnost koja se u suženoj formi, preko minimalnih zahteva, izražava iskazom da stvari poseduju svojstva po sebi, nezavisno od opservacionih okolnosti. Da li primena doktrine u rečenim disciplinama van domena fizičkih nauka uzima u obzir ovaj njen generički sloj pitanje je analize i metodologije koje one primenjuju u saglasnosti sa prirodom istraživačkog „supstratuma”.

U odnosu na filozofsku tradiciju elementi ovog filozofskog stanovišta, naročito naglašavanje značaja uslova kojima se određuju konceptualizovani atributi fizičke realnosti, imaju srodnosti sa Kantovim zahtevom „da ne samo da moramo očekivati nego moramo zahtevati do mogućih granica za svaki član u nizu uslova njegovu empiričku uslovljenost u mogućem eksperimentu”.

Analogije sa *Kritikom*, međutim, nisu daleko-sežne jer se u principu komplementarnosti apriorni elementi ne analiziraju i zahtev za „sintetičkim jedinstvom svesti kao objektivnim uslovima poimanja”, koji je kod Kanta uslov koji mora biti ispunjen ako se želi „susret” sa empiričkom datošću, kod Bohra se prevodi u drukčiji opis ljudskog izbora granice između subjekta i objekta.

Bohrovo stanovište kojim se zamenjuje ontološka matrica u poimanju prirode fizičkih objekata ima drukčiji vidokrug i drukčije određuje usme-

* N. Bohr, *Atomska fizika i ljudsko znanje*, str. [98.]

renje naučnog istraživanja nego što se to čini u prvim principima filozofske struje objektivizma. U ovoj se, na primer, argumentuje da „Bohr očigledno veruje da odbacivanje ontološke osnove ima za osnovu staru istinu da smo mi jednovremeno posmatrači i akteri u velikoj drami postojanja. Ali i potpuno se drukčiji filozofski zaključak iz ovoga da izvući: da moramo pokušati da formulišemo svoj pogled na svet koji će biti prilagođen celom iskustvu, uključujući i nas kao posmatrače u svetu. Pri tom moramo formulirati epistemologiju tako da ona sadrži osnove ovakvog pogleda na prirodu. U tako kompletnom i usaglašenom pogledu, bića koja mogu imati subjektivna iskustva, imaju, takođe, i objektivni položaj u prirodi i onda se može pokazati da subjektivna iskustva slikaju objektivnost realnog sveta. Bohr nije na odlučan način pokazao da je ovakav pogled neodrživ i alternativa koju je on ocrtao nedovoljno jasno je određena da bi mogla služiti za zamenu [realističke filozofije]”.*

Može se verovati da bi Bohr započeo ovaj odgovor navođenjem dijaloga iz Møllerove novele.

ZVONKO MARIĆ

ATOMSKA FIZIKA I LJUDSKO ZNANJE

* A. Shimony, „Role of the Observer in Quantum Theory”, Am. Jour. of Phys., 1963.

PREDGOVOR

Ova zbirka članaka, napisana u različitim prilikama tokom poslednjih 25 godina, predstavlja nastavak ranijih eseja koje je izdao Cambridge University Press (1934) u knjizi nazvanoj ATOMSKA TEORIJA I OPIS PRIRODE.* Tema članaka je pouka iz teorije saznanja koju nam je dao moderni razvoj atomske fizike i njen značaj za analizu i sintezu u mnogim oblastima ljudskog znanja. Članci u prethodnom izdanju su napisani u vreme kada je izgradnja matematičkih metoda kvantne mehanike stvorila čvrste osnove za konzistentan opis atomskih pojava, a uslovi za jasan prikaz iskustva u tome okviru su okarakterisani pojmom komplementarnost. U člancima koji su ovde skupljeni taj prilaz je dalje razvijen u logičnu formulaciju i data mu je šira primena. Naravno, mnoga ponavljanja su bila neizbežna, ali nadam se da to može poslužiti da prikaže postepeno razjašnjava-

* Naslov originala: ATOMIC THEORY AND THE DESCRIPTION OF NATURE.

nje argumentacije, a posebno u vezi s razvijanjem sažetije terminologije.

U razvoju ovih pogleda diskusije sa ranijim i sadašnjim saradnicima u Institutu za teorijsku fiziku na Univerzitetu u Kopenhagenu bile su mi veoma dragocene. Za pomoć u razrađivanju članaka u ovoj knjizi posebno sam zahvalan Oskaru Kleinu i Leonu Rosenfeldu, sada na univerzitetima u Stokholmu i Mančesteru, kao i Stefanu Rozentalu i Aege Petersonu iz Instituta u Kopenhagenu. Takođe želim da se zahvalim gđi S. Hellmann za njenu veoma delotvornu pomoć u pripremi članaka i ovoga izdanja.

Kopenhagen,
Avgust 1957.

NIELS BOHR

UVOD

Značaj fizike za opšte filozofsko mišljenje ne leži samo u njenim doprinosima našem stalno rastućem znanju o prirodi, čiji smo mi sami deo, već i u činjenici da nas je, s vremena na vreme, navedila na preispitivanje i usavršavanje naših pojmovnih sredstava. Studiranje atomske strukture materije u toku našeg veka je otkrilo nenaslućena ograničenja okvira klasičnih fizičkih ideja i bacilo novu svetlost na zahteve naučnom objašnjenju ugrađene u tradicionalnu filozofiju. Preispitivanje osnova za jasnu primenu naših temeljnih pojmova potrebnih za razumevanje atomskih pojava ima, dakle, posledice daleko izvan posebne oblasti fizičkih nauka.

Poenta u pouci koju nam je dao razvoj atomske fizike je, kao što je dobro poznato, spoznaja celovitosti u atomskim procesima, koje se ispoljilo kroz otkriće kvanta dejstva. Članci koji slede prikazuju bitne aspekte situacije u kvantnoj fizici i istovremeno ističu sličnosti našeg položaja

u njoj i drugim oblastima znanja izvan okvira mehaničke koncepcije prirode. Mi se ovde ne bavimo manje-više proizvoljnim analogijama, već istražujemo uslove za pravilnu upotrebu naših pojmovnih sredstava izražavanja. Ovakva razmatranja ne samo što imaju za cilj da nas srode sa novom situacijom u fizičkim naukama već mogu, zbog relativne jednostavnosti atomskih problema, biti od pomoći pri razjašnjavanju uslova za objektivan opis u drugim oblastima.

Mada su sedam eseja koji su ovde skupljeni tesno povezani, oni spadaju u tri posebne grupe koje, redom, potiču iz perioda 1932—1938, 1949 i 1954—1957. Prva tri članka, direktno povezana sa člancima u prethodnom izdanju, diskutuju biološke i antropološke probleme pozivajući se na svojstvo celovitosti koje ispoljavaju živi organizmi i ljudske kulture. Naravno nije bio cilj da se da iscrpan prikaz ovih predmeta, već je samo naznačeno kako se ti problemi pojavljuju u svetlosti opšte pouke atomske fizike.

Četvrti članak se bavi diskusijama među fizičarima o epistemološkim problemima koje je izazvala kvantna fizika. Zbog karaktera rasprave, izvesno oslanjanje na matematička sredstva je bilo neizbežno, ali razumevanje argumenata ne zahteva nikakvo posebno znanje. Međutim, debata je dovela do razjašnjenja novih aspekata problema posmatranja, povezanih sa okolnošću da interakcija između atomskih objekata i mernih instrumenata čini integralni deo kvantnog fenomena. Prema tome, podaci dobiveni pomoću različitih eks-

perimentalnih uređaja ne mogu se razumeti na uobičajen način, a neophodnost da se uzmu u obzir uslovi pod kojima su podaci dobiveni neposredno zahteva komplementaran način opisivanja.

Poslednja grupa članaka je tesno povezana sa prvom, ali se nadamo da je poboljšana terminologija koja se koristi da se prikaže situacija u kvantnoj fizici učinila opšti argument lakše prihvatljivim. Prilikom primene na probleme šireg dometa, posebno su naglašene prapretpostavke za jasnu upotrebu pojmova koje se koriste u prikazu iskustva. Suština argumenta je da je za objektivan opis i skladno poimanje u svakom polju znanja potrebno obratiti pažnju na okolnosti pod kojima su podaci dobijeni.

SVETLOST I ŽIVOT 1932.

Kao fizičar, čije su studije ograničene na istraživanja svojstava neorganske materije, sa dosta ustezanja sam prihvatio ljubazan poziv da govorim ovome skupu naučnika okupljenih radi produbljenja naših znanja o lekovitom dejstvu svetlosti. Nemoćan da doprinesem toj grani nauke, koja je toliko značajna za dobrobit čovečanstva, mogao bih ipak izneti neka zapažanja o svetlosnim fenomenima, čisto neorganske prirode, koji su godinama privlačili izuzetnu pažnju fizičara zbog toga što je svetlost naše osnovno sredstvo za posmatranje. Mislio sam da bi ovom prilikom bilo interesantno proučiti pitanje u kojoj meri rezultati dobiveni u uskom području fizike utiču na naše shvatanje položaja živih organizama u sklopu prirodnih nauka uopšte. Ne dotičući suptilnost zagonetke o životu, ovo pitanje se postavlja na svakom stadijumu razvoja nauke, jer se svako naučno objašnjenje u suštini sastoji u svođenju skupa slo-

ženih činjenica na neki drugi jednostavniji skup. Danas se javilo novo interesovanje za ovaj stari problem pošto nam je najnoviji razvoj atomske teorije doneo neočekivan dokaz o bitnim ograničenjima mehaničkog opisa prirode. U osnovi tog najnovijeg razvoja se nalazi veoma duboka studija interakcije svetlosti i materijalnih tela, interakcije čija izvesna svojstva su nesaglasna sa nekim uslovima koje su do sada morala da zadovoljavaju sva objašnjenja u fizici. Kao što ću pokušati da pokažem, naponi fizičara koji žele da ovladaju ovom situacijom liče u izvesnoj meri na stav koji su manje-više intuitivno zauzimali biolozi u odnosu na svojstva živih bića. Već sada bih hteo da podvučem da samo u tome formalnom pogledu svetlost, koja je verovatno najjednostavnija od svih fizičkih fenomena, ispoljava analogiju sa životom, čija raznolikost prevazilazi mogućnosti naučne analize.

Sa tačke gledišta fizike svetlost se može definisati kao prenošenje energije između udaljenih materijalnih tela. Kao što je poznato, ovi efekti se jednostavno objašnjavaju u teoriji elektromagnetizma, koja se može smatrati racionalnim uopštenjem klasične mehanike koje omogućuje da se ukloni protivurečnost između dejstva na daljinu i dejstva pri dodiru. U ovoj teoriji svetlost je predstavljena preko stegnutih električnih i magnetnih oscilacija koje se razlikuju od uobičajenih oscilacija povezanih sa radio talasima utoliko što imaju veću frekvenciju oscilovanja i kraću talasnu dužinu. U stvari, pravolinijsko prostiranje

svetlosti, koje omogućuje lokalizaciju objekata pri direktnom viđenju ili pri posmatranju pomoću optičkih instrumenata, posledica je male talasne dužine u odnosu na veličinu posmatranih objekata i instrumenata. Štaviše, talasna svojstva svetlosti ne leže samo u osnovi našeg objašnjenja boja — koje su nam u spektroskopiji donele toliko značajnih podataka o sastavu materije — već igraju bitnu ulogu u svim finim analizama optičkih fenomena. Podsetiću na interferentne slike, kao tipičan primer, koje se pojavljuju kada svetlost iz jednog izvora dolazi do zaklona prolazeći dvama različitim putevima. Tako nalazimo da su efekti koje izaziva svaki pojedinačni snop pojačani u tačkama ekrana u kojima se faze dva talasa poklapaju, što znači da električne i magnetne oscilacije dvaju snopova imaju isti smer dok su oslabljeni, pa čak mogu biti i poništeni u tačkama u kojima oscilacije imaju suprotan smer, tj. u kojima su, kako se kaže, dva talasa u suprotnoj fazi.

Ove interferentne slike nam pružaju toliko kompletan dokaz o talasnoj prirodi svetlosti da se talasna priroda ne može smatrati hipotezom u običnom smislu reči, već se pre može govoriti o pogodnom opisu posmatranog fenomena.

Pa ipak, kao što znate, pitanje prirode svetlosti je postalo predmet novih diskusija u toku poslednjih godina zbog otkrića jednog bitno atomskog svojstva u mehanizmu prenosa energije, koje je potpuno neobjašnjivo u okviru elektromagnetne teorije. U stvari svaki prenos energije pomoću svetlosti se može svesti na pojedinačan proces u

kome se izmenjuje tzv. kvant dejstva svetlosti koji je jednak proizvodu frekvencije elektromagnetne oscilacije i univerzalnog kvanta dejstva, tj. Plankove konstante. Očigledna suprotnost između ovog atomizma svetlosnih efekata i kontinualnosti prenosa energije vodi nas u dilemu takvog karaktera koji fizika do sada nije poznavala. Ali, uprkos očiglednoj nekompletnosti talasne slike, ne dolazi u obzir da se razmatra mogućnost zamene talasne slike prostiranja svetlosti nekom drugom slikom koja je zasnovana isključivo na uobičajenim mehaničkim konceptima. Posebno, mora se naglasiti da se svetlosni kvanti ne mogu posmatrati kao čestice kojima se može pripisati dobro definisana putanja u smislu obične mehanike. Kao što bi interferentna slika potpuno nestala kada bismo na put jednog od snopova postavili nepropustljivo telo da bismo bili sigurni da svetlost ide samo jednom putanjom, tako je nemoguće utvrditi putanju svetlosnih kvanata u bilo kome fenomenu u kome su bitna talasna svojstva svetlosti a da fenomen koji se istražuje ne bude bitno poremećen. Doista, prostorni kontinuitet naše slike prostiranja svetlosti i atomistički karakter svetlosnih efekata su komplementarni aspekti u smislu da uzimaju u obzir podjednako važna svojstva svetlosnih fenomena koja se nikada ne mogu dovesti u međusobnu kontradikciju pošto je dublja analiza tih svojstava u mehaničkom smislu moguća samo uz pomoć eksperimentalnih uređaja koji se međusobno isključuju. Istovremeno, ova situacija nas primorava da se odrekemo kompletno kauzalnog

opisa svetlosnih fenomena i da se zadovoljimo sa probabilističkim zakonima koji se zasnivaju na činjenici da elektromagnetni opis prenosa energije važi u statističkom smislu. To predstavlja tipičnu primenu tzv. principa korespondencije, koji izražava težnju da se što je moguće više koriste koncepti klasične mehanike i klasične elektrodinamike, uprkos činjenici da je kvant dejstva neobjašnjiv u okviru ovih teorija.

Na prvi pogled ova situacija može izgledati veoma neprihvatljivom, ali kao što se u nauci često dešavalo kada su nova otkrića dovodila do saznanja da su koncepti koji su dotle smatrani neophodnim u suštini ograničeni, mi smo nagrađeni tako što nam se pogled širi i povećava moć povezivanja fenomena koji su izgledali kontradiktorni. Doista, ograničenje klasične mehanike koje je simbolizovano u kvantu dejstva dalo nam je ključ za razumevanje unutrašnje stabilnosti atoma na kojoj je, u suštini, zasnovan mehanički opis svih prirodnih fenomena. Naravno, nemogućnost da se nedeljivost atoma opiše mehaničkim pojmovima oduvek je bila bitno svojstvo atomske teorije i ta situacija je ostala praktično neizmenjena čak i kada je pojam nedeljivosti atoma zamenjen slikom da su atomi i molekuli izgrađeni od elementarnih naelektrisanih čestica, elektrona i protona. Ono o čemu ja govorim nije problem unutrašnje stabilnosti ovih elementarnih čestica, već je reč o problemu stabilnosti atomskih struktura koje su od njih sastavljene. Ako ovome problemu pridemo sa tačke gledišta mehanike ili elektromagnetne teorije, ne

nalazimo zadovoljavajuću osnovu za objašnjenje specifičnih osobina elemenata, pa čak ni za objašnjenje postojanja čvrstih tela pomoću kojih se u krajnjoj meri vrše sva merenja, na osnovu kojih se opisuju fenomeni u prostoru i vremenu. Ove teškoće su sada prevaziđene tako što se došlo do saznanja da je svaka dobro definisana promena atoma individualan proces koji se sastoji u prelazu iz jednog od njegovih stacionarnih stanja u drugo. Štaviše, pošto se samo jedan kvant svetlosti izmenjuje u procesu prelaza u kome atom emituje ili absorbuje svetlost, u mogućnosti smo da pomoću spektroskopskih posmatranja merimo neposredno energiju svakog stacionarnog stanja. Informacije dobijene na taj način veoma su ubedljivo potvrđene proučavanjem prenosa energije u atomskim sudarima i hemijskim reakcijama.

U toku poslednjih godina došlo je do značajnog razvoja atomske mehanike primenom principa korespondencije iz koga su proizašle odgovarajuće metode za izračunavanje energija stacionarnih stanja atoma i verovatnoća prelaza, te je naše objašnjenje svojstava atoma postalo isto toliko sveobuhvatno koliko i objašnjenje astronomskih podataka na osnovu Njutnove mehanike. Uprkos tome što je matematička formulacija atomske mehanike veoma složena, za ovaj razvoj su bila najvažnija saznanja do kojih smo došli analizirajući najprostije svetlosne efekte. Tako je koncept stacionarnih stanja, u sličnoj relaciji komplementarnosti sa mehaničkom analizom intraatomskih kretanja u kakvoj je koncept svetlosnih kva-

nata prema elektromagnetnoj teoriji zračenja. Doista, svaki pokušaj da se prati detaljan tok procesa prelaza zahtevao bi nekontrolisanu izmenu energije između atoma i mernih instrumenata, što bi potpuno poremetilo balans energije koji želimo da istražimo. Kauzalni opis u klasičnom smislu je moguć samo u slučajevima kada je akcija koja je u igri velika u odnosu na kvant dejstva i gde je stoga moguća dalja podela fenomena. Ako ovaj uslov nije zadovoljen, uticaj mernih instrumenata na objekat koji se proučava ne može se zanemariti, što dovodi do međusobnog isključivanja različitih vrsta informacija koje su potrebne za uobičajen kompletan mehanički opis. Ova očigledna nepotpunost mehaničke analize atomskih fenomena u krajnjoj liniji je posledica nepoznavanja načina reagovanja objekta na merne instrumente. Kao što opšti princip relativiteta izražava opštu zavisnost bilo koga fenomena od referentnog sistema koji se koristi za njegovo određivanje u prostoru i vremenu, pojam komplementarnosti služi da simbolizuje jedno bitno ograničenje koje se sreće u atomskoj fizici a tiče se objektivnog postojanja fenomena nezavisnog od načina njihovog posmatranja.

Ova revizija osnova mehanike, koja se proteže i na shvatanje fizičkog objašnjenja, nije bitna samo za poimanje situacije u atomskoj fizici već ona stvara i novu osnovu za diskusiju problema života sa stanovišta fizike. Ovo nikako ne znači da se u atomskim pojavama srećemo sa svojstvima koja imaju veću sličnost sa osobinama živih organi-

zama nego što imaju obični fizički efekti. Na prvi pogled, bitno statistički karakter atomske mehanike može čak izgledati da je u suprotnosti sa zadivljujuće savršenom organizacijom živih bića. Moramo imati na umu, međutim, da upravo ovaj komplementaran način opisivanja daje prostor za regularnost u atomskim procesima, koja je strana mehanici, ali je isto toliko važna za razumevanje ponašanja živih organizama koliko je bitna za objašnjavanje specifičnih osobina neorganske materije. Tako, pri izučavanju toga kako biljke asimilišu ugljenik, od čega tako mnogo zavisi ishrana životinja, srećemo se sa fenomenom za čije razumevanje je bitna pojedinačnost elementarnih foto-hemijskih procesa. Slično, nemehanička stabilnost atomskih struktura se izrazito ispoljava u karakterističnim osobinama veoma komplikovanih hemijskih kombinacija, kao što su hlorofil ili hemoglobin, koji igraju bitnu ulogu u mehanizmu asimilacije biljaka i mehanizmu disanja životinja. Međutim, analogije iz svakodnevnog hemijskog iskustva, kao što su davnašnja poređenja života i vatre, neće naravno doneti objašnjenje živih organizama, koje bi mnogo više zadovoljavalo od objašnjenja pomoću sličnosti sa čisto mehaničkim uređajima kao što je časovnik. Doista, bitne karakteristike živih bića treba tražiti u specifičnoj organizaciji u kojoj se karakteristike koje se mogu analizirati uobičajenom mehanikom prepliću sa tipično atomističkim svojstvima na način koji se ne pojavljuje kod neorganske materije.

Struktura i rad oka instruktivno ukazuju do kog stepena je razvijena ova organizacija, a do tih saznanja se opet došlo zahvaljujući jednostavnosti svetlosnih pojava. Nije potrebno da ovde ulazim u detalje, ali ću vas samo podsetiti da nam je oftalmologija otkrila idealne osobine ljudskog oka kao optičkog instrumenta. Zaista, ograničenje koje se javlja pri formiranju slike zbog interferencionih efekata praktično se poklapa sa veličinom onih delova retine koji imaju posebne nerвне veze sa mozgom. Štaviše, pošto je apsorpcija pojedinačnog svetlosnog kvanta u svakom od ovih delova dovoljna za osećaj vida, može se reći da osetljivost oka dostiže granicu koja je određena atomskim karakterom svetlosnih procesa. Efikasnost oka u oba ova smisla je jednaka osetljivosti dobrog teleskopa ili mikroskopa koji su povezani sa pogodnim pojačavačem tako da svaki individualni proces postaje observabilan. Istina je da se pomoću ovih instrumenata mogu povećati naše mogućnosti posmatranja, ali zbog ograničenja nametnutih fundamentalnim svojstvima svetlosti, ne može se zamisliti instrument koji je u ovome smislu efikasniji od oka. Ova idealna finoća oka, koja je uočena zahvaljujući najnovijem razvoju fizike, nagoveštava da su i drugi organi, bilo da služe za prijem informacija iz okoline ili za reagovanje na te utiske, na sličan način prilagođeni svojoj nameni i da je i kod njih za neki mehanizam pojačavanja bitno izvesno svojstvo povezano sa kvantom dejstva. To što je bilo moguće ovu granicu odrediti kada je u pitanju oko, ali ne i u slučaju dru-

gih organa, dolazi od krajnje jednostavnosti svetlosti kao pojave, na šta smo već ukazali.

Saznanje da su atomske osobine bitne za objašnjenje mehanizma živih bića nije, međutim, dovoljno za sveobuhvatno objašnjenje bioloških fenomena. Osnovno pitanje je, dakle, da li nam nedostaju neke fundamentalne postavke u analizi prirodnih fenomena da bismo razumeli život na osnovu fizičkog iskustva. Zanemarujući činjenicu da je skup raznolikih bioloških pojava praktično neiscrpan, odgovor na ovo pitanje se teško može dobiti bez još dubljeg ispitivanja značenja koje se daje fizičkom objašnjenju od onog na koje smo bili primorani otkrićem kvanta dejstva. S jedne strane, neobična svojstva koja se stalno otkrivaju u toku fizioloških istraživanja a koja se jako razlikuju od svojstava neorganske materije navela su biologe na verovanje da nije moguće dobro razumeti bitne vidove života isključivo pomoću fizičkih pojmova. S druge strane, stav, poznat pod imenom vitalizam, se nikako ne bi mogao objasniti starom hipotezom da je ceo organski život određen nekom „životnom silom” koja je potpuno nepoznata fizici. Zaista mislim da se svi slažemo sa Njutnom da je nauka zasnovana na očekivanju da priroda ispoljava iste efekte pri istim uslovima. Kada bismo, dakle, mogli da analizu mehanizma živih bića dovedemo toliko daleko dogle je dovedena analiza atomskih fenomena, ne bi trebalo da očekujemo da ćemo naći bilo koje svojstvo koje je strano neorganskoj materiji. U ovoj dilemi mora se imati na umu, međutim, da se

uslovi u biološkim i fizičkim istraživanjima ne mogu direktno porediti pošto u slučaju istraživanja živih organizama potreba da objekat istraživanja ostane u životu nameće ograničenja kakva se ne pojavljuju u slučaju neorganske materije. Tako, mi bismo bez sumnje ubili životinju kada bismo pokušali da istražimo njene organe toliko da bismo mogli odrediti ulogu pojedinih atoma u vitalnim funkcijama. U svakom eksperimentu sa živim organizmima mora postojati neka neodređenost koja se odnosi na fizičke uslove u kojima se oni nalaze, i to samo po sebi nagoveštava da je minimalna sloboda koja se mora dopustiti organizmu dovoljna da on, tako da kažemo, sakrije od nas svoje najvažnije tajne. U tom smislu, sama egzistencija života se u biologiji mora posmatrati kao elementarna činjenica, isto kao što se u atomskoj fizici egzistencija kvanta dejstva mora uzeti kao osnovna činjenica koja se ne može izvesti iz obične mehaničke fizike. Doista, suštinska neanalizabilnost atomske stabilnosti pomoću mehaničkih pojmova je veoma analogna nemogućnosti fizičkog ili hemijskog objašnjenja specifičnih funkcija koje karakterišu život.

Uspostavljajući ovu analogiju, ipak moramo biti svesni da ovi problemi odlikavaju različite vidove u atomskoj fizici i biologiji. Dok nas u prvom polju pre svega interesuje ponašanje materije u njenim najjednostavnijim oblicima, kompleksnost prirodnih sistema kojima se bavimo u biologiji je fundamentalne prirode pošto i najprimitivniji organizmi sadrže veliki broj atoma. Tačno je da se

široko polje primene obične mehanike, uključujući naše merne instrumente koji se koriste u atomskoj fizici, zasniva na mogućnosti da se zanemari komplementarnost opisivanja povezana sa postojanjem kvanta dejstva u slučajevima kada radimo sa telima koja sadrže veliki broj atoma. Bez obzira na suštinski značaj atomističkih svojstava, tipično je za biološka istraživanja, međutim, da nikada ne možemo kontrolisati spoljašnje uslove u kojima se nalazi svaki pojedinačni atom u onome stepenu u kome je to moguće u fundamentalnim eksperimentima atomske fizike. U stvari, mi čak ne možemo ni da kažemo koji atomi doista pripadaju živom organizmu, pošto je svaka životna funkcija praćena izmenom materije tako da živi organizam kontinuirano uzima i izbacuje atome. Doista, ova izmena materije se dešava u svim delovima živog organizma u meri koja onemogućuje da se na atomskoj skali odredi oštra granica između onih karakteristika mehanizma koje se mogu pouzdano objasniti uobičajenom mehanikom i onih za koje je bitna egzistencija kvanta dejstva. Ova fundamentalna razlika između fizičkih i bioloških istraživanja implicira da se u domenu primene fizičkih koncepata na probleme života ne može uspostaviti nikakva određena granica koja bi odgovarala granici koja postoji u mehanici atoma između domena u kome važi kauzalna mehanika i domena čisto kvantnih procesa. Analogija koja je ovde razvijena nije dakle kompletna. Ali njena ograničenja bitno zavise od toga šta je dogovorom usvojeno da se naziva fizika, odnosno mehanika. S dru-

ge strane, pitanje ograničenosti fizike u biologiji bi izgubilo svaki smisao ako bismo, umesto da razlikujemo žive organizme i neživa tela, proširili ideju života na sve prirodne fenomene. Uz to ako bismo, u skladu sa uobičajenim jezikom, morali da rezervišemo reč mehanika za jednoznačan kauzalan opis prirodnih fenomena, termin atomska mehanika bi bio besmislen. Neću dalje raspravljati takva čisto terminološka pitanja, ali ću dodati da je suština analogije koja se razmatra očigledna isključivost takvih tipičnih vidova života, kao što je samoodržavanje i samogeneriranje individua, sa jedne strane, i potpodela koja je neophodna u svakoj fizičkoj analizi, sa druge strane. Zbog ove bitne karakteristike komplementarnosti, koncept cilja (namere), koji je stran mehaničkoj analizi, nalazi izvesno polje primene u biologiji. Zaista, u tome smislu teleološka argumentacija se može posmatrati kao legitimna karakteristika fiziološkog opisa koji vodi računa o karakteristikama života na način analogan priznavanju kvanta dejstva u principu korespondencije atomske fizike.

Raspravljajući o primenljivosti čisto fizičkih ideja na žive organizme, mi smo, naravno, tretirali život isto tako kao bilo koji drugi fenomen u materijalnom svetu. Teško da je potrebno naglašavati da ovaj stav, koji je karakterističan za biološka istraživanja, ne podrazumeva zanemarivanje psiholoških aspekata života. Naprotiv, prihvatanje ograničenosti mehaničkih koncepata u atomskoj fizici može nam pomoći da pomirimo na izgled međusobno suprotne tačke gledišta fiziologije i

psihologije. Doista, neophodnost da se razmatra interakcija između mernih instrumenata i objekata koji se istražuju u atomskoj mehanici je analogna izuzetnim teškoćama koje se javljaju u psihološkoj analizi zato što neophodno dolazi do promene mentalnog sadržaja kada se obraća pažnja na bilo koje njegovo specifično svojstvo. Udaljili bismo se suviše od naše teme kada bismo produbljivali ovu analogiju koja pruža mogućnost za razjašnjavanje psihofizičkog paralelizma. Međutim, voleo bih da naglasim da su ovakva razmatranja kakva su ovde pomenuta u potpunoj suprotnosti sa bilo kakvim pokušajem da se nađu nove mogućnosti za duhovni uticaj na ponašanje materije u statističkom opisu atomskih fenomena. Na primer, nemoguće je, sa naše tačke gledišta, dati jasno značenje stavu da verovatnoća da se desi neki atomski proces u telu može biti pod direktnim uticajem volje. U stvari, prema generalisanoj interpretaciji psihofizičkog paralelizma, slobodu volje treba smatrati karakteristikom svesnog života koja odgovara funkcijama života koje ne samo što izbegavaju uzročni mehanički opis već se čak suprotstavljaju fizičkoj analizi u meri koja je neophodna za pouzdanu primenu statističkih zakona u atomskoj mehanici. Ne ulazeći u metafizičke spekulacije, mogu možda dodati da bi analiza samog koncepta objašnjenja mogla prirodno početi i završiti sa odustajanjem od namere da se objasni naša sopstvena svesna aktivnost.

U zaključku bih hteo da istaknem da ni sa jednom svojom primedbom nisam nameravao da iz-

razim bilo koju vrstu skepticizma oko budućeg razvoja fizičkih i bioloških nauka. Takav skepticizam bi danas trebalo da bude daleko od svesti fizičara pošto je upravo saznanje o ograničenosti naših osnovnih pojmova dovelo do veoma značajnog napretka naše nauke. Nije ni saznanje o nemogućnosti objašnjenja života zaustavilo napredak do kojeg je došlo u svim granama biologije, uključujući i one koje su se pokazale toliko korisnim za medicinu. I pored toga što ne možemo da razliku između zdravlja i bolesti odredimo na osnovu fizičkih nauka, nema mesta skepticizmu u oblasti koja je predmet ovoga kongresa pod uslovom da se u istraživanju sledi put koji je odredio Finsen, na kome je učinjen veliki napredak, a čija je posebna odlika povezivanje proučavanja terapeutskih efekata svetlosti sa izučavanjem njihovih fizičkih osnova.

BIOLOGIJA I ATOMSKA FIZIKA 1937.

Besmrtni Galvanijev rad, koji označava početak nove epohe u nauci, najsjajnije ilustruje koliko može biti plodno kombinovanje istraživanja zakona neorganske materije i proučavanja osobina živih bića. Ovom prilikom pogodno je prikazati odnos naučnika u toku niza godina prema pitanju veze između biologije i fizike, a posebno raspravljati o stavu koji je s tim u vezi nastao u novije vreme zbog izvanrednog razvoja atomske teorije.

Još od samog prapočetka nauke atomska teorija je bila u središtu pažnje napora da se stvori sveobuhvatan pogled na veliku raznolikost prirodnih fenomena. Tako je već Demokritus, koji je sa svojom dubokom intuicijom isticao da se racionalno objašnjenje svojstava materije mora zasnivati na atomizmu, takođe pokušao, kao što je dobro poznato, da upotrebi atomističke ideje za objašnjenje specifičnosti organskog života, pa čak i ljudske psihologije. Zbog čudnog karaktera ovih ekstremnih materijalističkih koncepcija, bila je sasvim

prirodna Aristotelova reakcija koji je, duboko razumevajući znanje svoga vremena kako u fizici, tako i u biologiji, potpuno odbacio atomsku teoriju i pokušao da nađe dovoljno širok okvir za objašnjenje bogatstva prirodnih fenomena na osnovu u suštini teleoloških stavova. Preterivanje Aristotelovske doktrine je, međutim, postalo očigledno kada su postepeno otkriveni elementarni zakoni prirode koji važe i za neorganska tela i za žive organizme.

Kada se razmišlja o izgradnji mehaničkih koncepata koji su postali osnova fizičkih nauka, nije bez interesa shvatiti da je Arhimedovo otkriće principa ravnoteže tela koja plove, do koga je, prema predanju, došao osećajući potisak koji deluje na njegovo sopstveno telo u kadi, moglo da bude zasnovano i na uobičajenom iskustvu prema kome kamen u vodi gubi težinu. Slično se može smatrati sasvim slučajnim da je Galilej otkrio osnovne zakone dinamike posmatrajući klaćenje svećnjaka okačenog o tavanicu prekrasne katedrale u Pizi, a ne gledajući dete na ljuljašci. Ovakve, čisto spoljašnje analogije, imale su, naravno, mali značaj u procesu postepenog saznavanja da postoji suštinsko jedinstvo principa koji upravljaju prirodnim fenomenima; mnogo su značajnije bile sličnosti između živih organizama i tehničkih mašina otkrivene u toku anatomskih i fizioloških istraživanja koja su se intenzivno razvijala u vreme renesanse, posebno u Italiji.

Uspesi primene eksperimentalnog prilaza u prirodnim naukama, počevši od proširenja slike sve-

ta, zahvaljujući Kopernikovim radovima, do Harvejevog otkrića mehanizma cirkulacije krvi u živim bićima, izazvali su oduševljenje koje se najbolje ogleda u delu Borelija, koji je sa savršenom tačnošću uspeo da razjasni ulogu skeleta i mišića pri kretanju životinja. Klasični karakter ovoga dela nije nikako umanjen zbog pokušaja Borelija i njegovih sledbenika da objasne nervne procese i lučenje žlezda pomoću primitivnih mehaničkih modela. Očigledna proizvoljnost i grubost ovih modela je ubrzo izazvala opštu kritiku, koja se još uvek pamti pod poluironičnim imenom „iatio fizičari“ koje je dato Borelijanskoj školi. Slično se desilo sa pokušajima, koji su u osnovi razumni, da se rastuće znanje o tipično hemijskim transformacijama materije primeni na fiziološke procese; oduševljni pristalica ovoga pravca bio je Silvius, koji je, međutim, suviše insistirao na površnim sličnostima varenja i fermentacije sa najjednostavnijim neorganskim reakcijama i njihovoj primeni u medicinske svrhe, te je tako izazvao opoziciju koja se ogleda u pojavi imena „iatio-hemija“, kojim se nazivaju ova prva nastojanja.

Razlozi neuspeha ovih pionirskih napora da se fizika i hemija iskoriste za celovito objašnjenje osobina živih organizama su za nas očigledni. Trebalo je da dođe vreme Lavoisiera da bi bili otkriveni osnovni zakoni hemije koji su bili ključ za razumevanje disanja i koji su kasnije postali osnova za izuzetan razvitak tzv. organske hemije. Pored toga, sve do Galvanijevih otkrića, bili su nedokučivi bitni vidovi osnovnih fizičkih zakona. Tako

se, na veoma ubedljiv način, nameće misao da u biološkim istraživanjima leži klica koja je u rukama Volte, Oersteda, Faradaya, Maxwella izrasla u strukturu koja se po lepoti i značaju takmiči sa Njutnovom mehanikom. Doista, teško je verovati da bi se od eksperimenata sa naelektrisanim telima, ma koliko da su oni u Franklinovim rukama bili plodni, napredovalo do studije galvanskih struja da nam osetljive instrumente, koji su potrebni za detekciju ovih struja, a koji su potom lako konstruisani, nije obezbedila sama priroda u nervnom sistemu složenih životinja.

Nemoguće je ovde skicirati, bar nabranjeni, ogroman razvoj fizike i hemije od dana Galvanija, ili nabrojati otkrića u svim granama biologije tokom poslednjeg stoleća. Dovoljno je podsetiti se razvoja, od pionirskog rada Malpighija i Spallanzanija na ovome cenjenom univerzitetu do moderne embriologije odnosno bakteriologije, ili razvoja od samog Galvanija do zadivljujućih radova o nervnim impulsima. Uprkos dalekosežnosti stečenih saznanja o fizičkim i hemijskim svojstvima mnogih tipično bioloških reakcija, savršenstvo strukture organizama i bogatstvo međusobno povezanih regulacionih mehanizama još uvek prevazilazi sve ono što znamo o neorganskoj prirodi, tako da se na ovoj liniji još uvek nalazimo veoma daleko od bilo kakvog objašnjenja života. Kao svedoci velikih kontroverzi među naučnicima oko najnovijih otkrića efekata izazvanih otrovima i oko naslednih osobina virusa, nalazimo se pred dilemom koja

je isto tako značajna kao što je dilema oko koje su se sukobljavali Demokritus i Aristotel.

Danas se interesovanje ponovo usredsređuje na atomsku teoriju, mada je kontekst drukčiji. Ne samo što je ta teorija, od kada je Dalton uspešno primenio atomske koncepte pri razjašnjavanju kvantitativnih zakona koji određuju sastav hemijskih jedinjenja, postala neophodna osnova i uvek prisutan vodič za sva razmišljanja u hemiji već nam je zadržavajuće usavršavanje eksperimentalne tehnike u fizici dalo načine da studiramo fenomene koji direktno zavise od dejstva pojedinih atoma. Ovaj razvoj je istovremeno uklonio tragove tradicionalnih predrasuda da će, zbog grubosti naših čula, dokaz o stvarnoj egzistenciji atoma ostati uvek izvan našeg iskustva i otkrio u zakonima prirode još značajnije karakteristike atomizma od onih koje su izražene u staroj doktrini o ograničenoj deljivosti materije. Mi smo u stvari shvatili da konceptualan okvir, koji je pogodan za poimanje našeg svakodnevnog iskustva i za formulisanje čitavog sistema zakona koji se odnose na ponašanje makroskopske materije, što predstavlja sadržaj tzv. klasične fizike, mora u suštini biti proširen ako treba da obuhvati i atomske fenomene. Da bismo procenili mogućnosti koje ovaj novi pogled u prirodnoj filozofiji pruža u odnosu na racionalan stav prema fundamentalnim problemima biologije, biće potrebno da se ukratko podsetimo glavnih pravaca razvoja koji su doveli da rasvetljavanja situacije u atomskoj teoriji.

Polazište savremene atomske teorije je bilo, kao što je dobro poznato, saznanje o atomskoj prirodi samog elektriciteta, što je najpre uočio Faraday u svojim slavnim istraživanjima galvanske elektrolize, a što je definitivno potvrđeno izolovanjem elektrona u prekrasnom fenomenu električnog pražnjenja kroz razređene gasove, koji je u toku prošlog veka privlačio veliku pažnju. Dok su sjajna istraživanja J. J. Thomsona iznela na svetlost bitnu ulogu koju elektroni imaju u mnoštvu fizičkih i hemijskih fenomena, naše znanje o strukturnoj jedinici materije nije, međutim, bilo kompletirano sve dok Rutherford nije otkrio atomsko jezgro, što je bila kruna njegovog pionirskog rada na spontanoj radioaktivnoj transformaciji izvesnih teških elemenata. Zaista, ovo otkriće je prvi put dalo pouzdano objašnjenje invarijantnosti elemenata u običnim hemijskim reakcijama, u kojima slična teška jezgra ostaju nepromenjena, a menja se jedino raspodela lakih elektrona oko njega. Štaviše, ono omogućuje neposredno razumevanje ne samo porekla prirodne radioaktivnosti, koja svedoči o eksploziji samog jezgra, već i razumevanje pojave koju je kasnije otkrio Rutherford, indukovane transmutacije elemenata bombardovanjem veoma brzim teškim česticama, koje pri sudaru sa jezgrom mogu izazvati njegovo raspadanje.

Mnogo bismo se udaljili od teme ovoga predavanja ako bismo dalje ulazili u novo prekrasno polje istraživanja koje je otvoreno studiranjem nuklearnih transmutacija, što će biti jedna od osnovnih tema diskusija fizičara na ovome skupu. Su-

ština naše teze je da je očigledno neophodno radikalno raskinuti sa klasičnim idejama mehanike i elektromagnetizma ako se žele objasniti opšte fizičke i hemijske osobine na osnovu modela koji je predložio Rutherford. U stvari, bez obzira na trijumf Njutnove mehanike da objasni harmoniju planetarnog kretanja opisanog Keplerovim zakonima, stabilnost mehaničkih modela, kao što je Sunčev sistem, koji, pošto su perturbirani, ne pokazuju tendenciju da se vrate u prvobitno stanje, očigledno ne liči dovoljno na unutrašnju stabilnost elektronskih konfiguracija atoma koja je odgovorna za specifična svojstva elemenata. Ova izuzetna stabilnost se otkriva pre svega pri spektralnoj analizi, kojom je, kao što je dobro poznato, otkriveno da svaki element poseduje karakterističan spektar oštih linija, koji je u tolikoj meri nezavisan od spoljašnjih uslova da je moguće identifikovanje sastava najudaljenijih zvezda na osnovu spektroskopskih posmatranja.

Ključ za objašnjenje je već bio obezbeđen Planckovim otkrićem elementarnog kvanta dejstva, koje je došlo kao rezultat jedne sasvim druge linije fizičkih istraživanja. Kao što je dobro poznato, Planck je došao do ovog fundamentalnog otkrića svojom ingenioznom analizom onih svojstava termalne ravnoteže između materije i zračenja koja bi, prema principima termodinamike, trebalo da bude nezavisna od bilo kojih specifičnih osobina materije, i prema tome od bilo kojih ideja o sastavu atoma. Egzistencija elementarnog kvanta dejstva izražava u stvari novo svojstvo fizičkih procesa

koje je potpuno strano klasičnim zakonima mehanike i elektromagnetizma i ograničava njihovu važnost na one fenomene u kojima se javljaju dejstva velika u poređenju sa jednim kvantom, čija je vrednost određena novom Planckovom atomskom konstantom. Ovaj uslov, iako sasvim ispunjen kada je reč o fenomenima uobičajenog fizičkog iskustva, nikako ne važi za ponašanje elektrona u atomima, te upravo postojanje kvanta dejstva sprečava fuziju elektrona i jezgra u neutralnu masivnu česticu praktično infinitezimalnih dimenzija.

Pošto se došlo do ovih saznanja, odmah se nametnula ideja da se elektron u polju jezgra opiše kao niz individualnih procesa u kojima atom prelazi iz jednog od svojih stacionarnih stanja u drugo emitujući oslobođenu energiju u obliku kvanta elektromagnetnog zračenja. Ova ideja, koja je u krajnjoj liniji srodna Einsteinovoj uspešnoj interpretaciji fotoelektričnog efekta, nastaloj u istraživanjima Francka i Hertza eksitacija spektralnih linija sudarom elektrona sa atomima, dala je neposredno objašnjenje začuđujuće opštim zakonima spektralnih linija koje su našli Balmer, Rydberg, i Ritz. Pored toga ona je uz pomoć spektroskopskih podataka postepeno dovela do sistemske klasifikacije tipova stacionarnih veza elektrona u atomu, nudeći kompletno objašnjenje povezanosti fizičkih i hemijskih osobina elemenata, koja je ispoljena u slavnoj periodičnoj tabeli Mendeleeva. Dok je ova interpretacija osobina materije izgledala kao ostvarenje starog ideala, koje čak

prevazilazi san Pitagorejaca, da se formulacija zakona prirode svede na čiste odnose između brojeva, ona je istovremeno, zato što je sadržala pretpostavke o pojedinačnosti atomskih procesa, povlačila poricanje postojanja uzročne veze između fizičkih događaja, što je godinama bio čvrst osnov prirodne filozofije.

Ne samo što je svako pitanje o vraćanju na opis koji bi bio u skladu sa principom kauzaliteta bilo isključeno pouzdanim podacima različite vrste, već se uskoro pokazalo mogućim da se originalno primitivni pokušaji objašnjenja egzistencije kvanta dejstva razvijaju u odgovarajuću, u suštini statističku atomsku mehaniku, koja je u potpunosti uporediva, po konzistentnosti i kompletnosti, sa strukturom klasične mehanike, a u odnosu na koju se pojavljuje kao generalizacija. Stvaranje ove nove tzv. kvantne mehanike, koje, kao što je dobro poznato, dugujemo pre svega ingenioznim doprinosima mlade generacije fizičara, zaista je nezavisno od njenog izuzetnog doprinosa u svim granama fizike i hemije, pre svega rasvetlilo epistemološku osnovu analize i sinteze atomskih fenomena. Preispitivanje problema posmatranja u ovome polju, koje je započeo Heisenberg, jedan od glavnih osnivača kvantne mehanike, u stvari je dovelo do otkrića do tada zanemarenih pretpostavki za nedvosmisleni upotrebu čak najelementarnijih koncepta, na čijoj upotrebi se zasniva opis prirodnih fenomena. Kritično mesto u tome je saznanje da će bilo koji pokušaj da se, na način uobičajen u klasičnoj fizici, analizira „individualnost” atom-

skih procesa uslovljena kvantom dejstva biti osuđen zbog neizbežne interakcije između atomskog objekta i za tu svrhu neophodnih mernih instrumenata.

Neposredna posledica ove situacije je saznanje da se podaci o ponašanju atomskih objekata dobiveni različitim eksperimentalnim uređajima ne mogu kombinovati na način koji je uobičajen u klasičnoj fizici. Posebno, bilo koja zamisliva procedura, čiji je cilj da se odredi položaj atomskog elektrona u prostoru i vremenu, nužno bi dovela do nekontrolabilne izmene momenta i energije između atoma i mernih uređaja, i tako bi u potpunosti uništila izuzetne pravilnosti u atomskoj stabilnosti koje su određene kvantom dejstva. Obrnuto, svako istraživanje ovih pravilnosti, čije objašnjenje implicira poštovanje zakona o održanju energije i momenta, u principu bi nametnulo oduštavanje od određivanja prostorno-vremenskih koordinata elektrona u atomu. Ne unosi se nikakva nekonzistentnost tvrdnjom da se vidovi kvantnih fenomena, dobiveni u eksperimentima pod međusobno isključivim uslovima, moraju smatrati komplementarnim na sasvim nov način. „Komplementarnost” kao tačka gledišta nikako ne znači da se proizvoljno odustaje od detaljne analize atomskih fenomena, već je, nasuprot tome, izraz racionalne sinteze bogatstva eksperimentalnih podataka u ovome polju, koje leži izvan granica u kojima se može prirodno primeniti princip kauzaliteta.

Ne potcenjujući podršku teorije relativiteta (koja je, uočivši početne uslove, koje nismo na-

slučivali, za nedvosmisleni upotrebu svih fizičkih koncepata, istovremeno otvorila nove mogućnosti za razumevanje prividno nesaglasnih fenomena) za nastavak ove vrste epistemoloških istraživanja, moramo priznati da je situacija sa kojom smo se sreli u modernoj atomskoj teoriji bez presedana u istoriji fizičkih nauka. Zaista, cela konceptualna struktura klasične fizike, koja je na zadivljujući način ujedinjena i uobličena Einsteinovim delom, počiva na pretpostavci, sasvim u skladu sa našim svakodnevnim iskustvom o fizičkim fenomenima, da je moguće napraviti razliku između ponašanja materijalnih objekata i problema njihovog posmatranja. Da bismo našli analognu poruku ovoj koju sadrži atomska teorija a koja se odnosi na ograničenost važenja takvih uobičajenih idealizacija, moramo se okrenuti drugim granama nauke, kao što je psihologija, ili čak onoj vrsti epistemoloških problema sa kojima su se već sreli mislioci, kao što su Budha i Lao Tse, kada su pokušavali da usklade naš položaj kao gledaoca i glumca u velikoj drami postojanja. Ali, prihvatanje analogija čisto logičkog karaktera nikako ne znači da se u fizici prihvata neki misticizam koji je stran istinskom duhu nauke. Naprotiv, to nas podstiče da ispitamo da li bi nam direktno rešenje neočekivanih paradoksa, sa kojima smo se sreli primenom naših najjednostavnijih koncepata na atomske fenomene, moglo pomoći da rasvetlimo konceptualne teškoće u drugim oblastima iskustva.

Nisu izostali ni predlozi da se traže direktne korelacije između života ili slobodne volje i onih

karakteristika atomskih fenomena za čije razumevanje je okvir klasične fizike očigledno suviše uzan. U stvari, moguće je ukazati na mnoge karakteristične reakcije živih organizama, kao što je osetljivost vizuelne percepcije ili izazivanje mutacije gena radijacijom, koje sigurno u sebi sadrže pojačavanje efekata pojedinačnih atomskih procesa, slično onom na kome je zasnovana eksperimentalna atomska fizika. Ali, saznanje da savršenost organizacije i regulacionih mehanizama živih bića daleko prevazilazi sva naša očekivanja nikako nam ne omogućuje da objasnimo specifična svojstva života. Zaista, tzv. holistički i finalistički vidovi bioloških fenomena sigurno ne mogu odmah biti objašnjeni pomoću svojstva pojedinačnosti atomskih procesa, koje je otkriveno zajedno sa otkrićem kvanta dejstva; na prvi pogled pre izgleda da čisto statistički karakter kvantne mehanike povećava teškoće razumevanja pravih bioloških pravilnosti. U ovoj dilemi, međutim, osnovna poruka atomske teorije je da se jedini način usaglašavanja zakona fizike sa konceptima pogodnim za opis fenomena života nalazi u istraživanju bitne razlike posmatranja fizičkih i bioloških fenomena.

Pre svega moramo shvatiti da svaki eksperimentalni uređaj sa kojim bismo mogli proučavati ponašanje atoma koji ulaze u sastav organizma, u meri u kojoj se to može učiniti sa atomima u fundamentalnim eksperimentima atomske fizike isključuje mogućnost održavanja organizma u životu. Neprekidna razmena materije, koja je neodvojivo povezana sa životom, implicira čak nemo-

gućnost da se organizam posmatra kao dobro definisan sistem materijalnih tačaka, kao što su sistemi sa kojima se radi pri opisivanju običnih fizičkih i hemijskih osobina materije. U stvari, mi smo dovedeni dotle da shvatimo da čisto biološke pravilnosti predstavljaju zakone prirode koji su komplementarni zakonima koji opisuju osobine neživih bića, analogno relaciji komplementarnosti između svojstava stabilnosti samih atoma i ponašanja njihovih konstituentnih čestica koje omogućuje opis pomoću prostorno-vremenskih koordinata. U tome smislu, egzistenciju života bi trebalo posmatrati, sa tačke gledišta i njegove definicije i njegovog posmatranja, kao osnovni postulat biologije, koji nije moguće dalje analizirati, na isti način kao što egzistencija kvanta dejstva, zajedno sa suštinskim atomizmom materije, čini elementarnu osnovu fizike.

Videćemo da je ova tačka gledišta daleko kako od doktrine mehanizma, tako i od vitalizma. S jedne strane, ona proglašava irelevantnim svako poređenje živih organizama sa mašinama, bilo da su to relativno jednostavne konstrukcije koje su posmatrali iatro-fizičari ili najfiniji moderni pojačavački uređaji. Nekritičnim isticanjem ovih poslednjih bismo dobili pogrдно ime „iatro-kvantisti”. S druge strane, ono odbacuje kao iracionalne sve one pokušaje da se uvede neka vrsta posebnih bioloških zakona koji nisu u skladu sa dobro utvrđenim zakonima fizičkih i hemijskih regularnosti, a koji su u poslednje vreme oživljeni pod uticajem izuzetnih otkrića u embriologiji o rastu i

podeli ćelija. S tim u vezi mora se posebno istaći da je na bazi komplementarnosti moguće izbeći svaku takvu nekonzistentnost zbog činjenice da se nijedan rezultat bioloških istraživanja ne može korektno izraziti bez termina fizike i hemije, isto kao što se svako objašnjenje eksperimenta, čak i u atomskoj fizici, mora u krajnjoj liniji zasnivati na konceptima koji su neophodni za svesno registrovanje čulnih utisaka.

Poslednja primedba nas ponovo vraća u oblast psihologije, gde su teškoće povezane sa problemima definicije i posmatranja u naučnim istraživanjima jasno uočene mnogo pre nego što su ova pitanja postala akutna u prirodnim naukama. Zapravo, nemogućnost da se u psihičkom iskustvu napravi razlika između samih fenomena i njihovog svesnog opažanja jasno zahteva da se odustane od prostog uzročnog opisa po modelu klasične fizike, a načini na koje su reči, kao što su „misli” ili „osećanja”, upotrebljene da opišu takvo iskustvo najubedljivije nas podsećaju na komplementarnost uočenu u atomskoj fizici. Neću ovde dalje ulaziti u detalje, ali ću naglasiti da upravo nemogućnost da se u introspekciji napravi jasna razlika između subjekta i objekta omogućuje potrebnu slobodu za ispoljavanje volje. Mogućnost neposrednijeg povezivanja slobode volje sa ograničenjima kauzaliteta u atomskoj fizici, o kojoj je često govoreno, potpuno je, međutim, strana namerama koje su u osnovi ovde iznetih opažanja o biološkim problemima.

Završavajući ovaj govor, nadam se da će nepromišljenost fizičara da se usudi da krene tako daleko izvan svoje uske oblasti biti oproštena, s obzirom da je ovo pogodna prilika za korisne diskusije između fizičara i biologa okupljenih da proslave sećanje na velikog pionira, čijim fundamentalnim otkrićima obadve grane tako mnogo duguju.

PRIRODNA FILOZOFIJA
I LJUDSKE KULTURE
1938.

Sa velikim oklevanjem sam prihvatio prijatan poziv da se obratim ovome skupu uglednih predstavnika antropoloških i etnografskih nauka, mada iz ovih disciplina, kao fizičar, naravno, nemam osnovno obrazovanje. Pa ipak, ovom prilikom, kada nas i sama istorijska okolina podseća na vidove života koji su mnogo drugačiji od onih koji su predmet redovnih diskusija na ovome kongresu, može biti interesantno da, sa malo reči, skrenem vašu pažnju na epistemološke vidove najnovijeg razvoja prirodne filozofije i njenom uticaju na opšte ljudske probleme. Bez obzira na velike razlike koje postoje između naših oblasti znanja, nova lekcija koju su fizičari naučili o opreznosti sa kojom se moraju primenjivati uobičajeni pojmovi čim se izađe iz domena svakodnevnog iskustva može biti pogodna da nas na novi način podseti na opasnosti, dobro poznate humanistima, koje se kriju u donošenju sudova sa svoga sopstvenog stanovišta o kulturama razvijenim u drugim društvima.

Naravno nemoguće je praviti jasnu razliku između filozofije i ljudske kulture. Fizičke nauke su, u stvari, integralni deo naše civilizacije, ne samo zato što je naša stalno rastuća sposobnost savlađivanja sila prirode potpuno promenila materijalne uslove života, već i zato što je proučavanje ovih nauka toliko mnogo doprinelo rasvetljavanju osnova naše sopstvene egzistencije. Zar nije u tome smislu značajna činjenica da više ne smatramo da smo privilegovana bića koja žive u centru univerzuma, okruženi manje srećnim društvima koja žive na ivicama pakla, već da smo shvatili, kroz razvoj astronomije i geografije, da se nalazimo na jednoj maloj sfernoj planeti Sunčevog sistema, koji je mali deo još većih sistema. Poznato je koliko je značajna lekcija o relativnosti ljudskog suđenja koju smo u toku našeg doba dobili otkrivši da fizički fenomeni zavise od tačke gledišta posmatrača. Teorija relativiteta, koja nas je primorala da preciziramo do tada neuočene hipoteze na kojima nesumnjivo počiva upotreba naših koncepta, čak najjednostavnijih, kao što su prostor i vreme, mnogo je doprinela lepoti i jedinstvu naše koncepcije univerzuma.

Dok je značaj ovih dostignuća za opšti pogled na svet opšte prihvaćen, to nije slučaj sa poukom iz teorije saznanja, koju smo neočekivano dobili otvaranjem potpuno novih polja istraživanja u toku poslednjih godina. Naš prodor u svet atoma, koji je do tada bio zatvoren za ljudsko oko, zaista je pustolovina koja se može uporediti sa velikim putovanjima u kojima je otkriven kružni oblik

Zemlje i smelim istraživanjima dubina nebeskog prostora. Kao što je dobro poznato, zadivljujući razvoj umeća fizičkog eksperimentisanja ne samo što je uklonio tragove starog verovanja da će grubost naših čula onemogućiti zauvek da se dobiju direktne informacije o pojedinim atomima, već nam je čak pokazano da se sami atomi sastoje iz još manjih čestica koje se mogu izdvojiti, a čija se svojstva mogu studirati posebno. Istovremeno smo, u ovom fascinirajućem polju istraživanja naučili da zakoni prirode, koje smo do tada znali i koji čine veliku zgradu klasične fizike, važe samo onda kada se bavimo telima koja se sastoje od praktično beskonačno mnogo atoma. Novo znanje koje se odnosi na ponašanje pojedinačnih atoma i atomskih čestica je u stvari otkrilo postojanje jedne neočekivane granice do koje se mogu deliti sva fizička dejstva, a koja se pruža daleko izvan stare doktrine o ograničenoj deljivosti materije, i koja svakom atomskom procesu daje poseban karakter individualnosti. Ovo otkriće je u stvari dalo sasvim novu osnovu za razumevanje unutrašnje stabilnosti atomskih struktura, koja, u krajnjoj liniji, uslovljava regularnost celokupnog svakodnevnog iskustva.

Koliko je radikalna promena u našem stavu prema opisu prirode koju je doneo ovaj razvoj atomske fizike najjasnije ilustruje činjenica da se čak i princip kauzaliteta, koji je ranije smatran pouzdanom osnovom za interpretaciju prirodnih fenomena pokazao kao uzan okvir da bi mogao obu-

hvatiti sve neobične regularnosti koje upravljaju pojedinačnim atomskim procesima. Svako će sigurno razumeti da su fizičari imali veoma duboke razloge za odustajanje od samog ideala uzročnih veza; u studiji atomskih fenomena smo više puta poučeni da pitanja za koja se verovalo da su davno dobila definitivne odgovore čuvaju za nas ne očekivana iznenađenja. Vi ste verovatno svi čuli zagonetke o najelementarnijim svojstvima svetlosti i materije, koje su toliko zbunjivale fizičare poslednjih godina. Očigledne kontradikcije na koje smo tu naišli su isto toliko velike koliko i one koje su na početku ovoga veka dovele do razvoja teorije relativiteta, a objašnjenja su nađena, kao i u poslednjem slučaju, detaljnim proučavanjem uslova za nedvosmislenu upotrebu koncepta koji ulaze u opis fenomena, a koje su nametnuli novi eksperimenti. Dok je u teoriji relativiteta polazna tačka bilo saznanje da će posmatrač, koji se relativno kreću jedan u odnosu na drugog, opisati na različite načine ponašanje datog objekta, razjašnjenje paradoksa u atomskoj fizici je donela činjenica da neizbežna interakcija između objekta i mernih instrumenata postavlja apsolutnu granicu na mogućnost da se govori o ponašanju objekta koje je nezavisno od načina posmatranja.

Ovde se srećemo sa epistemološkim problemom koji je potpuno nov u prirodnoj filozofiji, u kojoj su do sada svi opisi posmatranja sadržali pretpostavku, već svojstvenu uobičajenim jezičkim konvencijama, da je moguće napraviti oštru raz-

liku između ponašanja objekta i načina posmatranja. Ova pretpostavka nije u potpunosti opravdana svakodnevnim iskustvom, ali ipak čini osnovu klasične fizike, koja je, upravo preko teorije relativiteta, savršeno zaokružena. Čim se, međutim, bavimo fenomenima kao što su pojedinačni atomski procesi, koji su, zbog svoje prirode u suštini određeni interakcijom između objekta koji je u pitanju i mernih instrumenata koji su potrebni da bi se definisao eksperimentalni uređaj, primorani smo da se detaljnije pozabavimo pitanjem vrste podataka koji se mogu dobiti o objektu. U tome smislu moramo, s jedne strane, shvatiti, pošto je cilj svakog fizičkog eksperimenta da da reprodučibilne i saopštljive podatke, da nemamo izbora nego da koristimo svakodnevne pojmove, možda usavršene terminologijom klasične fizike, ne samo pri konstruisanju mernih instrumenata i pri njihovoj upotrebi već i u opisu svih dobivenih eksperimentalnih rezultata. S druge strane, podjednako je važno shvatiti da upravo ova okolnost implicira da se nijedan rezultat eksperimenta o fenomenima koji u principu leže van domena klasične fizike ne može interpretirati kao da daje osobine objekta samog za sebe, već je inherentno povezan sa takvim opisom u kome bitnu ulogu igraju merni instrumenti kojima se meri objekat. Ova poslednja činjenica daje direktno objašnjenje prividnih kontradikcija koje se javljaju pri pokušajima da se kombinovanjem posmatranja atomskih objekata pomoću različitih eksperimentalnih uređaja dobije konzistentna slika o objektu.

Informacije koje se odnose na ponašanje atomskog objekta, a koje su dobivene pod različitim eksperimentalnim uslovima, mogu se, međutim, prema terminologiji koja se često koristi u fizici, adekvatno okarakterisati kao komplementarne u odnosu na informacije o istom objektu dobivene pomoću nekog drugog eksperimentalnog uređaja, pod uslovom da nisu zadovoljeni uslovi prvog eksperimenta. Mada se ovakve vrste informacija ne mogu kombinovati u jedinstvenu sliku pomoću običnih koncepata, one zaista čine veoma važan deo znanja o objektu o kome je reč, a koji se u ovoj oblasti može dobiti. Prihvatanjem takvog komplementarnog karaktera mehaničkih analogija, pomoću kojih je učinjen pokušaj da se slikovito prikažu različiti efekti zračenja, u stvari se došlo do potpuno zadovoljavajućeg rešenja enigmi o prirodi svetlosti, o kojima smo govorili ranije. Isto tako, ali uzimanjem u obzir relacija komplementarnosti između različitih podataka koji opisuju ponašanje atomskih čestica bilo je moguće pronaći ključ za razumevanje iznenađujućeg kontrasta između osobina običnih mehaničkih modela i posebnih zakona stabilnosti koji upravljaju atomskim strukturama i koji čine osnovu za svako bliže objašnjenje fizičkih i hemijskih osobina materije.

Naravno, ne nameravam u ovoj prilici da ulazim bliže u ovakve detalje, ali se nadam da sam uspeo da vam prenesem dovoljno jasno utisak o tome da mi nikako ne odustajemo od detaljne analize prevelikog bogatstva naših sve većih znanja o svetu atoma. Naprotiv, reč je o jednom

racionalnom razvoju naših mogućnosti da klasifikujemo i razumemo nove eksperimentalne činjenice, koje se zbog svoje prirode ne mogu urediti u okviru jednog kauzalnog opisa. Daleko od toga da sadrži bilo kakav misticizam koji je stran duhu nauke, princip komplementarnosti čini zaista konzistentno uopštenje ideala uzročnih veza.

Ma koliko ovaj razvoj u domenu fizike izgledao neočekivan, siguran sam da su mnogi od vas uvideli postojanje analogije između upravo opisane situacije, koja se odnosi na analizu atomskih fenomena, i karakterističnih svojstava problema posmatranja u ljudskoj psihologiji. Zaista, možemo reći da se usmerenja u modernoj psihologiji mogu prikazati kao reakcija protiv pokušaja da se psihičko iskustvo rastavi na elemente koji se mogu združiti na isti način kako se povezuju rezultati u klasičnoj fizici. U introspekciji je nemoguće napraviti jasnu razliku između samih fenomena i njihove svesne percepcije, i mada često kažemo da obraćamo pažnju na neki aspekt psihološkog iskustva, jedno bliže ispitivanje bi pokazalo da se mogu naći situacije kada se ova dva aspekta međusobno isključuju. Svi znamo staru izreku da ako pokušamo da analiziramo svoja sopstvena osećanja, teško da ih više imamo, i u tome smislu shvatamo da između psihičkih iskustava koje opisuju rečima, kao što su „misliti” i „osećanja”, postoji relacija komplementarnosti slična onoj koja postoji između podataka o ponašanju atoma dobivenih sa različitim eksperimentalnim uređajima i opisanih pomoću različitih analogija uzetih

iz skupa naših uobičajenih pojmova. Cilj ovoga poređenja nikako nije da sugeriše bilo kakve bliže relacije između atomske fizike i psihologije, već je cilj da ukaže na postojanje jednog epistemološkog argumenta zajedničkog za dva polja aktivnosti što bi moglo da nas ohrabri da istražimo u kojoj meri rešenje relativno prostih fizičkih problema može biti korisno za rasvetljavanje mnogo složenijih psiholoških pitanja koja pred nas postavlja ljudski život, a koja antropolozi i etnolozi tako često sreću u svojim istraživanjima.

Približavajući se sada svojoj temi o uticaju ovih pogleda na upoređivanje različitih ljudskih kultura, najpre ćemo istaći tipičnu komplementarnu relaciju između načina ponašanja živih bića okarakterisanih rečima „instinkt” i „razum”. Istina je da se sve takve reči koriste u vrlo različitim značenjima; tako, instinkt može značiti motivacionu silu ili nasleđeno ponašanje, a razum može označavati dublji smisao a i svesno argumentisanje. Ono što nas međutim interesuje isključivo je praktičan način na koji se ove reči koriste da se napravi razlika između različitih situacija u kojima se mogu naći ljudi i životinje. Naravno, niko neće poricati našu pripadnost životinjskom svetu, a ipak bi bilo veoma teško naći iscrpnu definiciju koja bi okarakterisala čoveka kao pripadnika životinjskog sveta. Istina, nije lako oceniti latentne mogućnosti u bilo kom živom organizmu, i mislim da među nama nema nikoga ko nije ponekad impresioniran stepenom do koga mogu biti istrenirane cirkuske životinje. Ne samo što je moguće,

na osnovu mogućnosti prenosa informacija između individua, napraviti oštru razliku između ljudi i životinja već nas naša sposobnost govora stavlja u tome smislu u bitno različitu situaciju, ne samo s obzirom na menjanje praktičnog iskustva već pre svega zbog mogućnosti da kroz obrazovanje prenesemo na decu tradicije u ponašanju i mišljenju koje čine osnovu ljudske kulture.

Što se tiče razuma u poređenju sa instinktom, pre svega je bitno da se shvati da nikakvo ljudsko mišljenje, u pravom smislu reči, nije moguće bez korišćenja koncepata ugrađenih u neki jezik koji svaka generacija mora da nauči iznova. Ovakva upotreba pojmova ne samo što u velikoj meri potiskuje instinktivni život već u većoj meri stoji u relaciji isključive komplementarnosti u odnosu na skup nasleđenih instinkata. Začuđujuća superiornost nižih životinja u poređenju sa čovekom u korišćenju mogućnosti prirode za održavanje i širenje života sigurno se često može objasniti činjenicom da se kod mnogih ovih životinja ne može uočiti nikakvo svesno mišljenje u našem smislu reči. Slično, iznenađujuća sposobnost tzv. primitivnih ljudi da se orijentišu u šumama i pustinjama, koja se, mada očigledno izgubljena u civilizovanim društvima, može oživeti povremeno u svakom od nas, ide u prilog zaključku da su takve veštine moguće onda kada se ne pribegava pojmovnom mišljenju sa svoje strane prilagođenom mnogo raznovrsnijim ciljevima, koji su od primarnog značaja za razvoj civilizacije. Baš zbog toga što još nije naviknuto na korišćenje

pojmovi, novorođeno dete se teško može smatrati ljudskim bićem; ali pripadajući ljudskoj vrsti, ono poseduje, naravno, mada je kao biće bespomoćnije nego većina mladih životinja, organske mogućnosti da obrazovanjem usvoji kulturu koja mu omogućuje da nađe svoje mesto u nekom ljudskom društvu.

Ovakva razmatranja nas odmah dovode do pitanja da li je osnovano široko rasprostranjeno verovanje da je svako dete rođeno sa predispozicijom za prihvatanje specifične ljudske kulture ili je bolje pretpostaviti da bilo koja kultura može biti ugrađena i razvijena u vrlo različitim fizičkim sredinama. Mi ovim naravno dotičemo temu još nerazjašnjenih kontraverzi među genetičarima, koji su u toku veoma interesantnih proučavanja o nasleđivanju fizičkih osobina. U vezi sa ovim diskusijama pre svega moramo imati na umu da razlike između pojmova genotip i fenotip, koji su toliko korisni za rasvetljavanje nasleđa kod biljaka i životinja, u stvari sadrže pretpostavke o dodatnom uticaju spoljašnjih uslova života na karakteristična svojstva vrsta. U slučaju specifičnih karakteristika ljudskih društava problem je međutim obrnut u tome smislu što ovde osnovu klasifikacije čine tradicionalne navike određene istorijama i prirodnim okolinama pojedinih društava. Ove navike, kao i njima svojstvene pretpostavke, moraju se detaljno analizirati pre ocenjivanja mogućih uticaja nasleđenih bioloških razlika na razvoj i održanje određenih kultura. Zaista, pri opisivanju različitih naroda i čak različitih fami-

lija unutar naroda možemo u velikoj meri smatrati da su biološke crte i njihove duhovne tradicije međusobno nezavisne, pa se uz to nameće ideja da se pridev „ljudski” po definiciji zadrži za one osobine koje nisu direktno povezane sa fizičkim nasleđem.

Na prvi pogled, može se učiniti da takav stav daje preteran značaj pitanjima čisto dijalektičke prirode. Ali pouka koju smo dobili iz celokupnog razvoja fizičkih nauka je da klica plodnog razvoja obično leži upravo u pogodnom izboru definicija. Kada mislimo, na primer, o razjašnjenjima koja je donela argumentacija teorije relativiteta u različite grane nauke, vidimo da napredak može zaista ležati upravo u takvim formalnim poboljšanjima. Kao što sam već ranije naglasio u svom govoru, relativističke tačke gledišta sigurno mogu pomoći u uspostavljanju objektivnijeg stava o odnosima između ljudskih kultura. Tradicionalne razlike u ovim stavovima u mnogo čemu liče na različite ekvivalentne načine na koje se može opisati fizičko iskustvo. Još uvek, ova analogija između fizičkih i humanističkih problema ima ograničen delokrug a njeno preterano isticanje je čak dovelo do pogrešnog razumevanja suštine same teorije relativiteta. U stvari, celovitost relativističke slike sveta daje mogućnost da svaki posmatrač tačno predvidi u okviru svog sopstvenog konceptualnog okvira način na koji će drugi posmatrač povezati posmatranje unutar njemu prirodnog okvira. Glavnu prepreku postojanju stava bez predrasuda o odnosu između različitih ljudskih kultura čine, među-

tim, duboko ukorenjenje razlike tradicionalnih nasleđa na kojima je zasnovana kulturna harmonija u različitim ljudskim društvima i koje isključuju svako jednostavno poređenje među takvim kulturama.

Upravo s tim u vezi princip komplementarnosti pruža mogućnosti da se savlada situacija. U stvari, proučavajući ljudske kulture koje su različite od naše, srećemo se sa jednim posebnim problemom posmatranja u kome pri detaljnijem analiziranju otkrivamo mnoge zajedničke crte sa atomskim ili psihološkim problemima, gde interakcija između objekata i mernih uređaja, ili nemogućnost separacije objektivnog sadržaja i predmeta posmatranja onemogućuje neposrednu primenu konvencija pogodnih za objašnjenje iskustava iz svakodnevnog života. Na primer, pri izučavanju kultura primitivnih naroda etnolozi ne samo što su svesni rizika da pri neophodnim kontaktima dođe do kvarenja ove kulture već se čak sreću sa problemom uticaja otkrivenih činjenica na svoje sopstveno ljudsko ponašanje. Ja ovde aludiram na iskustvo koje su doživeli mnogi istraživači da njihove predrasude, kojih ranije nisu bili svesni, budu uzdržane neočekivanim otkrićem unutrašnje harmonije ljudskog života pod uslovima i tradicijama koje su radikalno različite od njihovih. Mogu vas možda ovde podsetiti, kao na posebno drastičan primer, na stepen do koga je u izvesnim društvima invertovana uloga muškarca i žene, ne samo s obzirom na domaće i društvene obaveze već i u pogledu ponašanja i mentaliteta. Iako bi mnogi

od nas u ovoj situaciji verovatno najpre izbegavali da prihvate da je samo kapric sudbine ovim narodima dao njihovu sopstvenu kulturu a nama našu, a ne obrnuto, jasno je da je najmanja sumnja u tome smislu već izdaja nacionalnog ponosa svojstvenog svim originalnim kulturama.

Kao što se u atomskoj fizici koristi reč komplementaran da bi se izrazila relacija koja postoji između eksperimentalnih činjenica dobivenih pomoću različitih uređaja, a koje se intuitivno mogu opisati samo pomoću međusobno isključivih slika, isto tako s pravom možemo reći da su različite kulture međusobno komplementarne. Zaista, svaka takva kultura predstavlja harmoničnu ravnotežu tradicionalnih običaja pomoću kojih se mogu razviti skrivene mogućnosti ljudskog života na način koji nam otkriva nove vidove njegovog neograničenog bogatstva i raznolikosti. Naravno, ne može se, u ovoj oblasti, govoriti o takvim apsolutno isključivim relacijama, kao što su relacije komplementarnosti, koje se sreću u eksperimentima sa dobro definisanim atomskim objektima, pošto teško da postoji kultura za koju se može reći da je u potpunosti samostalna. Naprotiv, mi svi znamo na osnovu brojnih primera kako manje-više blizak kontakt između ljudskih društava može dovesti do postepenog spajanja običaja, iz čega se rađa potpuno nova kultura. Ne treba stoga zanemariti značaj mešanja naroda kroz migracije i ratove za razvoj ljudske civilizacije. Možda je zaista najuzvišeniji cilj humanističkih studija

da povećanjem znanja o istoriji kulturnog razvoja doprinesu postepenom otklanjanju predrasuda, što je zajednički cilj svih nauka.

Kao što sam naglasio na početku ovoga govora, daleko prevazilazi moje sposobnosti da doprinesem na bilo kakav neposredan način rešavanju problema o kojem se raspravlja među stručnjacima na ovom kongresu. Moja namera je bila jedino da vam dam ideju o opštem epistemološkom stavu koji smo bili primorani da prihvatimo u oblasti analize fizičkih eksperimenata, oblasti koja je veoma daleko od humanističkih nauka. Ne znam, međutim, da li sam našao pogodne reči da vam tu ideju prenesem i zato, pre nego što zaključim, dopustite da vam ispričam jedan događaj koji mi je na upečatljiv način ukazao na moje nesposobnosti u tome smislu. Da bih objasnio jednom skupu da nisam koristio reč predrasuda da bih implicirao bilo kakvu osudu drugih kultura, već samo da bih istakao da su naši pojmovni okviri nužno zasnovani na predrasudama, u šali sam podsetio na tradicionalne predrasude koje Danci imaju prema svojoj Švedskoj braći na drugoj strani Sounda, sa kojom smo se vekovima borili, čak i unutar zidova ovoga zamka, i od kojih smo u kontaktima kroz vekove dobili mnogo plodnih inspiracija. Možete shvatiti koliki je za mene bio šok kada mi je posle govora prišao slušalac iz publike i rekao da ne razume zbog čega ja mrzim Šveđane. Očigledno mora da sam se tom prilikom izražavao vrlo konfuzno, a plašim se da sam i da-

nas govorio vrlo nejasno. Ali, nadam se da nisam govorio toliko nejasno da bih izazvao slično nerazumevanje o svrsi svoje argumentacije.

DISKUSIJA SA EINSTEINOM
O EPISTEMOLOŠKIM PROBLEMIMA
U ATOMSKOJ FIZICI
1949.

Kada me je urednik serije „Živi filozofi” pozvao da napišem prilog za knjigu članaka kojom savremeni naučnici odaju počast doprinosima Alberta Einsteina napretku prirodne filozofije i izražavaju zahvalnost cele naše generacije za puteve koje nam je njegov genije pokazao, mislio sam da je najpogodnije da objasnim koliko sam mu zahvalan za inspiraciju. Tim povodom sam se živo podsetio mnogobrojnih prilika u kojima sam u toku niza godina imao privilegiju da raspravljam s Einsteinom o epistemološkim problemima koje je postavio moderni razvoj atomske fizike, pa sam osetio da teško mogu učiniti nešto bolje nego da prikazem te rasprave, koje su za mene predstavljale veliku vrednost i podstrek. Nadam se, takođe, da ovaj prikaz može širim krugovima čitalaca dati ideju o važnosti slobodne razmene ideja za napredak oblasti u kojoj su nas novi eksperimenti iz dana u dan primoravali da preispitujemo svoje stavove.

Od samoga početka glavna tema debate je bio stav koji treba zauzeti prema napuštanju uobičajenih principa prirodne filozofije, koji je bio karakterističan za novi razvoj fizike podstaknut prve godine ovoga veka Planckovim otkrićem univerzalnog kvanta dejstva. Ovo otkriće, koje je ukazalo na atomističke aspekte zakona prirode koji daleko prevazilaze staru doktrinu o ograničenoj deljivosti materije, nas je zaista naučilo da su klasične fizičke teorije idealizacija koja se može nedvosmisleno primeniti samo u graničnom slučaju, kada su sve akcije koje se javljaju velike u poređenju sa kvantom dejstva. Tako se na samom početku javilo pitanje da li odustajanje od kauzalnog načina opisivanja atomskih procesa, koje se desilo u naporima da se savlada situacija, treba posmatrati kao privremeno udaljavanje od ideala koji na kraju treba oživeti, ili smo suočeni sa nepovratnim korakom na putu ka postizanju istinske harmonije između analize i sinteze fizičkih fenomena. Da bih opisao pozadinu naših diskusija i da bih što je moguće jasnije izložio argumente u prilog suprotnim tačkama gledišta, osećao sam za potrebno da dosta detaljno podsetim na osnovne crte razvoja kome je sam Einstein tako presudno doprineo.

Kao što je dobro poznato, Plancka je u dubokom proučavanju termalnog zračenja usmeravala tesna veza između zakona termodinamike i statističkih regularnosti, koje je prvi otkrio Boltzmann, što ga je dovelo do njegovog fundamentalnog otkrića.

Dok se Planck u svojim radovima, pre svega zaukupiran razmatranjima statističkog karaktera, sa velikom oprežnošću uzdržavao da donosi definitivne zaključke o stepenu u kome egzistencija kvanta implicira udaljšavanje od osnova mehanike i elektrodinamike, Einsteinov veliki doprinos kvantnoj teoriji (1905) je bilo otkriće da fizički fenomeni, kao što je foto-efekat, mogu direktno zavistiti od kvantnih efekata.¹ Tih istih godina kada je, razvijajući svoju teoriju relativiteta, Einstein udario nove osnovne fizičkim naukama, on je vrlo predano istraživao nova svojstva atomizma koja su izlazila iz okvira klasične fizike.

Sa nepogrešivom intuicijom Einstein je, korak po korak, došao do zaključka da svaki radijacioni proces sadriži u sebi emisiju ili apsorpciju pojedinačnog kvanta ili „fotona”, čija energija i moment su

$$E = h\nu \text{ i } P = h\sigma \quad (1)$$

respektivno, gde je h Planckova konstanta, a ν i σ su redom broj vibracija u jedinici vremena i broj talasa po jedinici dužine. Bez obzira na njevu plodnost, ideja o fotonu je donela sasvim neočekivanu dilemu pošto je svaka korpuskularna slika zračenja očigledno neuskladiva sa interferencionim efektima, koji predstavljaju bitno svojstvo radijacionih fenomena i koji se mogu opisati samo pomoću talasne slike. Značaj dileme je poja-

čan činjenicom da nam jedino interferencioni efekti pružaju način da uvedemo pojmove frekvencije i talasne dužine koji ulaze u same izraze za energiju i moment fotona.

U toj situaciji nikako nije dolazilo u obzir da se pokuša kauzalna analiza radijacionih fenomena, već samo da se kombinovanim korišćenjem međusobno suprotnih slika ocene verovatnoće dešavanja pojedinačnih procesa zračenja. Međutim, važno je shvatiti da je cilj pribegavanja statističkim zakonima u ovim okolnostima suštinski drukčiji od onog kod uobičajene primene statističkih razmatranja koja se zbog praktičnih razloga koriste pri objašnjavanju osobina veoma složenih mehaničkih sistema. U stvari, u kvantnoj fizici mi se ne srećemo sa komplikacijama te vrste, već sa nemogućnošću da se specifično svojstvo nedeljivosti ili „pojedinačnosti”, koje karakteriše elementarne procese, shvati u okviru klasičnih koncepata.

Nemogućnost teorija klasične fizike da objasne atomske fenomene je potom još više došla do izraza napretkom našeg znanja o strukturi atoma. Rutherfordovo otkriće atomskog jezgra (1911) je odjednom otkrilo nepogodnost pojmova klasične mehanike i klasičnog elektromagnetizma da objasne stabilnost atoma. I ovde je opet kvantna teorija dala ključ za razjašnjenje situacije, a, posebno, postalo je moguće objašnjenje atomske stabilnosti, kao i empirijskih zakona koji upravljaju spektrima elemenata, polazeći od pretpostavke da se svaka reakcija atoma u kojoj dolazi do izmene ener-

¹ A. Einstein, *Ann. Phys.*, 17, 132 (1905).

gije događa preko kompletnih prelaza između tzv. stacionarnih stanja, i da spektri nastaju u stepenastim procesima u kojima je svaki prelaz praćen emisijom monohromatskog svetlosnog kvanta, čija energija je jednaka energiji Einsteinovog fotona.

Ove ideje, koje su ubrzo potvrdili eksperimenti Francka i Hertza (1914) o pobuđivanju spektara sudarima elektrona sa atomima, značile su dalje odstupanje od kauzalnog načina opisivanja, pošto interpretacija spektralnog zakona očigledno implicira da atom iz pobuđenog stanja u opštem slučaju ima mogućnosti prelaza uz emisiju fotona u jedno ili drugo od svojih nižih energetske stanja. U stvari, sama ideja o stacionarnim stanjima je nesaglasna sa bilo kakvim pravilom o izboru jednog od tih prelaza i ostavlja prostor samo za pojmove relativnih verovatnoća individualnih procesa prelaza. Jedini putokaz za određivanje ovih verovatnoća je tzv. princip korespondencije, čiji izvor leži u traženju najbliže moguće veze između statističkog opisivanja atomskih procesa i posledica koje treba očekivati na osnovu klasične teorije i koje bi trebalo da važe u graničnom slučaju, kada su akcije koje se javljaju na svakom stupnju analize fenomena velike u poređenju sa univerzalnim kvantom.

U to vreme nije bila na vidiku nikakva opšta konzistentna kvantna teorija, ali bi se stav koji je preovladavao mogao ilustrovati sledećim pasusom iz predavanja ovoga pisca iz 1913²:

² N. Bohr, *The Theory of Spectre and Atomic Constitution*, Cambridge, University Press, 1922.

Nadam se da sam se izrazio dovoljno jasno, tako da možete proceniti stepen do koga ova razmatranja dolaze u konflikt sa zadivljujuće konzistentnom šemom koncepcija koje su bile pravilno nazvane klasična elektrodinamika. Pored toga, pokušao sam da vam prenesem ideju da — upravo analizirajući dublje ovaj konflikt — može biti moguće da će s vremenom biti uspostavljena koherencija među novim idejama.

Značajan napredak u razvoju kvantne teorije učinio je sam Einstein u svome slavnom članku iz 1917,³ o ravnoteži zračenja, gde je pokazao da se Planckov zakon o termalnom zračenju može jednostavno izvesti iz pretpostavki koje su u skladu sa osnovnim idejama kvantne teorije o atomskim konstituentima. U tome cilju Einstein je formulisao opšta statistička pravila o radijacionim prelazima između stacionarnih stanja, pretpostavljajući ne samo da će se, kada je atom izložen polju zračenja, desiti apsorpcioni kao i emisijski proces sa verovatnoćom u jedinici vremena koja je srazmerna intenzitetu zračenja, već da će i u odsustvu spoljašnjih poremećaja doći do procesa spontane emisije sa brzinom koja odgovara izvesnoj apriornoj verovatnoći. Što se tiče ovog poslednjeg stava, Einstein je istakao na ubedljiv način bitno statistički karakter opisa ukazavši na analogiju između pretpostavki koje se odnose na tok spontanih radijacionih prelaza i dobro poznatih zakona koji

³ A. Einstein, *Physik, Z.*, 18, 121 (1917).

upravljaju transformacijama radioaktivnih supstanci.

U jednoj potpunijoj analizi uslova koje zahteva termodinamika za radijacione probleme Einstein je još jače istakao dilemu ukazavši na skrivenu pretpostavku u rezonovanju: da je svaki proces zračenja „usmeren”, u smislu da ne samo što foton, čiji se impuls poklapa sa smerom kretanja, predaje taj impuls atomu u procesu apsorpcije već i atom emiter prima ekvivalentan impuls u suprotnom smeru a da u talasnoj slici nikako nema mesta za izdvajanje jednog pravca u procesu emisije. Stav samog Einsteina prema ovakvim iznenađujućim zaključcima je izražen u pasusu na kraju članka (*loc. cit.*, p. 127f.) koji se može prevesti na sedeći način:

Izgleda da ova svojstva elementarnih procesa ukazuju da je razvoj čisto kvantnog tretmana zračenja neizbežan. Slabost teorije leži u činjenici da se, s jedne strane, ne može dobiti bliža veza sa talasnim konceptima, dok, s druge strane, ona prepušta slučaju trenutak i pravac elementarnih procesa; ipak, duboko verujem da smo na pravom putu.

Kada sam imao veliku sreću da prvi put sretнем Einsteina za vreme njegove posete Berlinu 1920, ova fundamentalna pitanja su bila predmet naših razgovora. Diskusije, na koje sam se u mislima često vraćao, dodale su mome divljenju prema Einsteinu još i dubok utisak o njegovom stavu bez predrasuda. Nema sumnje da njegova omiljena upotreba takvih slikovitih fraza kao što su „talasi duhova (Gespensterfelder) koji vode foto-

ne” nije nikako označavala tendenciju ka misticismu, već je pre otkrivala duboki humor uz njegova oštroumna zapažanja. Međutim, ostale su izvesne razlike u našim stavovima i pogledima, jer umejući maestralno da povezuje na prvi pogled kontradiktorne podatke, ne napuštajući ni kontinuitet ni kauzalitet, Einstein se više protivio odricanju od tih principa nego neko kome to odricanje izgleda jedini mogući put za rešenje neposrednog zadatka povezivanja mnogobrojnih eksperimentalnih podataka o atomskim fenomenima, koji su se iz dana u dan nagomilavali u toku analize tog novog polja znanja.

Narednih godina, kada su atomski problemi privlačili pažnju sve šireg kruga fizičara, očigledne kontradikcije koje su postojale unutar kvantne teorije bile su sve izrazitije prisutne. Diskusija koju je izazvalo otkriće Stern-Gerlachovog efekta (1922) ilustruje ovu situaciju. S jedne strane, ovaj efekat je davao jaku podršku ideji stacionarnih stanja, a posebno kvantnoj teoriji Zeemanovog efekta, koji je učinio Sommerfeld; s druge strane, kao što su jasno izložili Einstein i Ehrenfest⁴, taj efekat je postavljao nepremostive teškoće svakom pokušaju da se formira slika ponašanja atoma u magnetnom polju. Slični paradoksi su se pojavili sa Comptonovim otkrićem (1924) promene talasne dužine X-zraka pri njihovom rasejanju na elektronima. Ovaj fenomen je pružio, kao što je dobro poznato, najdirektniji dokaz ispravnosti Einsteino-

⁴ A. Einstein and P. Ehrenfest, *Z. Physik*, 11, 31 (1922).

ve slike o prenosu energije i impulsa u radijacionim procesima; istovremeno, bilo je podjednako jasno da nijedna jednostavna čestična slika sudara ne može pružiti iscrpan opis pojave. Pod udarom ovakvih teškoća, za trenutak su se čak javile sumnje u važenje zakona održanja energije i impulsa u pojedinačnim procesima zračenja⁵. Taj stav je vrlo brzo morao biti napušten pred mnogo savršenijim eksperimentima u kojima je otkrivena korelacija između skretanja fotona i odgovarajućeg uzmaka elektrona.

Put ka razjašnjenju situacije je najpre utrt razvojem obuhvatnije kvantne teorije. Prvi korak prema tome cilju je učinio de Broglie (1925) shvativši da čestično-taladni dualizam nije ograničen samo na svojstva zračenja, već je isto tako neizbežan u objašnjenju ponašanja materijalnih čestica. Ovu ideju, koja je uskoro bila ubedljivo potvrđena u eksperimentu sa elektronskim interferencionim efektima, odmah je prihvatio Einstein, koji je već bio predvideo duboku analogiju između osobina termalnog zračenja i gasova u tzv. degenerisanom stanju⁶. Ovu novu liniju mišljenja je sa najvećim uspehom sledio Schrödinger (1926), koji je još i pokazao kako se stacionarna stanja atomskih sistema mogu dobiti kao sopstvena rešenja talasne jednačine, do koje je došao vođen formalnom analogijom između mehaničkih i optičkih problema, koju je prvobitno otkrio Hamilton. Pa ipak, paradoksalni aspekti kvantne teorije ni-

⁵ N. Bohr, H. A. Kramers and J. C. Slater, *Phil. Mag.*, 47, 785 (1924).

⁶ A. Einstein, *Berl. Ber.* 261 (1924) : 3 i 18 (1925).

kako nisu umanjani, već čak pojačani, zbog prividne kontradikcije između zahteva opšteg principa superpozicije u talasnom opisu i karakteristične individualnosti kod elementarnih atomskih procesa.

Istovremeno, Heisenberg (1925) je dao osnove racionalne kvantne mehanike, koja se brzo razvijala preko značajnih radova Born i Jordana kao i Diraca. U ovoj teoriji uveden je formalizam, u kome su kinematičke i dinamičke varijable klasične mehanike zamenjene simbolima koji čine nekomutativnu algebru. Nezavisno od napuštanja orbitalne slike, Hamiltonove kanonske jednačine mehanike su zadržane nepromenjene, a Planckova konstanta ulazi samo u komutaciona pravila koja

$$qp - pq = \sqrt{-1} \frac{h}{2\pi} \quad (2)$$

važe za svaki skup konjugovanih varijabli q i p . Reprezentovanjem simbola matricama, čiji su matricni elementi povezani sa prelazima između stacionarnih stanja, prvi put je postala moguća kvantitativna formulacija principa korespondencije. Ovde je zgodno podsetiti da je značajan preliminarni korak prema ovome cilju postignut onda kada je razvijena, zahvaljujući Kramersovim radovima, kvantna teorija disperzije, koja u osnovi koristi Einsteinova opšta pravila za verovatnoće procesa apsorpcije i emisije.

Uskoro, Schrödinger je dokazao da ovaj formalizam kvantne mehanike daje rezultate koji su identični onim dobivenim često matematički po-

godnijim metodama talasne teorije, te su u narednim godinama postepeno izgrađene opšte metode za u suštini statistički opis atomskih procesa, koje kombinuju svojstva individualnosti i zahteve principa superpozicije, podjednako karakteristične za kvantnu teoriju. Među mnogobrojnim napretcima u ovome periodu, treba posebno napomenuti da taj formalizam može da obuhvati princip isključenja koji upravlja stacionarnim stanjima sa više elektrona, i koga je još pre stvaranja kvantne mehanike uveo Pauli analizirajući atomske spektre. Mnoštvo eksperimentalnih podataka obuhvaćenih kvantno-mehaničkim formalizmom nije dopuštalo sumnju u njegovu plodnost i valjanost, ali njegova apstraktnost je izazvala široko rasprostranjeno osećanje nezadovoljstva. Rasvetljavanje situacije je zahtevalo detaljno istraživanje samog problema posmatranja u atomskoj fizici.

Ovu fazu u razvoju, kao što je dobro poznato, započeo je Heisenberg⁷ (1927) ukazavši da svaki podatak koji se može dobiti o atomskom sistemu uvek sadrži i specifičnu „neodređenost“. Tako, svako merenje položaja elektrona pomoću mernog uređaja, kao što je mikroskop, koji koristi visokofrekventno zračenje, prema osnovnoj relaciji (1) povezan je sa razmenom momenta između elektrona i mernog uređaja, a razmenjeni moment je utoliko veći ukoliko je veća tačnost merenja. Poredeći ova razmatranja sa zahtevima kvantno-mehaničkog formalizma, Heisenberg je obratio pažnju na činjenicu da komutaciono pravilo (2) pos-

⁷ W. Heisenberg, *Z. Physik*, 43, 172 (1927).

tavlja recipročno ograničenje na određivanje vrednosti dve konjugovane varijable, q i p relacijom

$$\Delta q \cdot \Delta p \approx h \quad (3)$$

gde su Δq i Δp na odgovarajući način definisane neodređenosti u određivanju ovih varijabli. Ukazujući na tesnu vezu između statističkog opisa u kvantnoj mehanici i stvarnih mogućnosti merenja ove tzv. relacije neodređenosti su, kao što je Heisenberg pokazao, najvažnije za rasvetljavanje paradoksa koji se javljaju pri pokušajima da se kvantni efekti analiziraju shodno uobičajenim fizičkim slikama.

Novi napredak u atomskoj fizici je komentarisano sa različitih strana na Internacionalnom fizičkom kongresu, koji je u znak sećanja na Voltu održan u Komu septembra 1927. Na predavanju održanom tom prilikom⁸ obrazlagao sam da je tačka gledišta, dogovorom nazvana „komplementarnost“, pogodna da obuhvati karakteristične crte individualnosti kvantnih fenomena, kao i da istovremeno rasvetli specifične vidove problema posmatranja na tom polju istraživanja. U tome cilju bitno je shvatiti da, *ma koliko da fenomen izlazi iz okvira klasičnog fizičkog objašnjenja, prikaz podataka mora biti dat preko klasičnih pojmova*. Razlog leži u tome što rečju „eksperiment“ označavamo situaciju u kojoj drugima možemo reći šta smo uradili i šta smo naučili i da,

⁸ Atti del Congresso Internazionale dei Fisici, Como, Settembre 1927 (reprinted in *Nature*, 121, 78 and 580, 1928).

dakle, objašnjenje eksperimentalnog uređaja i rezultata posmatranja mora biti izraženo nedvosmislenim jezikom sa pogodnom upotrebom terminologije klasične fizike.

Ova bitna misao je glavna tema diskusija koje će upravo biti izložene, a ima kao posledicu *ne-mogućnost oštrog razdvajanja ponašanja atomskih objekata od interakcije sa mernim instrumentima koji služe da se definišu uslovi pod kojima se fenomen odvija*. U stvari, individualnost tipičnih kvantnih efekata dolazi naročito do izraza u okolnosti da će svaki pokušaj da se fenomen razloži zahtevati izmenu eksperimentalnog uređaja, što uvodi nove mogućnosti interakcije između objekta i mernih instrumenata, koja se u principu ne može kontrolisati. Prema tome, podaci dobiveni pod različitim eksperimentalnim uslovima ne mogu se obuhvatiti jednom jedinom slikom, već se moraju posmatrati kao *komplementarni* u smislu da samo ukupnost fenomena iscrpljuje sve moguće informacije o objektima.

Pod ovim uslovima pri davanju uobičajenih fizičkih atributa atomskim objektima bitno se unose elementi nejasnoće, što se odmah ispoljava u dilemi povezanoj sa čestičnim i talasnim svojstvima elektrona i protona, gde moramo da radimo sa suprotnim slikama. Svaka od ovih slika odnosi se na jedan bitan aspekt empirijskog iskustva. Ilustrativan primer koji pokazuje kako se prividni paradoksi mogu ukloniti studiranjem eksperimentalnih uslova pod kojima se javljaju komplementarni fenomeni takođe je dat Comptonovim efek-

tom, čije nas je konzistentno opisivanje prvi put suočilo sa ozbiljnim teškoćama. Dakle, svaki uređaj namenjen proučavanju izmene energije i impulsa između elektrona i fotona neophodno sadrži neodređenost u prostorno vremenskom opisu interakcije, koja omogućuje da se odrede talasni broj i frekvencija koji ulaze u relaciju (1). Obrnuto, svaki pokušaj da se tačnije odredi mesto sudara fotona i elektrona, zbog neizbežne interakcije sa lenjirima i časovnicima koji definišu prostorno vremenski referentni sistem, isključuje svako bliže određivanje balansa momenta i energije.

Kao što je naglašeno u ovome predavanju, pogodan način za komplementaran način opisivanja pruža upravo kvantno-mehanički formalizam koji omogućuje da se na osnovu principa korespondencije, predvide rezultati koji se mogu dobiti pod uslovima opisanim pomoću klasičnih pojmova. Ovde treba ukazati da se već u relacijama neodređenosti (3) srećemo sa okolnošću da nije moguće jasno opisati pomoću reči pogodnih za opis klasičnih fizičkih slika. Tako, rečenica kao „ne možemo znati i impuls i položaj atomskog objekta” izaziva odmah pitanja o fizičkoj realnosti ova dva atributa objekta, na koja se može odgovoriti samo određivanjem uslova pod kojima se nedvosmisleno mogu koristiti prostorno-vremenski koncepti, s jedne strane, i dinamički konzervacioni zakoni, s druge strane. Dok kombinacija ovih koncepata u jedinstvenu sliku uzročnog lanca događaja čini suštinu klasične mehanike, mogućnost pravilnog

opisa izvan toga načina postoji upravo zahvaljujući okolnosti da studiranje komplementarnih fenomena zahteva međusobno isključive eksperimentalne uređaje.

Neophodnost preispitivanja osnova za neprotivurečnu upotrebu elementarnih fizičkih ideja, koja se javlja u atomskoj fizici, podseća na izvestan način na situaciju koja je navela Einsteina na njegovu originalnu reviziju osnova primene svih prostorno-vremenskih koncepata, koja je naglašavanjem prevashodno značaja problema posmatranja dovela do takvog jedinstva naše slike o svetu. Nezavisno od svih novina u prilazu, kauzalni opis je zadržan u teoriji relativiteta unutar svakog datog referentnog sistema, dok nas u kvantnoj teoriji nekontrolabilna interakcija između objekta i mer-nih instrumenata primorava na odustajanje čak i u tome smislu. Ovo saznanje, međutim, nikako ne ukazuje na ograničenja okvira važnosti kvantno-mehaničkog opisa, a svrha celokupne argumentacije iznesene u predavanju u Komu je bila da se dokaže da se princip komplementarnosti može smatrati racionalnim uopštenjem samog ideala kauzaliteta.

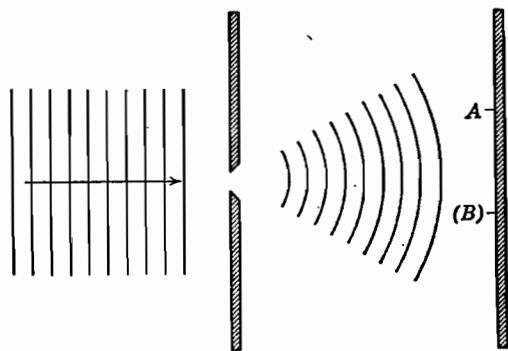
Na generalnoj diskusiji u Komu svima nam je nedostajao Einstein, ali uskoro posle toga, u oktobru 1927, imao sam priliku da ga sretnem u Brislu na Petoj konferenciji fizičara Solvayevog instituta, koja je bila posvećena temi „Elektroni i fotoni”. Na Solvayevim skupovima Einstein je od samog početka bio najistaknutija ličnost, a nas

nekolicina došli smo na konferenciju jako želeći da saznamo njegovo mišljenje o najnovijem razvoju u toku koga se, po našem uverenju, otišlo daleko u razjašnjenju problema koje je on sam tako ingeniozno uočio. Za vreme diskusija, u kojima je ceo problem sagledan sa mnogo strana, i u kojima su ponovo izloženi argumenti dati na prethodnim stranama, Einstein je, međutim, izrazio duboku zabrinutost zbog stepena u kome je u kvantnoj mehanici napušten kauzalni opis u prostoru i vremenu.

Da bi ilustrovao svoj stav, Einstein se na jednoj sesiji⁹ poslužio prostim primerom čestice (elektron ili foton) koja prolazi kroz otvor na uskom prorezu dijafragme postavljene na nekom rastojanju od fotografske ploče (v. sl. 1). Zbog difrakcije talasa povezanog sa kretanjem čestice a označenog na slici tankim linijama, pod ovim uslovima nije moguće sa sigurnošću predvideti u koju će tačku na fotografskoj ploči stići elektron, već je samo moguće izračunati verovatnoću da se u eksperimentu elektron nađe u bilo kojoj datoj oblasti ploče. Očigledna teškoća u ovome opisu, koju je Einstein tako ozbiljno osećao, jeste činjenica da, ako je u eksperimentu elektron, detektovan u tački A ploče, tada je van diskusije da je moguće uočiti efekat toga elektrona u drugoj tački (B), mada zakoni uobičajenog prostiranja talasa ne daju nikakvu mogućnost za korelaciju između takva dva događaja.

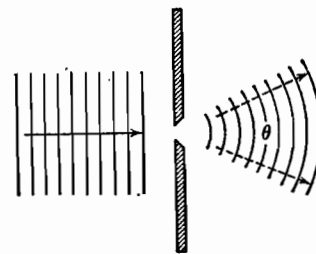
⁹ Institut International de Physique Solvay. *Rapport et discussions du 5^e Conseil*, Paris 1928, 253 ff.

Einsteinov stav je izazvao najžučnije rasprave unutar malog kruga, u kojima je Ehrenfest, godinama naš blizak prijatelj, učestvovao na najaktivniji i najkorisniji način. Naravno, svi smo se složili da u gornjem primeru nema analogija koje bi davale mogućnost za primenu statistike koja se koristi za tretiranje komplikovanih mehaničkih sistema, već da je pre reč o situaciji nalik na onu koja je bila osnova Einsteinovih ranijih zaključaka o direkcionalnosti pojedinačnih radijacionih efekata, a koja je u oštroj suprotnosti sa prostom talasnom slikom (v. str. 66). Diskusije su se pak koncentrisale oko pitanja da li kvantno-mehanički opis iscrpljuje mogućnosti objašnjenja opservabilnih fenomena ili se, kao što je Einstein smatrao, analiza može sprovesti dalje, a, posebno, da li se potpuniji opis fenomena može dobiti razmatrajući detaljnu ravnotežu energije i momenta u individualnim procesima.

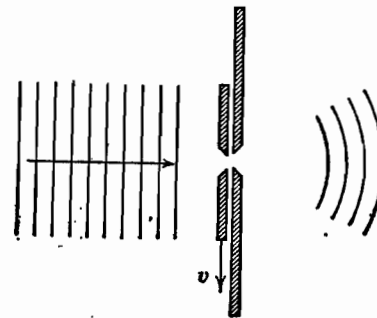


Slika 1

Da bismo objasnili tok Einsteinovih argumenata, može biti ilustrativno ovde razmotriti neke proste karakteristike bilansa energije i impulsa u vezi određivanja položaja čestice u prostoru i vremenu. U tome cilju ispitaćemo prost primer čestice koja prolazi kroz otvor na dijafragmi bez preklopa i sa preklomom, koji služi za otvaranje i zatvaranje otvora, kao što je, tim redom, naznačeno na slikama 2a i 2b. Ekvidistantne paralelne linije na levoj strani slike označavaju niz ravnih talasa, koji odgovaraju stanju kretanja



Slika 2a



Slika 2b

čestice koja, pre nego što dođe do dijafragme, ima impuls P povezan sa talasnim brojem σ drugom od jednačina (1). Zbog difrakcije talasa pri prolazu kroz otvor, stanje kretanja čestice desno od dijafragme predstavljeno je sfernim talasom sa odgovarajućom ugaonom aperturom Θ , a u slučaju sl. 2b, i sa ograničenim radijalnim dimenzijama. Prema tome, opis ovoga stanja sadrži izvesnu disperziju Δp komponente momenta čestice koja je paralelna dijafragmi, a u slučaju dijafragme sa preklopom, dodatnu disperziju ΔE kinetičke energije.

Kako je mera disperzije Δq u određivanju položaja čestice u ravni dijafragme data poluprečnikom α otvora, i kako je $\theta \approx 1/\sigma\alpha$, dobijamo koristeći (1), baš $\Delta p \approx \theta P \approx h/\Delta q$, u saglasnosti sa relacijom neodređenosti (3). Ovaj rezultat se, naravno, može dobiti direktno, uočivši da će, zbog ograničenih dimenzija polja na mestu razreza, komponenta talasnog broja paralelna ravni dijafragme imati disperziju $\Delta\sigma \approx 1/\alpha \approx 1/\Delta q$. Slično, opseg frekvencija harmonika u ograničenom talasnom nizu na sl. 2b je očigledno $\Delta\nu \approx 1/\Delta t$, gde je Δt vremenski interval za vreme koga je otvor otvoren i tako predstavlja dispreziju vremena prolaza čestica kroz dijafragmu. Iz (1), mi dakle dobijamo

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h \quad (4)$$

što je opet u saglasnosti sa relacijom (3) za dve konjugovane varijable E i t .

Sa stanovišta zakona konzervacije, razlog ovih neodređenosti, koje ulaze u opis stanja čestice posle prolaska kroz rupu može se naći u mogućnosti razmene momenta i energije čestice sa dijafragmom ili kapkom. U referentnom sistemu koji je razmatran na slikama 2a i 2b, brzina dijafragme se može zanemariti i treba uzeti u obzir samo razmenu momenta Δp između čestice i dijafragme. Kapak, međutim, koji ostavlja otvor otvorenim u toku vremena Δt , kreće se sa znatnom brzinom $v \approx \alpha/\Delta t$, a prenos impulsa Δp povlači dakle izmenu energije sa česticom reda

$$v \cdot \Delta p \approx \frac{\Delta q \cdot \Delta p}{\Delta t} \approx \frac{h}{\Delta t}$$

koja je istog reda veličine kao neodređenost ΔE data u (4) što je u skladu sa održanjem momenta i energije.

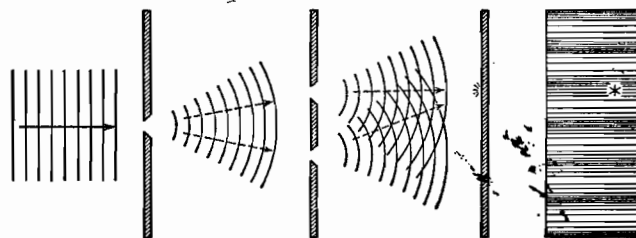
Sada je Einstein postavio sledeći problem: u kome stepenu se kontrola prenosa momenta i energije, koja je neophodna pri određivanju položaja čestice u procesu i vremenu, može potom koristiti pri određivanju stanja čestice posle prolaska kroz otvor? Ovde se mora uzeti u obzir da je pretpostavljeno da su položaj i kretanje dijafragme i kapka tačno određeni u prostorno vremenskom referentnom sistemu. Ova pretpostavka implicira da u opisu stanja ovih tela postoji bitna disperzija momenta i energije koja, međutim, ne mora bitno uticati na brzine alko su dijafragma i kapak jako teški. Međutim, čim želimo da znamo moment i

energiju onih delova mernog uređaja sa tačnošću koja je dovoljna da se kontroliše izmena momenta i energije sa česticom koja se istražuje, mi ćemo, u saglasnosti sa opštim relacijama neodređenosti, izgubiti mogućnost njihovog tačnog lociranja u prostoru i vremenu. Mi, dakle, moramo da ispitamo koliko će ova okolnost uticati na namenu celog uređaja, i kao što ćemo videti, preko te bitne okolnosti se jasno ispoljava komplementarni karakter fenomena.

Vratimo se za moment jednostavnom primeru uređaja prikazanom na slici 1, za koji još nije rečena namena za koju je predviđen. U stvari, samo pod pretpostavkom da su položaj dijafragme i ploče tačno određeni u prostoru i vremenu nije moguće, u okviru formalizma kvantne mehanike, tačno predvideti tačku na fotografskoj ploči u koju će pasti čestica. Ako međutim dopustimo dovoljno veliku disperziju u poznavanju položaja dijafragme, trebalo bi, u principu da je moguće kontrolisati predati impuls dijafragmi, i, tako, predvideti detaljnije pravce elektronske putanje od otvora do tačke detekcije. Što se tiče kvantno-mehaničkog opisa, ovde se moramo baviti sistemom dva tela koji se sastoji iz dijafragme i čestice, i eksplicitno primeniti na takav sistem konzervacione zakone sa kojima smo se bavili u Comptonovom efektu, na primer, gde nam posmatranje uzmarka elektrona u mehurastoj komori omogućuje da predvidimo pravac u kome se može posmatrati rasejani foton.

Za vreme diskusije je značaj ove vrste razmatranja postao još očigledniji studiranjem uređaja

u kome je između dijafragme sa razrezom i fotografske ploče umetnuta druga dijafragme sa dva paralelna razreza, kao što je pokazano na slici 3. Ako paralelni snop elektrona (ili fotona) pada s leve na prvu dijafragmu, mi ćemo, pod uobičajenim uslovima, videti na ploči interferencionu sliku koja se ispoljava preko zacrnjenja fotografske ploče i koja je s lica prikazana na desnoj strani slike. Sa intenzivnim snopovima ovaj uzorak nastaje akumulacijom velikog broja individualnih procesa, od kojih svaki izaziva malu tačku na fotografskoj ploči, a raspodela tačaka sledi prost zakon koji se može izvesti iz talasne analize. Ista raspodela bi trebalo da se dobije u statističkom prikazu velikog broja eksperimenata izvedenih sa tako slabim snopovima da pri jednoj ekspediciji samo jedan elektron (ili foton) dolazi na fotografsku ploču u neku tačku označenu zvezdicom na slici. Pošto sada, kao što je označeno isprekidanim linijama, predat moment prvoj dijafragmi treba da bude različit u zavisnosti od toga da li elektron prolazi kroz gornji ili donji razrez druge dijafragme, Einstein je sugerisao da bi kontrola predatog



Slika 3

impulsa dozvolila detaljniju analizu fenomena i, posebno, omogućila da se odredi kroz koji je od dva razreza elektron prošao pre nego što je stigao na ploču.

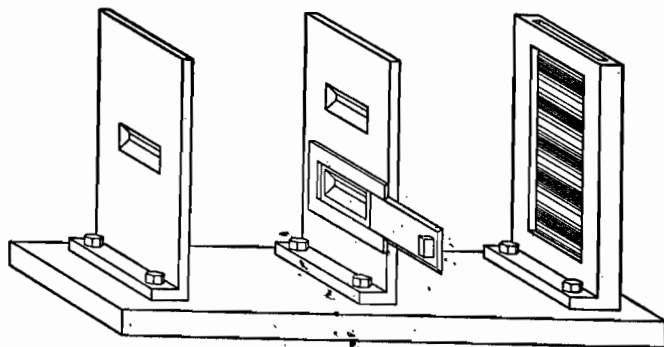
Međutim, detaljnija analiza je pokazala da bi pri predloženoj kontroli predatog momenta došlo do neodređenosti u poznavanju položaja dijafragme, što bi isključilo pojavu interferentnog fenomena o kome je reč. U stvari, ako je ω mali ugao između hipotetičnih trajektorija čestice pri prolazu kroz donji ili gornji razrez, razlika predatog momenta u ova dva slučaja je, prema (1) jednaka $h\sigma\omega$, i svako merenje momenta dijafragme tako precizno da je moguće merenje te razlike, zbog relacija neodređenosti, sadržavaće jednu minimalnu neodređenost u položaju dijafragme, reda $1/\sigma\omega$. Ako je, kao na slici, dijafragma sa dva proreza postavljena u sredini između prve dijafragme i fotografske ploče, videćemo da će broj pruga po jedinici dužine biti jednak $\sigma\omega$, a pošto neodređenost položaja prve dijafragme veličine $1/\sigma\omega$ uzrokuje istu toliku neodređenost položaja pruga, sledi da se ne može pojaviti nikakav interferentni efekat. Lako se pokazuje da isti rezultat važi pri bilo kome drugom položaju druge dijafragme između dve dijafragme i ploče, a dobio bi se i kada bismo u predloženom cilju, umesto prve dijafragme, iskoristili bilo koje od ova tri tela za kontrolu predatog momenta.

Ova činjenica ima velike logičke posledice, pošto je okolnost da imamo mogućnost da biramo između određenja putanje čestice i opserviranja in-

terferencionog efekta jedina koja nam omogućuje da izbegnemo paradoksalnu situaciju da moramo zaključiti da ponašanje elektrona ili fotona treba da zavisi od prisustva razreza na dijafragmi kroz koji bi se moglo pokazati da nije prošao. Ovde imamo tipičan primer kako se komplementarni fenomeni ispoljavaju u međusobno isključivim eksperimentalnim uređajima (v. str. 72). Upravo smo suočeni sa nemogućnošću da u analizi kvantnih efekata oštro razdvojimo nezavisno ponašanje atomskih objekata od njihove interakcije sa mernim instrumentima koji služe da se definišu uslovi pri kojima se odvija fenomen.

Naši razgovori o stavu koji treba zauzeti prema novoj situaciji u pogledu analize i sinteze eksperimenata su prirodno doticali mnoge aspekte filozofskog mišljenja, ali, uprkos svim razmimoilaženjima u prilazu i stavovima, rasprava se vodila u veoma humorističkom duhu. Sa svoje strane, Einstein nas je ironično pitao da li verujemo da božanske sile deluju pri igranju sa kockom („...ob der liebe Gott würfelt”), na šta sam odgovorio da treba biti veoma oprezan, što su zahtevali još i stari mislioci, pri opisivanju svojstava Božanstva pomoću svakodnevnog jezika. Sećam se, takođe, kako je na vrhuncu diskusije Ehrenfest, na svoj strastan način da se šali sa prijateljima, podsmešljivo ukazao na očiglednu sličnost između Einsteinovog stava i stava oponentata teorije relativiteta; ali Ehrenfest je odmah potom dodao da ne bi imao poverenja u svoj sopstveni mozak pre nego što bi se složio s Einsteinom.

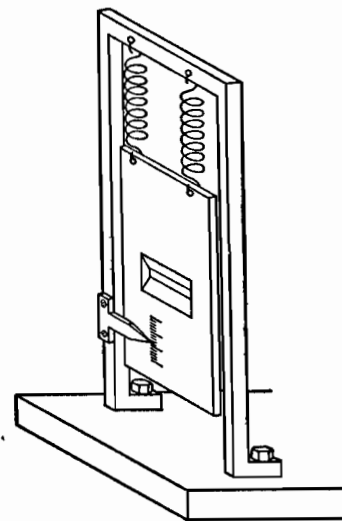
Einsteinovo interesovanje i kritika su bili najdragoceniji podstrek za sve nas da preispitamo različite aspekte situacije koja se tiče opisa atomskih fenomena. Za mene je to bio dobrodošao stimulan da više razjasnim ulogu koju igraju mereni instrumenti i da bih našao strogu potporu za međusobno isključiv karakter eksperimentalnih uslova pod kojima se javljaju komplementarni fenomeni, tih dana sam pokušao da na pseudorealističan način skiciram različite aparature, a sledeće slike su primeri nekih od njih. Tako, za proučavanja interferencionog efekta tipa onog na slici 3, on sam sugerira eksperimentalni uređaj, kao što je onaj na slici 4, gde su čvrsti delovi aparature, koji služe kao dijafragme i držači ploča, čvrsto utvrđeni na zajednički držač. U ovakvom uređaju, u kome je poznavanje relativnog položaja dijafragme i fotografske ploče obezbeđeno rigidnom vezom, očigledno je nemoguće kontrolisati izmenu momenta između čestice i pojedinačnih delova



Slika 4

aparature. Jedini način na koji, u ovakvom uređaju, možemo biti sigurni da je čestica prošla kroz jedan od razreza u drugoj dijafragmi je da pokrijemo drugi razrez pomoću poklopca, kao što je oznanečno na slici; ili ako je prorez pokriven, nema naravno govora o bilo kakvom interferencionom fenomenu, i na ploči ćemo prosto videti kontinuiranu raspodelu kao u slučaju jedne fiksne dijafragme na slici 1.

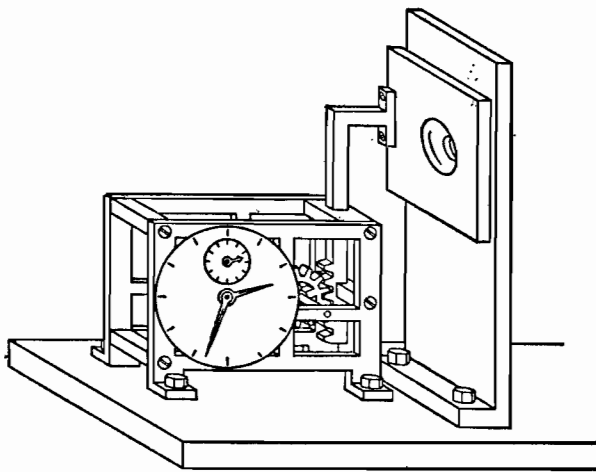
U studiji onih fenomena, pri čijem objašnjenju koristimo detaljno balans impulsa, izvesnim delovima celog uređaja se mora dati sloboda da se kreću nezavisno jedni od drugih. Jedna takva aparatura je skicirana na slici 5, gde je dijafragma sa razrezom okačena pomoću slabih opruga o čvrst



Slika 5

ram pričvršćen na podlogu na koju su pričvršćeni drugi nepokretni delovi uređaja. Skala na dijafragmi i kazaljka na stubovima rama služe da se studira kretanje dijafragme, što je potrebno da bi se odredio impuls predat dijafragmi, a ovo omogućuje da se izvedu zaključci o skretanju čestice pri prolazu kroz razrez. Pošto, međutim, svako očitavanje skale, bilo kako da je izvedeno, izaziva nekontrolisanu promenu momenta dijafragme, uvek će postojati, u skladu sa principom neodređenosti, recipročna relacija između našeg znanja o položaju razreza i tačnosti merenja impulsa.

U istom poluozbiljnom stilu, slika 6 predstavlja deo uređaja koji je pogodan za proučavanje fenomena, koji nasuprot ovim upravo diskutovanim, zahtevaju eksplicitno određivanje vremena.



Slika 6

On sadži poklopac koji je čvrsto povezan sa velikim časovnikom postavljenim na podlogu sa dijafragmom na kojoj su pričvršćeni ostali delovi sličnog karaktera, koji se podešavaju pomoću istog časovnika ili pomoću drugih časovnika standardizovanih u odnosu na njega. Posebna namena slike je da istakne da je časovnik deo mašinerije, čiji se rad može u potpunosti objasniti pomoću obične mehanike i na koji ne utiče ni čitanje položaja njegovih kazaljki niti interakcija između njegovih delova i atomskih čestica. Ako se osigura otvaranje proreza u određenom trenutku, aparatura ovoga tipa bi mogla, na primer, da se upotrebi za tačno merenje vremena koje je potrebno elektronu da pređe rastojanje od dijafragme do nekog drugog mesta, ali, očigledno, pri tome nikako ne postoji mogućnost merenja energije predate poklopcu sa ciljem dobijanja podataka o energiji čestice koja je prošla kroz dijafragmu. Ako nas interesuju takvi podaci, mi moramo, naravno, upotrebiti aparaturu u kojoj poklopci ne mogu više služiti kao precizni časovnici, već u kojima poznavanje trenutka otvaranja proreza sadrži neodređenost povezanu sa tačnošću merenja energije pomoću opšte relacije (4).

Posmatranje ovakvih manje više praktičnih uređaja i njihove manje više fiktivne upotrebe se pokazalo najinformativnijim za usredsređivanje pažnje na bitne crte problema. Ovde je poenta u razlikovanju objekata koji se istražuju od mernih instrumenata koji služe da se, pomoću klasičnih termina odrede uslovi pod kojima se odvija pojava.

Uočimo uzgred da za ilustraciju prethodnih razmatranja nije bitno što su eksperimenti u kojima se zahteva tačno merenje predatog momenta i energije između atomskih čestica i teških tela, kao što su dijafragme i poklopci teški za izvođenje, ako su uopšte i izvodljivi. Bitno je samo da u ovim slučajevima, za razliku od mernih instrumenata u uskom smislu reči, ova tela zajedno sa česticama čine sistem na koji se mora primeniti formalizam kvantne mehanike. Što se tiče uslova koji su potrebni za bilo koju dobro definisanu primenu formalizma, bitno je uzeti u obzir *ceo eksperimentalni uređaj*. U stvari, unošenje bilo koga drugog dela aparata na put čestice, kao što je, npr. ogledalo, može dovesti do novih interferencionih efekata koji bi bitno uticali na predviđanja rezultata koji bi se eventualno mogli dobiti.

Sledeći primer, na koji je Einstein vrlo rano obratio pažnju i na koji se često vraćao, ilustruje na upečatljiv način u kolikoj meri činjenica da je nemoguće rastaviti na delove atomske fenomene nameće neophodnost odustajanja od njihovog slikovitog prikazivanja. Ako se polupropustljivo ogledalo postavi na put fotona i tako dopusti da se foton propagira u dva moguća pravca, foton se može detektovati na jednoj, i samo jednoj od dve fotografske ploče postavljene na velikom rastojanju u dva moguća pravca; ali, mi možemo takođe zamenjujući ploče ogledalima observirati efekte koji pokazuju interferenciju između dva reflektovana talasa. Pri svakom pokušaju da slikovito prikažemo ponašanje fotona mi bismo se sreli sa

teškoćom da budemo primorani da kažemo, s jedne strane, da foton uvek bira *jedan* put, i, s druge strane, da se ponaša kao da je prešao duž *obadva* puta.

Ovakvi argumenti ukazuju na nemogućnost da se kvantni fenomeni rastave na delove, kao i na nejasnoće koje se javljaju pri pridruživanju uobičajenih fizičkih atributa atomskim objektima. Posebno je važno da se shvati da je nedvosmislena upotreba prostorno-vremenskih koncepata — pred one u određivanju položaja i podešavanju vremena mernih instrumenata — ograničena na registrovanje podataka povezanih sa tragovima na fotografskoj ploči ili na slične praktično ireverzibilne efekte pojačanja, kao što je narastanje kapljice vode oko jona u mehurskoj komori. Mada, u stvari, egzistencija kvanta dejstva u krajnjoj liniji određuje osobine materijala od kojih su napravljene merni instrumenti i od kojih zavisi funkcionisanje registracionih uređaja, ova okolnost nije značajna za pitanja pogodnosti i kompletnosti kvantno-mehaničkog opisa koji je ovde diskutovan.

Ovi problemi su bili predmet plodnih i raznovrsnih diskusija na Solvayevom skupu,¹⁰ na istoj sesiji na kojoj je Einstein izložio svoje opšte primedbe. Tom prilikom se razvila i jedna zanimljiva diskusija o načinu na koji treba govoriti o fenomenima za koje su moguća samo predviđanja statističkog karaktera. Pitanje je bilo do li, kada se radi o odvijanju pojedinačnih efekata, treba prihvatiti terminologiju koju je predlagao Dirac, pre-

¹⁰ *Ibid.*, 248ff

ma kojoj je reč o izboru koji pravi „priroda”, ili, kao što je sugerisao Heisenberg, treba reći da se nalazimo pred izborom koji je napravio „posmatrač” koji konstruiše merne instrumente i čita njihove zapise. Ali svaka ovakva terminologija izgleda sumnjiva, jer, s jedne strane, teško da je razumno pripisati prirodi volju u običnom smislu, dok, s druge strane, sigurno da nije moguće da posmatrač utiče na događaje koji se mogu desiti pod uslovima koje je pripremio. Po mom mišljenju nema drugog izlaza nego da se prihvati da se u ovoj oblasti istraživanja bavimo posebnim fenomenima i da nam naše mogućnosti upotrebe mernih instrumenata jedino dopuštaju da napravimo izbor među različitim komplementarnim tipovima fenomena koje želimo da studiramo.

Epistemološki problemi koji su ovde dotaknuti mnogo su eksplicitnije razmatrani u mome članku u jednoj svesci časopisa *Naturwissenschaften* posvećenoj Planckovom 70. rođendanu 1929. godine. Tu je takođe napravljeno poređenje između pouke izvedene iz otkrića univerzalnog kvanta dejstva i razvoja koji je pratio otkriće konačne brzine svetlosti i koji je, preko Einsteinovog pionirskog rada, tako mnogo rasvetlio osnovne principe prirodne filozofije. Teorija relativiteta je dajući veliki značaj zavisnosti fenomena od referentnog sistema otkrila sasvim nove puteve, čiji je domet za otkrivanje opštih fizičkih zakona neuporediv. Kvantna teorija, kao što smo rekli, shvatila je logično izvesna fundamentalna pravila koja upravljaju atomskim fenomenima: ali zbog toga je tre-

balo prihvatiti da je nemoguće oštro razdvojiti nezavisno ponašanje objekata od njihove interakcije sa mernim instrumentima koji definišu referentni sistem.

U tome smislu, kvantna teorija nas u fizičkim naukama stavlja u novu situaciju, mada je već ukazano na veoma blisku analogiju sa situacijom koja se tiče analize i sinteze iskustva u drugim oblastima ljudskog znanja i interesovanja. Kao što je dobro poznato, mnoge teškoće u fiziologiji potiču od razlika u postavljanju linije između objekta i subjekta u analizi različitih aspekata psihičkog iskustva. U stvari, reči kao što su „misli” i „osećanja” koje su podjednako neophodne da bi se ilustrovali raznolikost i okvir svesnog života, koriste se na sličan komplementaran način kao što se koriste prostorno-vremensko koordiniranje i dinamički konzervacioni zakoni u atomskoj fizici. Precizna formulacija ovakvih analogija povlači za sobom naravno terminološke teškoće, a piščev stav je možda najbolje izložen u pasusu članka u kome ukazuje da postoji uvek međusobna isključivost između praktične upotrebe bilo koje reči i pokušaja da se ona striktno definiše. Međutim, bitan cilj ovih razmatranja, koja nisu samo inspirisana nadom da se utiče na Einsteinov stav, bio je da se istaknu perspektive za rešenje nekih epistemoloških problema pomoću pouka izvedenih studiranjem novih ali u osnovi jednostavnih fizičkih eksperimenata.

Pri sledećem susretu sa Einsteinom na Solvayevoj konferenciji 1930, naše diskusije su dobile dramatičan tok. Kao primedbu na stav da je isključeno svako merenje izmene momenta i energije između objekata i mernih instrumenata ako ovi instrumenti služe za definisanje prostorno-vremenskog sistema, Einstein je izložio argument da bi takvo merenje moralo biti moguće uzimanjem u obzir zahteva teorije relativiteta. Posebno, opšta relacija između energije i mase, izražena slavnom Einsteinovom formulom

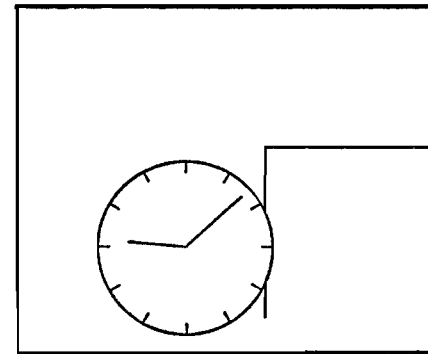
$$E=mc^2 \quad (5)$$

trebalo je da omogući, preko običnog određivanja težine, da se izmeri ukupna energija bilo koga sistema, i tako opet u principu kontroliše energija koja mu je predata pri interakciji sa atomskim objektom.

Kao uređaj pogodan za tu svrhu Einstein je predložio spravu prikazanu na slici 7, koja se sastoji iz kutije sa rupom na jednoj strani koja se može otvoriti ili zatvoriti pomoću poklopca koga pokreće časovnik unutar kutije. Ako je u početku u kutiji bila izvesna količina zračenja, a časovnik podešen tako da otvori poklopac u malom vremenskom intervalu u izabranom trenutku, moglo bi se postići da jedan foton izleti kroz otvor u trenutku koji se može odrediti sa onolikom tačnošću koliko se želi. Štaviše, očigledno bi bilo moguće, merenjem težine cele kutije pre i posle događaja,

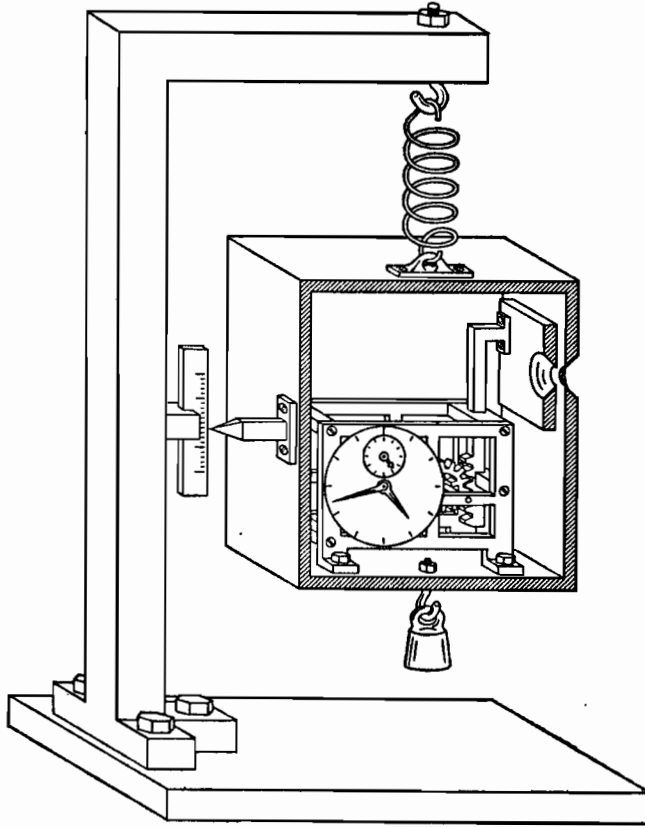
da se izmeri energija fotona sa onolikom tačnošću koliko se želi, što je definitivno u suprotnosti sa recipročnom neodređenošću vremena i energije u kvantnoj mehanici.

Ovaj argumenat je bio ozbiljan izazov i doveo je do detaljne analize celog problema. Na kraju diskusije, kojoj je Einstein mnogo doprineo, postalo je međutim jasno, da je argument neodrživ. U stvari, pri razmatranju problema, nađeno je da je neophodno bliže analizirati posledice identifikacije inercijalne i gravitacione mase implicitno ugrađene u relaciju (5). Posebno, bilo je neophodno uzeti u obzir relaciju između ritma časovnika i njegovog položaja u gravitacionom polju — koja je dobro poznata iz crvenog pomaka linija u sunčevom sistemu — a koja sledi iz Einsteinovog principa ekvivalencije između gravitacionih efekata i fenomena posmatranih u ubrzanim referentnim sistemima.



Slika 7

Naša diskusija se koncentrisala na moguću primenu aparature koja sadrži Einsteinovu spravu, a nacrtana je na slici 8 u istom pseudorealističnom stilu u kome su nacrtane neke od prethodnih slika. Kutija, čiji je presek pokazan da bi bila prikazana njena unutrašnjost, okačena je o oprugu,



Slika 8

a ima i skazaljku da bi se očitavao njen položaj na skali pričvršćenoj za držač opruge. Težina kutije se dakle može odrediti sa bilo kojom datom tačnošću Δm podešavanjem vage u multi položaj pomoću odgovarajućeg tereta. Tu je poenta da bilo koje određivanje položaja sa datom tačnošću Δq , zahteva najmanje disperziju Δp u kontroli momenta kutije koja je sa Δq povezana relacijom (3). Ova disperzija mora obavezno biti manja od ukupnog impulsa, koji za vreme celog intervala T uravnotežavanja može predati gravitaciono polje telu mase Δm , ili

$$\Delta p \approx \frac{h}{\Delta q} < Tg \cdot \Delta m \quad (6)$$

gde je g zemljino ubrzanje. Što je veća tačnost očitavanja položaja skazaljke q , mora prema tome biti duži interval uravnotežavanja, ako se želi izmeriti težina kutije i njenog sadržaja sa datom tačnošću Δm .

Ali, na osnovu opšte teorije relativiteta, časovnik koji je pomenen za Δq u pravcu gravitacione sile promeniće svoj ritam, tako da će se očitavanje časovnika u vremenskom intervalu T razlikovati za veličinu ΔT datu relacijom

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{c^2} g \cdot \Delta q \quad (7)$$

Poredeći (6) i (7), vidimo, dakle, da će, posle određivanja težine, naše znanje o podešenosti časovnika imati varijansu

$$\Delta T > \frac{h}{c^2 \cdot \Delta m}$$

Zajedno sa formulom (5), ova relacija ponovo vodi na

$$\Delta T \cdot \Delta E > h$$

što je u skladu sa principom neodređenosti. Dakle, koristeći aparaturu kao sredstvo za tačno određivanje energije fotona, nećemo biti u mogućnosti da kontrolišemo trenutak njegovog izletanja.

Ova diskusija, koja tako dobro ilustruje moć i logičku konzistenciju relativističkih argumenata, tako je još jednom stavila naglasak na potrebu da se u proučavanju atomskih fenomena pravi razlika između mernih instrumenata, čija je namena da odrede referentni sistem i onih delova koje treba posmatrati kao objekte istraživanja, a pri čijem opisivanju se ne mogu zanemariti kvantni efekti. Uprkos najubedljivijoj potvrđi zasnovanosti i širokom dometu kvantno-mehaničkog načina opisivanja, Einstein je ipak u sledećoj diskusiji sa mnim izrazio osećanje nelagodnosti zbog očiglednog nepostojanja čvrsto uspostavljenih principa za objašnjenje prirode, sa kojima bismo se svi mogli složiti. Sa svoje tačke gledišta, ja sam mogao samo odgovoriti da, baveći se zadatkom unošenja reda u jedno potpuno novo polje iskustva, teško da možemo imati poverenja u uobičajene principe ma koliko da su široki; ostaje, međutim, jedan jedini zahtev, izbeći logičke nekonzistencije, i u to-

me smislu formalizam kvantne mehanike je u potpunosti zadovoljavajući.

Solvayev skup 1930. je bio poslednja prilika u kojoj smo, u zajedničkim diskusijama sa Einsteinom, mogli koristiti stimulativan i posrednički uticaj Ehrenfesta, ali kratko pre njegove tužne smrti 1933. on mi je rekao da je Einstein bio daleko od toga da je zadovoljan i sa svojom uobičajenom strašću je otkrio nove aspekte situacije koji su učvrstili njegov kritički stav. U stvari, ispitujući dalje mogućnosti primene uređaja sa vagonom, Einstein je sagledao i druge postupke koji, iako nisu mogli služiti za one svrhe za koje su prvobitno predviđeni, mogli su, kako je izgledalo, povećati paradokse da prevaziđu mogućnosti logičkog rešenja. Tako je Einstein isticao da, posle preliminarnog merenja kutije sa časovnikom i potom izlaženja fotona, i dalje ostaje izbor da se ili ponovi merenje ili da se otvori kutija i uporedi pokazivanje časovnika sa standardnom vremenom skalom. Zbog toga smo na tom stupnju još slobodni da biramo između želje da izvučemo zaključak ili o energiji fotona ili o momentu kada je napustio kutiju. Ne interferirajući na bilo kakav način sa fotonom između njegovog oslobađanja i njegovih kasnijih interakcija sa drugim pogodnim mernim instrumentima, mi smo, tako, u stanju da precizno predvidimo bilo moment njegovog dolaska, bilo količinu energije koju je oslobodio pri apsorpciji. Pošto, međutim, prema kvantno-mehaničkom formalizmu, određivanje stanja izolovane čestice ne može sadržavati istovremeno dobro de-

finisanu vezu sa vremenskom skalom i tačno određivanje energije, može izgledati da ovaj formalizam ne pruža načine za odgovarajuće opisivanje.

Još jednom je Einsteinov istraživački duh rasvetlio specifični vid situacije u kvantnoj teoriji, koji na uzbudljiv način ilustruje koliko smo ovde prevazišli uobičajeni opis prirodnih fenomena. Opet se nisam mogao složiti sa tokom njegovih primedbi kako ih je izložio Ehrenfest. Po mom mišljenju, ne postoji nijedan drugi način da se logički konzistentan matematički formalizam oceni kao neodgovarajući, sem da se pokaže da njegove posledice nisu u skladu sa eksperimentom ili da se dokaže da njegova predviđanja nisu iscrpla sve mogućnosti posmatranja, a Einsteinova argumentacija se nije mogla usmeriti ni prema jednom od ovih ciljeva. U stvari, moramo shvatiti da se u problemu o kome je reč ne bavimo *jednim* datim eksperimentalnim uređajem, već se oslanjamo na *dva* različita uređaja koji se međusobno isključuju. U jednom, vaga zajedno sa još jednim delom aparature, kao što je spektrometar, koristi se za proučavanje prenosa energije fotonom; u drugom, preklopnik koga reguliše standardizovan časovnik, zajedno sa drugim aparatom slične vrste, koji je tačno podešen u odnosu na časovnik, koristi se za proučavanje vremena prostiranja fotona duž datog rastojanja. U obadva slučajeva, kao što je pretpostavio Einstein, očekuje se da su observabilni efekti u potpunoj saglasnosti sa predviđanjima teorije.

Ovaj problem ponovo ukazuje na neophodnost da se posmatra ceo eksperimentalni uređaj, čiji je detaljan opis uslov za svaku dobro definisanu primenu kvantno mehaničkog formalizma. Uzgred, dodajmo da se paradoksi, slični onim koje je uočio Einstein, mogu naći i u takvim jednostavnim uređajima kao što je onaj skiciran na slici 5. U stvari, posle preliminarnog merenja momenta dijafragme, mi u principu možemo da biramo, pošto je elektron ili foton prošao kroz razrez, da ponovimo merenje momenta ili da kontrolišemo položaj dijafragme, i da tako učinimo predviđanja koja se odnose na alternativna naredna posmatranja. Treba takođe dodati da očigledno nema nikakve razlike, što se tiče opservabilnih efekata koji se mogu dobiti sa određenim eksperimentalnim uređajem, da li su naši planovi za konstruisanje i rukovanje instrumentima napravljeni ranije ili smo radije odgodili njihovo kompletiranje za kasnije kada je čestica već na svome putu od jednog instrumenta ka drugom.

U kvantno-mehaničkom opisu naša sloboda u konstruisanju i rukovanju eksperimentalnim uređajem se u potpunosti ogleda u mogućnosti izbora klasično definisanih parametara koji ulaze u svaku pravu primenu formalizma. Doista, u svim ovim pogledima kvantna mehanika pokazuje korespondenciju sa stanjem stvari poznatim iz klasične fizike, a ta korespondencija je najbližija kada je reč o individualnosti koja je inherentno svojstvo kvantnih fenomena. Pomogavši da ta misao postane toliko jasna, Einsteinovo interesova-

nje je ponovo bilo dobrodošao podsticaj za istraživanja bitnih aspekata situacije.

Sledeći Solvayev kongres održan 1933, bio je posvećen problemima strukture i osobina atomskih jezgara, tj. polju na kome je upravo u tome periodu učinjen veliki napredak, zahvaljujući eksperimentalnim otkrićima, kao i novim pogodnim primenama kvantne mehanike. Teško da s tim u vezi treba podsećati da su upravo podaci dobiveni izučavanjem veštačkih nuklearnih transformacija dali direktnu potvrdu Einsteinovog fundamentalnog zakona koji se tiče ekvivalencije mase i energije, i koji svakog dana postaje sve značajniji vodič istraživanja u nuklearnoj fizici. Takođe je na mestu pomenuti da je Einsteinovo intuitivno otkriće relacije između radioaktivnih transformacija i probabilističkih zakona koji upravljaju pojedinačnim radijacionim efektima (v. st. 65) potvrđeno kvantno-mehaničkim objašnjenjem spontane nuklearne dezintegracije. U stvari, ovde je reč o tipičnom primeru statističkog načina opisivanja, a komplementarna relacija između zakona održanja energije i impulsa i prostorno-vremensko određivanje je najupečatljivije ispoljena u dobro poznatom paradoksu prodiranja čestice kroz potencijalne barijere.

Sam Einstein nije prisustvovao ovome sastanku, koji se desio u vreme zamračeno tragičnim razvojem u političkom svetu koji je toliko duboko uticao na njegovu sudbinu i toliko povećao njegovu opterećenje u službi čovečanstvu. Nekoliko

meseci pre toga, za vreme posete Princetonu, gde je Einstein tada bio gost novoootvorenog Instituta za visoke studije, i čiji je stalan član ubrzo postao, imao sam, međutim, priliku da sa njim ponovo razgovaram o epistemološkim aspektima atomske fizike, ali je razlika u našim prilazima i načinima izražavanja još jednom predstavljala prepreku za međusobno razumevanje. Dok je do tada relativno mali broj osoba učestvovao u diskusijama iznesenim u ovome članku, Einsteinov kritički stav prema idejama u kvantnoj fizici, koje su već bile prihvaćene od strane mnogih fizičara, uskoro je privukao pažnju publike preko članka sa naslovom¹¹ „Da li se kvantno-mehanički opis fizičke realnosti može smatrati kompletnim?“ koji su 1935. publikovali Einstein, Podolsky i Rosen.

Argumentacija u tome članku je zasnovana na kriterijumu koji autori izražavaju sledećom rečenicom: „Ako bez bilo kakvog poremećaja sistema možemo sa sigurnošću (tj. sa verovatnoćom jednakom jedinici) predvideti vrednost fizičke veličine, tada postoji element fizičke realnosti koji odgovara ovoj fizičkoj veličini.“ Elegantnim izlaganjem posledica kvantno-mehaničkog formalizma na reprezentaciju stanja sistema, koji se sastoji iz dva dela koji su bili u interakciji u toku ograničenog vremenskog intervala, potom je pokazano da se za različite veličine, kojima se ne mogu pripisati određene vrednosti pri opisu jednog dela u sistemu, mogu predvideti vrednosti pomoću merenja izvršenog na drugom delu sistema

¹¹ A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen *Phys. Rev.* 47 777 (1935).

posle njihovog razdvajanja. Primenjujući tada ovaj kriterijum, autori dakle zaključuju da kvantna mehanika „ne daje kompletan opis fizičke realnosti” i oni izražavaju svoje verovanje da je moguće razviti prikladniji opis fenomena.

Zahvaljujući lucidnosti i prividnoj neospornosti argumenta, članak Einsteina, Podolskog i Rose-
na stvorio je žamor među fizičarima i odigrao veliku ulogu u opštoj filozofskoj diskusiji. Debata doista ima veoma suptilan karakter i pogodna je da istakne koliko smo u kvantnoj teoriji daleko od dostizanja slikovitih predstava. Međutim, videće se da se ovde bavimo problemima upravo iste vrste kao što su oni na koje je ukazao Einstein u ranijim diskusijama, a u članku koji se pojavio nekoliko meseci kasnije¹² pokušao sam da pokažem da sa stanovišta komplementarnosti, prividna nekonzistentnost se u potpunosti može ukloniti. Tok argumentacije je bio u suštini isti kao onaj izložen na ranijim stranicama, ali da bih podsetio na način na koji su se u to vreme vodile diskusije dozvolite mi da citiram nekoliko pasusa iz moga članka.

Tako, pošto sam naveo zaključke koje su izveli Einstein, Podolsky i Rosen na bazi svoga kriterijuma napisao sam:

Ovakva argumentacija, međutim, ne izgleda ni malo pogodna da dovede u sumnju zasnovanost kvantno-mehaničkog opisa, koji je zasnovan na koherentnom matematičkom formalizmu koji automatski obuhvata svaku proceduru merenja,

¹² N. Bohr, *Phys. Rev.* 48, 696 (1935).

pa i onu koja je u pitanju. Prividna kontradikcija u stvari samo otkriva da je uobičajena tačka gledišta prirodne filozofije u suštini nepodgovna za racionalno predstavljanje onih vrsta fizičkih fenomena koje srećemo u kvantnoj mehanici. Doista *konačna interakcija između objekta i mernih instrumenata* čiji uzrok je postojanje kvanta dejstva povlači za sobom — zbog nemogućnosti da se kontroliše reakcija objekta na merne instrumente, ako oni treba da služe svojoj svrsi — neophodnost da se definitivno odustane od klasičnog ideala kauzaliteta i da se radikalno ispita naš stav prema problemu fizičke realnosti. U stvari, kao što ćemo videti, kriterijum realnosti kao što je onaj koji su predložili imenovani autori sadrži — ma koliko da je na izgled pažljivo formulisan — suštinsku nejasnoću kada se primenjuje na stvarne probleme sa kojima se mi ovde bavimo.

Što se tiče specijalnog problema kojim su se bavili Einstein, Podolsky i Rosen, potom je pokazano da posledice formalizma, s obzirom na reprezentaciju stanja sistema koji se sastoji od dva interagujuća atomska objekta, odgovaraju jednostavnim argumentima pomenutim ranije u vezi sa diskusijama eksperimentalnih uređaja pogodnih za studiju komplementarnih fenomena. U stvari, mada se svaki par q i p konjugovanih prostornih i impulsnih varijabli pokorava pravilu nekomutativnog množenja izraženom u (2), a može dakle biti određen sa neodređenošću datom u (3), razlika q_1 — q_2 dve prostorne koordinate koje se odno-

se na konstituente sistema komutiraće sa sumom $p_1 + p_2$ odgovarajućih komponenata momenta, što direktno sledi iz komutativnosti q_1 sa p_2 i q_2 sa p_1 . I $q_1 - q_2$ i $p_1 + p_2$ mogu dakle biti tačno određeni u stanju složenog sistema, i, prema tome možemo predvideti vrednosti bilo q_1 ili p_1 ako je bilo q_2 bilo p_2 određeno direktnim merenjima. Ako kao dva dela sistema uzmemo česticu i dijafragmu, kao što je ona skicirana na slici 5, vidimo da mogućnosti da se odrede stanja čestice merenjima na dijafragmi odgovaraju situaciji opisanoj na strani 84, a potom diskutovanoj na strani 99, gde je napomenuto da, pošto čestica prođe kroz dijafragmu, mi u principu možemo birati da li ćemo meriti položaj dijafragme ili njen moment a , u svakom slučaju, možemo činiti predviđanja o budućim posmatranjima u vezi sa ovom česticom. Kao što je više puta naglašeno, najvažnija misao ovde je da takva merenja zahtevaju međusobno isključive eksperimentalne uređaje.

Argumentacija članka je sažeta u sledećem pasusu:

Sa naše tačke gledišta mi sada sagledavamo da kriterijum fizičke realnosti koji su dali Einstein, Podolsky i Rosen sadrži jednu nejasnoću s obzirom na značenje izraza „bez bilo kakvog poremećaja sistema”. Naravno, u slučaju koji je upravo posmatran nema govora o mehaničkom poremećaju sistema koji se izučava u toku poslednjeg kritičnog stadijuma mernog postupka. Ali čak na tome stadijumu u suštini postoji pitanje *uticaja na uslove koji definišu moguće ti-*

pove predikcija koje se odnose na buduće ponašanje sistema. Pošto ovi uslovi čine inherentni elemenat opisa bilo koga fenomena kome se termin „fizička realnost” može pogodno pridružiti, vidimo da argumentacija pomenutih autora ne opravdava njihov zaključak da je kvantno-mehanički opis u suštini nekompletan. Naprotiv, ovaj opis, kao što sledi iz prethodne diskusije, može se okarakterisati kao racionalno korišćenje svih mogućnosti jasne interpretacije merenja, koja je kompatibilna sa konačnom i nekontrolabilnom interakcijom između objekata i mernih instrumenata u oblasti kvantne teorije. U stvari, jedino međusobna isključivost bilo koja dva eksperimentalna postupka, koji dopuštaju jasnu definiciju komplementarnih fizičkih veličina, obezbeđuje prostor za nove fizičke zakone, čija koegzistencija na prvi pogled može izgledati neusaglasiva sa osnovnim principima nauke. Upravo ovu potpuno novu situaciju s obzirom na opis fizičkih fenomena pojam *komplementarnosti* cilja da okarakterise.

Pročitavši ponovo ove pasuse, postao sam duboko svestan manjkavosti izražavanja, koja je verovatno učinila veoma teškim praćenje lanca argumentacije, čiji je cilj bio da ukaže na suštinsku nejasnoću koja se rađa iz same činjenice da se fizički atributi pripisuju objektima koji učestvuju u fenomenima koji ne dopuštaju da se jasno razlikuje ponašanje samih objekata od njihove interakcije sa mernim instrumentima. Nadam se međutim da ovaj prikaz višegodišnjih diskusija sa

Einsteinom, koje su toliko doprinele da se srodimo sa situacijom u kvantnoj fizici, jasno ukazuje na potrebu da se u cilju uspostavljanja logičkog reda u ovome istraživanju radikalno preispitaju osnovni principi fizičkog objašnjenja.

Pogledi samoga Einsteina iz toga vremena su dati u članku „Fizika i realnost”, publikovanom 1936. u časopisu *Journal of the Franklin Institute*¹³. Počevši sa najbriljantnijim izlaganjem postepenog razvoja osnovnih principa u teorijama klasične fizike i njihovom vezom sa problemom fizičke realnosti, Einstein ovde argumentiše da kvantno-mehanički opis treba posmatrati kao način da se opiše usrednjeno ponašanje velikog broja atomskih sistema, a njegov stav prema verovanju da taj opis pruža potpun opis pojedinačnih fenomena izražen je sledećim rečima: „Verovati u to je moguće bez logičkih kontradikcija, ali to je toliko u suprotnosti sa mojim naučnim instinktom da ja ne mogu a da ne idem dalje u traganju za kompletnijom koncepcijom.”

Iako ovakav stav sam za sebe može izgledati veoma prihvatljiv, on, međutim, u sebi sadrži potpuno odbacivanje ranije izložene argumentacije, koja ima za cilj da pokaže da se u kvantnoj mehanici ne radi o proizvoljnom odustajanju od detaljne analize atomskih fenomena već o saznanju da je takva analiza u principu isključena. Izuzetna individualnost kvantnih efekata nas stavlja, s obzirom na razumevanje dobro definisanih podataka, u novu situaciju, sa kakvom se nismo sreli u

¹³ A. Einstein, *J. Franklin Inst.* 221, 349 (1936).

klasičnoj fizici, a koja je neuskladiva sa uobičajenim idejama pogodnim za našu orijentaciju i prilagođavanje običnom iskustvu. U tome smislu je kvantna mehanika zahtevala da se još jednom preispitaju osnove na kojima počiva nedvosmislena upotreba osnovnih pojmova, što je nova etapa u razvoju, koja je od pojave teorije relativiteta bila toliko karakteristična za modernu nauku.

U toku sledećih godina filozofski vidovi situacije u atomskoj fizici su izazvali interesovanje još širih krugova i o njima se posebno raspravljalo na Drugom internacionalnom kongresu za jedinstvo znanja, održanom 1936. u Kopenhagenu. Na predavanju održanom tom prilikom¹⁴ pokušao sam da naročito naglasim analogiju u epistemološkom pogledu između ograničenja nametnutih kauzalnom opisu u atomskoj fizici i situacija koje se sreću u drugim oblastima znanja. Glavni cilj ovih paralela je bio da obrate pažnju na neophodnost da se u mnogim domenima opšteljudske važnosti srećemo sa problemima sličnim onima koji su se pojavili u kvantnoj teoriji i da se tako stvori pogodnija osnova za prividno ekstravagantan način izražavanja koji su razvili fizičari da bi se nosili sa svojim velikim teškoćama.

Pored komplementarnih svojstava uočljivih u fiziologiji, a o kojima smo već govorili (v. str. 92), primeri ovakvih relacija se mogu naći u biologiji, posebno s obzirom na poređenje između mehanicističke i vitalističke tačke gledišta. Upravo u

¹⁴ N. Bohr, *Philosophy of Science*, 4, 289 (1937).

vezi s problemom posmatranja ovo poslednje pitanje je bilo predmet predavanja održanog na Internacionalnom kongresu o svetlosnoj terapiji koji je održan u Kopenhagenu 1932¹⁵. U tom predavanju je između ostalog ukazano da je čak i psiho-fizički paralelizam, kako su ga sagledali Leibnitz i Spinoza, dobio širi smisao kroz razvoj atomske fizike, a koji nas primorava da u odnosu na problem objašnjenja zauzmemo stav koji podseća na antičku mudrost da se, tražeći harmoniju u životu, ne sme nikada zaboraviti da smo u drami egzistencije mi sami i glumci i gledaoci.

Tvrđnje ove vrste bi, prirodno, izazvale u svesti mnogih utisak o skrivenom misticizmu, koji je stran duhu nauke; na gore pomenutom Kongresu održanom 1936. ja sam, dakle, pokušao da razjasnim takvu vrstu nerazumevanja i da objasnim da je reč jedino o nastojanju da se u svakoj oblasti znanja razjasne uslovi za analizu i sintezu iskustva. Ipak, bojim se da sam imao samo malo uspeha pri ubeđivanju mojih slušalaca, nezadovoljstvo među samim fizičarima za njih je bilo uzrok skepticizma prema potrebi da idu tako daleko u odustajanju od uobičajenih načina objašnjenja prirodnih fenomena. U jednoj novoj diskusiji sa Einsteinom, u Princetonu 1937, u toku koje nismo otišli dalje od humorističke debate o pitanju kojoj bi strani prišao Spinoza da je doživeo da vidi razvoj koji se desio u toku naših dana, postao sam duboko svestan značaja krajnje obazrivosti u svim pitanjima terminologije i dijalektike.

¹⁵ II^e Congrès international de la Lumière, Copenhague 1932 (preštampan u ovoj zbirci, str. 15).

Ovi aspekti situacije su posebno diskutovani na sastanku u Varšavi 1938, koji je organizovao Internacionalni institut Lige naroda za intelektualnu saradnju¹⁶. Prethodne godine su svedok velikog napretka u kvantnoj fizici zahvaljujući nizu fundamentalnih otkrića koja se tiču sastava i osobina atomskog jezgra, kao i značajnog napretka matematičkih formalizama koji uzimaju u obzir zahteve teorije relativiteta. U ovom poslednjem pogledu Diracova ingeniozna kvantna teorija elektrona je pružila najznačajniju ilustraciju moći i plodnosti opšteg kvantno-mehaničkog načina opisivanja. U fenomenu kreacije i anihilacije elektronskih parova imamo posla sa novim fundamentalnim svojstvima atomizma, koja su tesno povezana sa neklasičnim aspektima kvantne statistike izraženim u principu isključenja, a koji su zahtevali još značajnije odustajanje od objašnjenja pomoću slikovitih predstava.

U međuvremenu je diskusija o epistemološkim problemima u kvantnoj fizici privukla više pažnje no ikada ranije, i komentarišući Einsteinove stavove u pogledu nekompletnosti kvantno-mehaničkog načina opisivanja, ušao sam direktnije u pitanja terminologije. S tim u vezi sam posebno ukazivao na nekorektnost rečenica koje se često sreću u fizičkoj literaturi, kao što su „remećenje fenomena posmatranjem” ili „stvaranje fizičkih atributa atomskih objekata merenjima”. Ovakve rečenice, koje mogu služiti da podsete na prividne paradokse kvantne teorije, istovremeno su pogod-

¹⁶ *New Theories in Physics* (Paris 1938), 11.

ne da izazovu konfuziju, pošto reči kao što su „fenomeni” i „posmatranja” upravo kao i „atributi” i „merenja” koriste se na način koji teško da je u skladu sa uobičajenim jezikom i praktičnim definicijama.

Radi pogodnijeg načina izražavanja predlagao sam da se reč *fenomen* primenjuje isključivo da označi posmatranja vršena pod određenim uslovima, uključujući i prikaz celog eksperimentalnog uređaja. U takvoj terminologiji, problem posmatranja je oslobođen od bilo kakvih nejasnoća pošto su u stvarnim eksperimentima, sva posmatranja izražena nedvosmislenim iskazima koji se odnose, na primer, na registrovanje tačke na fotoografskoj ploči u koju stiže elektron. Pored toga, taj način izražavanja je upravo pogodan da se istakne da se odgovarajuća fizička interpretacija simboličkog kvantno-mehaničkog formalizma svodi samo na predviđanja, determinističkog ili statističkog karaktera, koja se odnose na individualne fenomene nastale pod uslovima definisanim pomoću klasičnih fizičkih pojmova.

Bez obzira na sve razlike između fizičkih problema koji su redom doveli do razvoja teorije relativiteta i kvantne teorije poređenje čisto logičkih aspekata relativističke i komplementarne argumentacije otkriva izuzetnu sličnost kada je reč o odustajanju od apsolutnog značaja uobičajenih fizičkih atributa objekata. Takođe, zanemarivanje atomske strukture samih mernih instrumenata u objašnjenju samog iskustva, karakteristično je za primenu i kvantne teorije i teorije relativiteta.

Tako, okolnost da je kvant dejstva mali u poređenju sa dejstvima koja se javljaju u uobičajenim eksperimentima, uključujući uređivanje i rukovanje fizičkom aparaturom, isto je toliko bitno u atomskoj fizici koliko je važan broj atoma koji čine svet u opštoj teoriji relativiteta, koja, kao što je često isticano, zahteva da se dimenzije aparature za merenje uglova mogu učiniti malim u poređenju sa radijusom krivine prostora.

U varšavskom predavanju sam komentarisao upotrebu simbola koji se ne mogu predstaviti slikovito, u relativitetu i kvantnoj teoriji na sledeći način:

Čak i formalizmi, koji u obadve teorije u svojim okvirima pružaju pogodne načine da obuhvate sve moguće iskustvo, ispoljavaju duboke analogije. U stvari, iznenađujuća jednostavnost uopštavanja klasičnih fizičkih teorija, do koje se došlo upotrebom višedimenzionalne geometrije i nekomutativne algebre počiva u oba slučaja isključivo na uvođenju uobičajenog simbola $\sqrt{-1}$. Pri detaljnoj analizi se vidi da je apstraktni karakter formalizma o kome je reč tipičan za teoriju relativiteta isto toliko koliko i za kvantnu mehaniku, i u tom smislu je čisto pitanje tradicije da li se prva teorija smatra završetkom klasične fizike umesto prvim bitnim korakom u sveobuhvatnoj reviziji naših pojmovnih sredstava za poređenje posmatranja, koje nam je nametnula moderna fizika.

Istina je, naravno, da smo u atomskoj fizici suočeni sa nizom nerešenih fundamentalnih proble-

ma, posebno s obzirom na tesnu vezu između elementarne jedinice električnog naelektrisanja i univerzalnog kvanta dejstva; ali ovi problemi nisu povezani sa epistemološkim problemima o kojima se raspravlja ovde više nego što je povezana adekvatnost relativističke argumentacije sa rešenjima do sada nerešenih problema kosmologije. I u relativitetu i u kvantnoj teoriji se srećemo sa novim vidovima naučne analize i sinteze, te je tu interesantno uočiti da se čak u toku velikog doba kritičke filozofije u prošlom veku postavljalo pitanje o stepenu u kome su apriorni argumenti pogodni za prostorno-vremensko određivanje i kauzalno povezivanje iskustva, a nikad se nije postavljalo pitanje racionalnih uopštavanja ili suštinskih ograničenja ovih kategorija ljudskog mišljenja.

Mada sam u toku poslednjih godina imao više prilika da sretnem Einsteina, nastavak diskusija u kojima sam uvek dobijao nove inspiracije nije do danas doveo do zajedničkog pogleda o epistemološkim problemima u atomskoj fizici, a naša suprotna gledišta su možda najjasnije opisana u skorašnjem broju *Dialecticae*¹⁷, koji donosi opštu raspravu o ovim problemima. Svestan mnogobrojnih prepreka za naše međusobno razumevanje u siže u kome prilaz i obrazovanje moraju uticati na stav svakoga, dočekao sam sa radošću ovu priliku da opširnije izložim razvoj kojim je, po moje mišljenju, prebrođena istinska kriza u fizičkim naukama. Pouka koju smo odavde izvukli izgleda

¹⁷ N. Bohr, *Dialectica*, 1, 312 (1948).

da nas je ponela jedan korak dalje u neprestanoj borbi za harmoniju između sadržaja i forme, i naučila nas je još jednom da se nikakav sadržaj ne može dokučiti bez formalnog okvira, a da svaka forma, ma koliko da se pokazala korisnom, može biti preuska da obuhvati novo iskustvo.

Sigurno, u situaciji kao što je ova, gde je bilo teško postići međusobno razumevanje ne samo među filozofima i fizičarima već i među fizičarima različitih škola, koren teškoća često leži u preferiranju izvesne upotrebe jezika koja je svakome sugerisana njegovom sopstvenom linijom istraživanja. U institutu u Kopenhagenu u koji su, da bi zajedno diskutovali, godinama dolazili mladi fizičari iz različitih zemalja, mi smo se često, da bismo se raspoložili kada smo bili na muci, koristili šalama kao što je ona stara izreka o dve vrste istine. Jednoj vrsti pripadaju tako jasni iskazi da suprotna tvrdnja nikako ne bi mogla biti odbranjena. Druga vrsta, tzv. „duboke istine” su iskazi čija suprotnost sadrži duboku istinu. Razvoj u novoj oblasti obično prolazi kroz stadijume u kojima kaos postepeno biva zamenjen redom; upravo u intermedijarnom stadijumu, u kome vlada duboka istina, rad je doista uzbudljiv i podstiče maštu na traženje čvršćeg oslonca. Za ovakve napore traženja prave ravnoteže između ozbiljnosti i humora Einsteinova ličnost stoji kao veliki primer, i kada izražavam svoje uverenje da smo jedinstvenom plodnom saradnjom cele generacije fizičara došli blizu cilja u kome nam logičan red u velikoj meri omogućuje da izbegnemo duboku istinu, nadam se

da će to biti shvaćeno u njegovom duhu i da može poslužiti umesto izvinjenja zbog nekoliko tvrdnji na prethodnim stranicama.

Diskusije sa Einsteinom, koje su bile tema ovoga članka, odvijale su se u toku više godina koje su bile svedoci velikog napretka u oblasti atomske fizike. Bez obzira da li su naši susreti bili kratki ili dugi, oni su uvek ostavljali dubok i trajan utisak u mojoj svesti, i dok sam pisao ovaj članak ja sam se tako reći celo vreme prepirao sa Einsteinom, čak raspravljajući o temama očigledno veoma udaljenim od posebnih problema razmatranih na našim sastancima. Što se tiče prikaza razgovora, svestan sam, naravno, da se oslanjam samo na sopstvenu memoriju, kao što sam spreman i na mogućnost da se mnoge karakteristike razvoja kvantne teorije, u kojima je Einstein imao tako veliku ulogu, njemu mogu pojaviti u drukčijem svetlu. Verujem, međutim, da nisam propustio da prenesem pravi utisak o tome koliko je za mene značilo to što sam mogao koristiti inspiraciju koju nam je svima pružao svaki susret sa Einsteinom.

JEDINSTVO ZNANJA 1954.

Pre nego što pokušamo da odgovorimo na pitanje u kome stepenu možemo govoriti o jedinstvu znanja, možemo se pitati o značenju same reči znanje. Moj cilj nije da uđem u akademsku filozofsku diskusiju, za koju teško da imam potrebno obrazovanje. Svaki naučnik je međutim stalno suočen sa problemima objektivnog opisa iskustva, što za nas ne znači ništa drugo nego komunikacije bez nesporazuma. Naše osnovno sredstvo je, naravno, uobičajeni jezik koji služi potrebama praktičnog života i društvenog opštenja. Nećemo se ovde baviti poreklom takvog jezika, već njegovim mogućnostima u naučnim komunikacijama, a posebno problemom koliko opis može ostati objektivna kada iskustvo izlazi iz okvira svakodnevnog života.

Najvažnije je shvatiti da se celokupno znanje izražava u pojmovnom okviru koji je prilagođen tako da obuhvata ranija iskustva i da se svaki takav okvir može pokazati suviše uskim da obuhvati nova iskustva. Naučno istraživanje je u mnogim

domenima znanja više puta pokazalo da je neophodno napustiti ili promeniti tačke gledišta koje su zbog svoje plodnosti i prividne neograničene primenljivosti smatrane neophodnim za racionalno objašnjenje. Mada su ovakvi razvoji bili podstaknuti proučavanjem u specijalnim oblastima, iz njih su proizašle opšte pouke koje su značajne za probleme jedinstva znanja. U stvari, širenje konceptualnog okvira nije samo poslužilo da se uspostavi red unutar odgovarajućih grana znanja, već je otkrilo, u analizi i sintezi iskustva, analogije među oblastima znanja koje su na prvi pogled razdvojene i tako sugerisalo mogućnost još sveobuhvatnijeg objektivnog opisa.

Pod konceptualnim okvirom, prosto podrazumevamo logično i nedvosmisleno predstavljanje relacija između iskustvenih činjenica. Ovaj stav je vidljiv i u istorijskom razvoju u kome se formalna logika više ne razlikuje oštro od studija semantike, pa čak ni od filozofske sintakse. Posebnu ulogu ima matematika, koja je tako značajno doprinela razvoju logičkog mišljenja, a koja svojim dobro definisanim apstrakcijama pruža dragocenu pomoć pri istraživanju skladnih odnosa. I dalje nećemo u našoj diskusiji posmatrati matematiku kao posebnu granu znanja, već pre kao usavršenje opšteg jezika kojim se on obogaćuje odgovarajućim sredstvima da bi se mogle predstaviti relacije za koje je običan verbalni jezik neprecizan ili nepogodan. S tim u vezi treba naglasiti da upravo izbegavajući pozivanje na subjektivne pojmove koji su ugrađeni u svakodnevni jezik, upotreba

matematičkih simbola obezbeđuje jasnoću definicija koje su neophodne za objektivni opis.

Razvoj tzv. egzaktnih nauka, čija je karakteristika da uspostavljaju brojne odnose između izmerenih vrednosti, značajno je ubrzan apstraktnim matematičkim metodama, čiji izvor je u striktnom praćenju uopštenih logičkih konstrukcija. Ova situacija je posebno prisutna u fizici, koja je prvobitno bila shvaćena kao ukupnost znanja o prirodi čiji smo mi deo, ali je postepeno počela da znači izučavanje elementarnih zakona koji važe za svojstva neorganske materije. Potreba, čak i u okviru ove jednostavne šeme, da se konstantno vodi računa o problemu objektivnog opisa vekovima je duboko uticala na stav filozofskih škola. U toku naših dana istraživanja u novim oblastima iskustva su otkrila neslućeno mnoštvo pretpostavki koje su neophodne da bi primena nekih naših najelemenarnijih koncepata bila jasna. Tako smo dobili lekciju iz teorije saznanja koja dotiče probleme daleko izvan domena fizičkih nauka. Pogodno bi dakle bilo početi diskusiju kratkim prikazom ovoga razvoja.

Otišli bismo jako daleko ako bismo se detaljno podsećali kako je uklanjanjem mitoloških kosmoloških ideja i argumenata, prema kojima naše sopstvene radnje imaju neku svrhu, izgrađena, na osnovu Galileovih pionirskih radova, kanzistentna shema mehanike tako sjajno završena Newtonovim velikim delom. Newtonovi principi su pre svega predstavljali dalekosežno razjašenje problema uz-

roka i posledice, jer su omogućili da se iz poznavanja stanja fizičkog sistema u datom trenutku vremena i preko vrednosti merljivih fizičkih veličina odredi stanje sistema u bilo kome narednom trenutku vremena. Dobro je poznato kako je ovakav deterministički i kauzalni opis doveo do mehaničke koncepcije prirode i kako je postao ideal naučnog objašnjenja u svim domenima znanja, nezavisno od načina na koji je znanje dobijeno. Prema tome značajno je da je studiranje širih polja fizičkog iskustva otkrilo potrebu za bližim razmatranjem problema posmatranja.

Sa svojim širokim poljem primene, klasična mehanika predstavlja objektivan opis u smislu da je zasnovana na dobro definisanoj upotrebi slika i pojmova koji se odnose na događaje iz svakodnevnog života. Ali ma koliko izgledale razumnim idealizacije koje se koriste u Newtonovoj mehanici, one su doista daleko prevazišle oblasti iskustva kome su prilagođeni naši osnovni pojmovi. Tako, pravilna upotreba pojmova apsolutnog prostora i vremena je tesno povezana sa pretpostavkom o praktično trenutnom prostiranju svetlosti, koja nam omogućuje da odredimo položaj tela oko sebe nezavisno od njihovih brzina i da odredimo događaje u jedinstvenom vremenskom nizu. Međutim, pokušaj da se razvije konzistentan opis elektromagnetnih i optičkih pojava otkrio je da će posmatrač koji se kreću jedan u odnosu na drugog velikom brzinom odrediti položaj i vreme događaja na različit način. Ne samo što će takvi posmatrači videti na različit način oblike i položaje čvrstih

tela, već će događaji, u različim tačkama prostora, koji su za jednog posmatrača jednovremeni, drugom izgledati kao da se dešavaju u različitim trenucima vremena.

Istraživanje stepena u kome prikaz fizičkih fenomena zavisi od tačke gledišta posmatrača ne samo što nije dovelo do konfuzija i komplikacija već se pokazalo kao dragocen vodič u traženju opštih fizičkih zakona koji su isti za sve posmatrače. Zadržavajući ideju determinizma, ali oslanjajući se samo na relacije između neprotivrečnih merenja koja se u krajnjoj liniji odnose na jednovremene događaje, Einstein je uspeo da promeni oblik i uopšti celo zdanje klasične fizike i da našoj slici sveta da jedinstvo koje prevazilazi sva ranija očekivanja. U opštoj teoriji relativiteta, opis je zasnovan na zakrivljenoj prostorno-vremenskoj metriki koja automatski uzima u obzir gravitacione efekte i na jedinstvenoj ulozi brzine svetlosnih signala koja predstavlja gornju granicu za svaku konzistentnu upotrebu fizičkog koncepta brzine. Uvođenje takvih neobičnih ali dobro definisanih matematičkih apstrakcija ni na koji način ne povlači za sobom nejasnoće, već pre poučno pokazuje kako širenje pojmovnih okvira obezbeđuje odgovarajuće načine za uklanjanje subjektivnih elemenata i za širenje polja objektivnog opisa.

Istraživanjem atomske strukture materije otkriveni su novi, neslućeni aspekti problema posmatranja. Kao što je dobro poznato, ideja o ograničenoj deljivosti materije, uvedena radi objašnjenja postojanosti karakterističnih svojstava sup-

stanci uprkos raznolikosti prirodnih fenomena, potiče još iz antičkih vremena. Ipak, skoro do naših dana te ideje su u suštini smatrane hipotetičnim pošto je, zbog grubosti naših čulnih organa i oruđa, koji su sami satavljeni od nebrojeno mnogo atoma, izgledalo nemoguće proveriti ih direktnim posmatranjem. Pa ipak, u toku velikog napretka hemije i fizike u prošlim vekovima atomske ideje su se pokazale veoma plodnim. Na primer, direktna primena klasične mehanike u proučavanju interakcije atoma i molekula za vreme njihovog neprekidnog kretanja je dovela do razumevanja termodinamičkih principa.

U ovome veku, studijom novootkrivenih svojstva materije, kao što je prirodna radioaktivnost, ubedljivo su potvrđene osnove atomske teorije. Posebno, s razvojem pojačavačkih uređaja omogućeno je proučavanje fenomena koji u suštini zavise od pojedinačnih atoma, pa je čak dobiveno obimno znanje o strukturi atomskih sistema. Prvi korak je bio prihvatanje elektrona kao zajedničkog konstituenta svih supstanci, a bitno zaokrugljenje naših ideja o atomskoj strukturi je postignuto Rutherfordovim otkrićem atomskog jezgra koje sadrži unutar ekstremno male zapremine skoro svu masu atoma. Nepromenljivost svojstava elemenata u običnim fizičkim i hemijskim procesima se direktno objašnjava okolnošću što u takvim procesima, iako elektronska veza može biti znatno izmenjena, jezgro ostaje nepromenjeno. Demonstrirajući mogućnost transmutacije atomskog jezgra pomoću snažnijih sredstava, Rutherford je otkrio

jedno novo polje istraživanja, koje se obično označava imenom moderna alhemija i koje bi moralo, kao što je dobro poznato, da učini mogućnim oslobađanje ogromnih energija koncentrisanih u atomskim jezgrima.

Mada su mnoga fundamentalna svojstva materije objašnjena pomoću proste slike atoma, bilo je od samog početka očigledno da klasične ideje mehanike i elektromagnetizma nisu dovoljne da se objasni bitna stabilnost atomskih struktura koja je ispoljena u specifičnim svojstvima elemenata. Međutim, ključ u rasvetljavanju ovog problema je dalo otkriće univerzalnog kvanta dejstva do koga je Planck došao u prvoj godini našeg veka, u svojoj dubokoj analizi zakona termalnog zračenja. Ovo otkriće je obelodanilo da atomski procesi imaju svojstvo celovitosti koje je potpuno strano mehaničkoj koncepciji prirode i istovremeno je učinilo očiglednim da su klasične fizičke teorije idealizacije, valjane samo u opisu onih pojava u čijoj analizi su sve akcije dovoljno velike da je moguće zanemariti kvant dejstva. Dok je ovaj uslov sasvim zadovoljen kada je reč o fenomenima na običnoj skali posmatranja, u atomskim fenomenima se sreću regularnosti sasvim nove vrste, tako da se svaki deterministički opis dovodi u sumnju.

Racionalna generalizacija klasične fizike, koja bi dopuštala egzistenciju kvanta, ali bi zadržala nedvosmisleni interpretaciju eksperimentalnih činjenica koje definišu inercijalnu masu i električno naelektrisanje elektrona i jezgra, predstavljala je vrlo težak zadatak. Koncentrisanim naporima cele

generacije teorijskih fizičara postepeno se razvio konzistentan i iscrpan opis u veoma širokom polju atomskih fenomena. Ovaj opis koristi matematički formalizam u kome su varijable klasičnih fizičkih teorija zamenjene simbolima koji se pokoravaju nekomutativnom algoritmu koji sadrži Planckovu konstantu. Zbog karaktera ovakvih matematičkih apstrakcija, formalizam ne omogućuje uobičajenu slikovitu interpretaciju, već ima za cilj da direktno uspostavi relacije među posmatranjima vršenim pod dobro definisanim uslovima. Kako se u datom eksperimentalnom uređaju mogu zbivati različiti pojedinačni kvantni procesi, ove relacije u suštini imaju statistički karakter.

Pomoću kvantno mehaničkog formalizma detaljno je objašnjeno mnoštvo eksperimentalnih podataka o fizičkim i hemijskim svojstvima materije. Štaviše, prilagođavajući formalizam zahtevima relativističke invarijantnosti, bilo je moguće urediti u veoma širokom domenu sve veći skup novih znanja koja se odnose na svojstva elementarnih čestica i sastav atomskog jezgra. Bez obzira na izuzetnu moć kvantne mehanike, radikalno udaljavanje od uobičajenog fizičkog objašnjenja, a posebno napuštanje same ideje determinizma, navelo je mnoge fizičare i filozofe da se pitaju da li je reč o jednoj privremenoj pogodnosti ili smo suočeni sa nepovratnim korakom s obzirom na objektivni opis prirode. Da bi se rasvetlio ovaj problem, trebalo je duboko preispitati osnove na kojima počiva opis i poimanje fizičkog iskustva.

U ovome kontekstu moramo pre svega prihvatiti da, čak i kada fenomen izlazi iz okvira klasične fizičke teorije, opis eksperimentalnog uređaja i zapis podataka se mora izraziti pomoću uobičajenog jezika, pogodno dopunjenog fizičko-tehničkom terminologijom. Ovo je jasan logičan zahtev, pošto reč eksperiment znači da drugima možemo reći šta smo uradili i šta smo naučili. Međutim, fundamentalna razlika koja se tiče analize fenomena u klasičnoj i kvantnoj fizici je da se u prvoj može zanemariti ili kompenzirati interakcija između objekata i mernih instrumenata, dok u drugom slučaju ta interakcija čini integralni deo fenomena. Bitna celovitost pravog kvantnog fenomena se logično ispoljava u okolnosti da bi svaki pokušaj da se on podeli na određen način zahtevao promenu eksperimentalnog uređaja, tako da bi bilo onemogućeno ispoljavanje samog fenomena.

Posebno, nemogućnost nezavisne kontrole interakcije između atomskih objekata i instrumenata neophodnih za definisanje eksperimentalnih uslova ne dopušta da se proizvoljno kombinuju prostorno-vremenske koordinate i dinamički konzervacioni zakoni na čemu se zasniva deterministički opis u klasičnoj fizici. U stvari, svaka jasna upotreba prostora i vremena se odnosi na eksperimentalni uređaj koji podrazumeva u principu nekontrolabilan prenos momenta i energije na fiksne skale i sinhronizovane časovnike, koji su neophodni da bi se definisao referentni sistem. Obrnuto, objašnjenje pojava za koje je karakterističan zakon održanja energije zahteva napuštanje detaljnog

prostorno-vremenskog opisa. Ove okolnosti su kvantitativno izražene u Heisenbergovim relacijama neodređenosti koje daju recipročnu vrednost disperzije vrednosti kinematičkih i dinamičkih varijabli koje određuju stanje fizičkog sistema. U skladu sa karakterom kvantno-mehaničkog formalizma, ovakve relacije se međutim ne mogu interpretirati pomoću atributa objekata povezanih sa klasičnim slikama, pošto se tu radi o međusobno isključivim uslovima za nedvosmislenu uopotrebu pojmova prostora i vremena, sa jedne strane, i dinamičkih konzervacionih zakona, sa druge strane.

U ovome kontekstu ponekad se govori o „re-mećenju pojave posmatranjem” ili o „stvaranju merenjem fizičkih atributa atomskih objekata”. Ovakve rečenice stvaraju konfuziju, pošto reči kao što su pojave i posmatranje, upravo kao i atributi i merenja, ovde su upotrebljene na način koji nije u skladu sa uobičajenim jezikom i praktičnim definicijama. U okviru objektivnog opisa, zaista je pogodnije koristiti reč fenomen da se označe samo posmatranja vršena pod uslovima čiji opis obuhvata prikaz celog eksperimentalnog uređaja. Sa takvom terminologijom iz problema merenja u kvantnoj mehanici su uklonjene sve nejasnoće i, štaviše, ona nas direktno podseća da je svaka atomska pojava zatvorena u smislu da je njeno posmatranje zasnovano na beleženju ostvarenom pomoću pogodnih pojačivačkih uređaja koji rade pomoću nepovratnih procesa, kao što su, na primer, trajne mrlje na fotografskoj ploči izazvane prodiranjem

elektrona u emulziju. Stoga je važno shvatiti da kvantno-mehanički formalizam dozvoljava dobro definisane primene samo u odnosu na takve zatvorene fenomene. U tom smislu on takođe predstavlja racionalno uopštenje klasične fizike u kome je svaki stadijum toka događaja opisan merljivim veličinama.

Sloboda eksperimentisanja, koja je prapretpostavka u klasičnoj fizici, naravno je zadržana i odgovara slobodnom izboru eksperimentalnih uređaja za koji matematička struktura kvantno-mehaničkog formalizma pruža dovoljnu širinu. Okolnost da, u opštem slučaju, jedan te isti eksperimentalni uređaj može dati različite zapise je ponekad slikovito opisan kao „izbor prirode” između takvih mogućnosti. Nepotrebno je reći da takva rečenica ne aludira na personifikaciju prirode, već da samo ukazuje na nemogućnost da se na uobičajen način razjasni odvijanje zatvorenog nedeljivog fenomena. Ovde logičan prikaz ne može da postigne više od izvođenja relativnih verovatnoća za pojavu pojedinačnih fenomena pod datim eksperimentalnim uslovima. U tome smislu, kvantna mehanika predstavlja konzistentno uopštenje determinističkog mehaničkog opisa koji obuhvata u asimptomskom slučaju fizičkih pojava koje se događaju na skali dovoljno velikoj da je dozvoljeno zanemariti kvant dejstva.

Najizrazitija karakteristika atomske fizike je nov odnos između pojava uočenih pod eksperimentalnim uslovima, za čiji opis su neophodni različiti osnovni pojmovi. Zaista, ma koliko izgledali proti-

vurečni rezultati posmatranja pri pokušaju da se tok atomskih procesa prikaže na klasičan način, oni se moraju smatrati komplementarnim u smislu da u suštini predstavljaju znanje o atomskim sistemima i zajedno iscrpljuju to znanje. Pojam komplementarnosti nikako ne znači naše povlačenje sa položaja izdvojenih posmatrača prirode, već se mora posmatrati kao logičan izraz naše situacije s obzirom na objektivni opis u ovome polju iskustva. Saznanje da interakcija među mernim uređajima i fizičkim sistemima koji se istražuju čini integralni deo kvantnog fenomena nije samo otkrilo do tada nenaslućeno ograničenje mehaničke koncepcije prirode, koja se karakteriše davanjem izdvojenih svojstava fizičkim sistemima, već nas je primoralo da pri sređivanju podataka obratimo odgovarajuću pažnju na uslove posmatranja.

Vraćajući se na mnogo diskutovano pitanje šta treba tražiti od fizičkog objašnjenja, mora se imati na umu da je već klasična mehanika implicitno uklonila uzroke uniformnog kretanja, kao i na to da nas je teorija relativiteta naučila da se argumenti o invarijantnosti i ekvivalentnosti moraju smatrati kategorijama racionalnog objašnjenja. Slično, u komplementarnom opisu kvantne fizike, moramo raditi na daljem samousaglašenom uopštenju koje obuhvata pravilnosti bitne za objašnjenje fundamentalnih svojstava materije, ali koje izlazi van okvira determinističkog opisa. Istorija fizičkih nauka tako pokazuje kako istraživanje sve širih polja iskustva, kroz otkrivanje neuočenih ograničenja uobičajenih ideja, ukazuje na nove

načine uspostavljanja logičnog reda. Kao što ćemo u nastavku pokazati, lekcija iz teorije saznanja, koju sadrži razvoj atomske fizike, podseća na sličnu situaciju u opisu i poimanju iskustva daleko izvan granica fizičkih nauka, što nam omogućuje da uočimo zajedničke crte i tako pokrenemo tražnje za jedinstvom znanja.

Prvi problem sa kojim se srećemo kada napuštamo oblast čiste fizike je problem mesta živih bića u opisu prirodnih pojava. Na početku nije pravljena nikakva razlika između žive i nežive materije i dobro je poznato da se Aristotel, ističući celovitost pojedinačnih organizama, suprotstavio stavovima atomista, i čak u raspravi o osnovama mehanike zadržao ideje kao što su svrha i moć. Međutim, kao posledica većih otkrića u anatomiji i fiziologiji u vreme renesanse, a posebno zbog napretka klasične mehanike, iz čijeg determinističkog opisa je uklonjen pojam svrhe, pojavila se potpuno mehanistička koncepcija prirode. Doista, bilo je moguće objasniti mnoge organske funkcije pomoću istih onih fizičkih i hemijskih svojstava materije koja su tako uspešno objašnjena pomoću prostih atomističkih ideja. Istina je da struktura i funkcionisanje organizama podrazumeva izvesno uređivanje atomskih procesa, koje je katkad teško usaglasiti sa zakonima termodinamike, prema kojima se u izolovanom sistemu atomi postojano približavaju stanju nereda. Ako se međutim uzme u obzir okolnost da slobodnom energijom koja je potrebna za održavanje i razvoj organskih sistema sredina kontinuirano snabdeva organske sisteme u

procesu hranjenja i disanja, onda postaje jasno da u tome smislu nema govora o nepoštovanju opštih fizičkih zakona.

U toku poslednjih decenija postignut je veliki napredak u našem poznavanju strukture i funkcionisanja organizama, a, posebno, postalo je jasno da kvantne zakonitosti u mnogim pogledima imaju fundamentalnu ulogu. Ne samo što su ove zakonitosti osnova izuzetne stabilnosti veoma složenih molekularnih struktura koje su osnovni konstituenti ćelija odgovornih za nasledne osobine vrsta, već i istraživanja mutacija izazvanih prodornim zračenjem kome je izložen organizam ukazuju na značajnu primenu statističkih zakona kvantne fizike. Tako je nađeno da se osetljivost organa vida, koja je toliko važna za integritet organizma, približava nivou individualnih kvantnih procesa, dok mehanizam pojačavanja ima veoma važnu ulogu, posebno pri prenosu nervnih poruka. Ceo razvoj je ponovo, mada na novi način, stavio u prvi plan mehanistički prilaz biološkim problemima, ali je istovremeno postalo važno pitanje da li poređenje između organizama i veoma složenih i savršenih sistema, kao što su moderne industrijske konstrukcije ili elektronske računске mašine, pruža pravu osnovu za objektivni opis samopodešavajućih jedinki kao što su živi organizmi.

Vraćajući se na opštu pouku iz teorije saznanja koju nam je dala atomska fizika, moramo na prvom mestu shvatiti da zatvoreni procesi koji se proučavaju u kvantnoj fizici nisu u direktnoj vezi sa biološkim funkcijama za čije održavanje

je neophodna kontinuirana razmena materije i energije između organizma i okoline. Šta više, svaki eksperimentalni uređaj koji bi omogućio kontrolisanje ovih funkcija u stepenu potrebnom da bi se one dobro definisale pomoću fizičkih termina onemogućio bi odvijanje života. Sama ova okolnost, međutim, sugerira stav prema problemu organskog života koji dopušta prikladniju ravnotežu između mehanističkog i finalističkog prilaza. U stvari, kao što se kvant dejstva pojavljuje u opisu atomskih fenomena kao element čije objašnjenje niti je moguće niti se traži, tako isto je pojam života osnovni pojam u biologiji, gde nas zbog postojanja i evolucije živih bića više interesuje ispoljavanje mogućnosti te prirode čiji smo mi deo nego što nas interesuju rezultati eksperimenata koje sami možemo da izvedemo. U stvari, moramo priznati da su, bar u nameri, ispunjeni zahtevi objektivnog opisa, na tipično komplementaran način na koji se u biologiji koriste, s jedne strane, argumenti zasnovani na izvorima hemijskih i fizičkih nauka, a s druge strane, pojmovi koji se odnose direktno na integritet organizma i koji prevazilaze okvire ovih nauka. Ovde je bitna misao da samo napuštanjem namere da se objasni život u uobičajenom smislu reči dobijamo mogućnost da uzmemo u obzir njegove karakteristike.

Naravno, u biologiji kao i u fizici, mi zadržavamo položaj spoljnih posmatrača: radi se samo o različitim uslovima potrebnim za logično poimanje iskustva. To se takođe odnosi i na studiranje nasleđenog i uslovnog ponašanja ljudi i životi-

nja u čemu je korišćenje psiholoških koncepata veoma pogodno. Čak i u nezasnovanom bihejviorističkom prilazu teško da je moguće izbeći ove koncepte, a sama ideja svesti nam se nameće čim naidemo na ponašanje koje je toliko složeno da njegovo opisivanje stvarno zahteva introspekciju samog organizma. Ovde se srećemo sa međusobno isključivim primenama reči instinkt i razum, što ilustruje do koga stepena je u ljudskom društvu potisnuto instinktivno ponašanje. Iako nam je veoma teško da ostanemo nepristrasni posmatrači kada pokušavamo da postanemo svesni svoga stanja svesti, ipak je, čak i u psihologiji čoveka, moguće u velikoj meri ispuniti uslove objektivnog opisa. S tim u vezi interesantno je uočiti da dok je u prvim stadijumima fizičkih nauka bilo moguće osloniti se na one karakteristike svakodnevnog iskustva koje su dopuštale prosto uzročno prikazivanje, u opisu našeg mentalnog života je kompletnost korišćena od samih početaka jezika. Uistinu, bogata terminologija prilagođena komunikacijama u psihologiji ne ukazuje na neprekidan tok događaja, već više na međusobno isključiva iskustva koja se karakterišu različitim razdvajanjima sadržaja na koje je usredsređena naša pažnja i osnove koju označavamo rečju „mi sami“.

Izuzetno upečatljiv primer pruža poređenje situacija u kojima razmišljamo o motivima za akcije i onih u kojima doživljavamo osećanje volje. U normalnom životu, ovo pomeranje razdvajanja je manje-više intuitivno prihvaćeno, ali simptomi

okarakterisani kao „konfuzija ega“, koji mogu voditi raspadu ličnosti, dobro su poznati u psihijatriji. Upotreba na izgled kontradiktornih atributa, koji se odnose na podjednako važne aspekte ljudskog uma, pruža doista izuzetnu analogiju sa situacijom u atomskoj fizici, gde opisivanje komplementarnih pojava neophodno zahteva korišćenje različitih osnovnih pojmova. Pre svega, okolnost da se vrlo reč „svest“ odnosi na iskustva koja je moguće zadržati u sećanju nameće misao da se svesna iskustva uporede sa fizičkim posmatranjima. U takvoj analogiji, nemogućnost da se da nedvosmislen sadržaj ideji o podsvesti odgovara nemogućnosti slikovite interpretacije kvantno-mehaničkog formalizma. Uzgred budi rečeno, može se reći da psihoanalitički tretman neuroza uspostavlja ravnotežu u sadržaju sećanja pacijenta pre kroz donošenje novog svesnog iskustva nego pomažući mu da dopre do dna svoje podsvesti.

Sa biološke tačke gledišta karakteristike fizičkog fenomena možemo interpretirati jedino zaključujući da svesno iskustvo odgovara trajnom utisku u organizmu, što u nervnom sistemu dovodi do ireverzibilnog beleženja rezultata procesa koji nisu dostupni introspekciji i koji teško da su prilagođeni detaljnoj definiciji mehanističkog prilaza. Sigurno da je ovakvo beleženje, u kome su isprepletane mnogobrojne nervne ćelije, u suštini različito od permanentnih struktura u svakoj pojedinačnoj ćeliji organizma koje su povezane sa genetskim razmnožavanjem. Sa finalističke tačke gledišta, međutim, možemo ne samo istaći koris-

nost stalnog beleženja za njihov uticaj na naše reakcije na potonje podsticaje već isto tako i značaj činjenice da sledeće generacije nisu ometene stvarnim iskustvom individua, već da se oslanjaju samo na obnavljanje onih svojstava organizma koja su se pokazala korisnim za skupljanje i korišćenje znanja. Pri svakom pokušaju da sledimo radoznalost, moramo, naravno, biti spremni da se na svakom koraku susretnemo sa rastućim teškoćama i razumljivo je što jednostavni koncepti fizičke nauke gube svoju neposrednu primenljivost na nekom višem stepenu u kome smo se više približili svojstvima živih organizama povezanim sa karakteristikama našega uma.

Da bismo ilustrovali argument, možemo se ukratko pozvati na stari problem slobodne volje. Iz onoga što je već bilo rečeno očigledno je da je reč volja neophodna da bi se iscrpno opisale psihičke pojave, ali je pitanje u kojoj meri možemo govoriti o slobodi da delujemo u skladu sa našim mogućnostima. Sve dotle dok se zauzimaju neograničeni deterministički stavovi, ideja o takvoj slobodi je naravno isključena. Međutim, nauk iz atomske fizike, a posebno nauk o ograničenosti okvira mehaničkog opisa bioloških fenomena, ukazuje da sposobnost organizama da se sami prilagode okolini uključuje moć odabiranja za tu svrhu najpogodnijeg puta. Pošto je o takvim pitanjima nemoguće suditi na čisto fizičkoj bazi, najvažnije je prihvatiti činjenicu da psihološko iskustvo može pružiti pogodniju informaciju o problemima. Glavna misao je da, ako pokušamo da predvidimo šta će druga

osoba odlučiti da uradi u datoj situaciji, ne samo što se moramo truditi da znamo sve ono što nju određuje, uključujući i istoriju njenog života u svim pogledima koji mogu doprinositi formiranju njenog karaktera, već moramo shvatiti da u krajnjem cilju želimo da se sami postavimo na njeno mesto. Naravno, nemoguće je reći da li osoba želi da učini nešto zato što veruje da može ili da li može zato što to želi, ali teško da se može sumnjati u to da imamo osećanje da smo, tako da kažemo, u stanju da izvučemo ono što je najbolje iz datih okolnosti. Sa tačke gledišta objektivnog opisa, ništa se tome ne može dodati ili oduzeti, i u tome smislu možemo i praktično i logično govoriti o slobodi volje na način koji dopušta odgovarajuću širinu u korišćenju reči kao što su odgovornost i nada, koje teško da se mogu definisati jedna bez druge, kao i druge reči koje su neophodne u ljudskoj komunikaciji.

Ovakva razmatranja ukazuju na epistemološke posledice pouke koja se odnosi na naš položaj posmatrača, koju smo dobili sledeći razvoj fizike. Odustajanje od uobičajenih zahteva objašnjenju daje za uzvrat logična sredstva da se obuhvate šire oblasti iskustva koja zahtevaju da se obrati pažnja na mesto na kome se razdvaja objekat od subjekta. Pošto se u filozofskoj literaturi često govori o različitim nivoima objektivnosti ili subjektivnosti ili čak realnosti, može se istaći da pojam krajnjeg subjekta, kao i koncepcije kao što su realizam i idealizam, nikako nemaju mesta u objektivnom opisu kako smo ga definisali; ali ova

okolnost naravno ne znači nikakvo ograničenje dometa istraživanja kojim se mi bavimo.

Pošto smo dodirnuli neke od problema u nauci koji se odnose na jedinstvo znanja, ja ću se vratiti na sledeće pitanje postavljeno u našem programu; da li postoji poetska ili duhovna ili kulturna istina koja je drukčija od naučne istine. Sa svim otporima naučnika da uđe u ovakvo polje, rizikovaću, sa stavom sličnim onom koji je ranije naznačen, da komentarišem i ovu temu. Jednom prihvativši vezu koja postoji između naših načina izražavanja i polja iskustva, na koja se ona primenjuju, mi se odmah susrećemo sa vezom između umetnosti i nauke. Bogatstvo koje nam umetnost može dati potiče od njene moći da nam ukaže na harmonije koje prevazilaze domete svake sistematske analize. Može se reći da literatura, slikarstvo i muzika čine niz načina izražavanja u kome napuštanje definicija, koje su toliko karakteristične za naučne komunikacije, dopušta mašti slobodnije izražavanje. Posebno je taj cilj dostignut u poeziji ređanjem reči koje se odnose na promenljive situacije posmatrača koje na taj način ujedinjuju, u osećanjima, mnogostruke aspekte ljudskog znanja.

Ne zanemarujući nadahnuće, koje je neophodno svakom umetničkom delu, nije potcenjivanje uočiti da se čak i u najuzvišenijoj tački svoga rada umetnik oslanja na ljudske osnove koje su zajedničke svima nama. Posebno, moramo biti svesni da reč kao improvizacija, koja tako lako dolazi u

usta kada se govori o umetničkim dostignućima, ukazuje na jednu suštinsku crtu svakog komuniciranja. Ne samo što smo u običnoj konverzaciji manje-više nesvesni govornih izraza koje ćemo odabrati da bismo saopštili našu misao, već čak i u pisanim člancima, u kojima možemo da razmatramo svaku reč, za odgovor na pitanje da li neku reč ostaviti ili promeniti, neophodna je krajnja odluka koja je u suštini ekvivalentna improvizaciji. Uzgred, ravnoteža između ozbiljnosti i humora, karakteristična za svako istinsko umetničko dostignuće, podseća nas na komplementarne aspekte koji su očitii u dečijim igrama, ali ne manje dragoceni u zreloom životu. Doista, ako se stalno trudimo da govorimo veoma ozbiljno, veoma brzo upadamo u rizik da izgledamo smešno dosadni našim slušaocima i sebi samima, ali ako sve vreme pokušavamo da se šalimo, uskoro vidimo da smo se sami našli, kao i naši slušaoci, u beznadežnom položaju lakrdijaša iz Šekspirovih drama.

Pri poređenju nauke i umetnosti ne smemo, naravno, zaboraviti da u prvoj imamo posla sa zajedničkim sistematskim naporima za povećanje znanja i razvijanje odgovarajućih pojmova za njegovo razumevanje koji podsećaju na skupljanje, prenošenje i slaganje cigli u zgradu, dok se u drugoj srećemo sa manje-više intuitivnim individualnim naporima da se izazovu osećanja koja podsećaju na celovitost naše situacije. Sada smo na mestu na kome pitanje jedinstva znanja očigledno sadrži nejasnoću, kao i sama reč „istina”. Zaista,

s obzirom na duhovne i kulturne vrednosti koje tražimo, ponovo smo navedeni na epistemološke probleme povezane sa ravnotežom između želje za celovitim pogledom na život u njegovim raznolikim vidovima i svoje sposobnosti da se izrazimo logično bez protivurečnosti.

Nauka, koja teži da razvije opšte metode kojim bi se uredilo zajedničko ljudsko znanje i religije koje izviru iz napora da se unapredi harmonija između našeg pogleda na svet i našeg društvenog ponašanja, polaze u suštini od različitih stanovišta. U svakoj religiji, skup znanja koje je posedovalo u dato vreme određeno društvo je prirodno bio uključen u opšti okvir, čiji su prvobitni sadržaj činile vrednosti i ideje nastale u kultu i veri. Prema tome, bliska veza između sadržaja i oblika teško da je izazivala pažnju sve dok potonji napredak nauke nije doveo do nove kosmološke ili epistemološke situacije. Tok istorije pruža mnoge ilustracije u tome pogledu, a možemo posebno pomenuti istinski raskol između nauke i religije, koji je pratio razvoj mehaničke koncepcije prirode u vreme evropske renesanse. S druge strane, ispostavilo se da su mnoge pojave koje su do tada smatrane manifestacijama božanskog providenja posledica opštih nepromenljivih zakona prirode. Uz to fizički metodi i stavovi su bili veoma daleko od toga da daju značaj ljudskim vrednostima i idealima koji su bitni za religiju. U skladu sa stavom škola tzv. empirijske i kritičke filozofije preovladao je stav o manje-više nejasnom razli-

kovanju objektivnog znanja i subjektivnog verovanja.

Naglašavajući neophodnost da se u jasnim komunikacijama obraća odgovarajuća pažnja na razdvajanje subjekta i objekta, moderan razvoj nauke je, međutim, stvorio novu osnovu za upotrebu takvih reči kao što su znanje i verovanje. Pre svega je saznanje da postoje bitna ograničenja u pojmu uzročnosti pružilo okvir u kome je misao o univerzalnoj predodređenosti zamenjena konceptom prirodne evolucije. U vezi sa organizacijom ljudskih društava moramo posebno istaći da opis položaja pojedinca u njegovoj zajednici sadrži tipično komplementarne aspekte koji su povezani sa pomerljivom granicom između ocene vrednosti i stanovišta sa koga se daje ocena. Doista, svako stabilno ljudsko društvo zahteva korektnu igru određenu zakonskim pravilima, ali istovremeno, život bez privrženosti porodici i prijateljima bi očigledno bio lišen nekih svojih najdragocenijih vrednosti. Međutim, iako sve kulture imaju zajednički cilj da ostvare što je moguće tešnju kombinaciju pravde i milosti, mora se priznati da u svakoj situaciji koja zahteva praktičnu primenu zakona nema prostora za ispoljavanje milosti i da, obrnuto, dobrodušnost i samilost mogu doći u sukob sa svim idejama o pravdi. Ova misao, koja je u mnogim religijama mitski ilustrovana borbom između bogova koji oličavaju takve ideale, istaknuta je u orijentalnoj filozofiji u zavetu, koji se nikada ne sme zaboraviti, da smo u traženju harmonije u ljudskom životu na pozornici egzistencije istovremeno i glumci i gledaoci.

Poredeći različite kulture zasnovane na tradicijama izraslim u istorijskim događajima, srećemo se sa teškoćom da razumemo istoriju jednog naroda izgrađenu na tradicijama drugog. U tome smislu, veza između nacionalnih kultura je ponekad opisivana kao komplementarna, mada se ova reč ovde ne može uzeti u striktnom smislu u kome se uzima u atomskoj fizici ili psihološkoj analizi, gde se bavimo nepromenljivim karakteristikama naše situacije. U stvari, ne samo što je kontakt između naroda dovodio do spajanja kultura zadržavajući vredne elemente narodnih tradicija, već antropološka istraživanja stalno postaju sve važniji izvor za rasvetljavanje zajedničkih crta kulturnih razvoja. Doista, problem jedinstva znanja se teško može odvojiti od borbe za sveopšte razumevanje kao načina za podizanje ljudske kulture.

Završavajući ovo predavanje, osećam da je potrebno da se izvinim što sam o tako opštim temama govorio oslanjajući se dosta na posebnu oblast znanja koju čine fizičke nauke. Pokušao sam, međutim, da istaknem opšti stav na koji ukazuje ozbiljna pouka koju smo u toku naših dana dobili u ovome polju i koju smatram značajnom za problem jedinstva znanja. Ovaj stav se može okarakterisati kao napor da se što skladnije razumeju stalno sve brojniji aspekti naše situacije, napor zasnovan na poimanju činjenice da se nikakvo iskustvo ne može izraziti van logičke šeme i da se svaki vidljiv nesklad može ukloniti samo odgovarajućim proširenjem pojmovnog okvira.

ATOMI I LJUDSKO ZNANJE 1955.

Teško da se u istoriji nauke može naći istraživanje koje bi odgovaralo istraživanju sveta atoma u ovome veku, s obzirom na napredak znanja i savladavanje prirode, čiji smo mi sami deo. Međutim, sa svakim povećanjem znanja i sposobnosti je povezana veća odgovornost; a ispunjenje velikih obećanja i uklanjanje novih opasnosti atomskog doba sučeljavaju celu našu civilizaciju sa ozbiljnim iskušenjima sa kojima se možemo nositi samo kroz saradnju svih naroda, zasnovanu na međusobnom razumevanju. U ovoj situaciji, važno je shvatiti da je nauka, koja ne zna za nacionalne granice i čija su dostignuća zajedničko vlasništvo celog ljudskog roda, vekovima ujedinjavala ljude u njihovim naporima da razjasne osnove našeg znanja. Kao što ću pokušati da pokažem, proučavanje atoma, koje je dovelo do dalekosežnih posledica i čiji napredak je zasnovan na saradnji svetskih razmera, ne samo što je produbilo naše poglede u novom domenu iskustva, već je

bacilo novu svetlost na opšte probleme saznanja.

Na prvi pogled može izgledati čudno da atomska nauka sadrži pouku opšte prirode, ali se moramo setiti da je ona na svakom stepenu razvoja postavila neke suštinske probleme znanja. Još su antički mislioci, pretpostavivši da postoji granica deljivosti materije, pokušali da nađu osnovu koja omogućuje da se shvati postojanost koju ispoljavaju prirodni fenomeni uprkos njihovoj mnogostrukosti i šarolikosti. Iako su još od renesanse atomske ideje doprinosile sve efikasnije napretku fizike i hemije, one su sve do početka ovoga veka smatrane prostim hipotezama. Doista, pouzdano se verovalo da su naši čulni organi, koji se i sami sastoje od mnoštva atoma, suviše grubi da bi mogli da uoče najmanje delove materije. Ova situacija se međutim bitno promenila velikim otkrićima na početku ovoga veka i, kao što je dobro poznato, napredak u eksperimentalnoj tehnici je učinio mogućnim registrovanje efekata pojedinačnih atoma i dobijanje informacija o još elementarnijim česticama od kojih su sami atomi sastavljeni.

I pored dubokog uticaja koji je antički atomizam imao na razvoj mehaničke koncepcije prirode, proučavanje neposredno dostupnih astronomskih i fizičkih podataka je učinilo mogućim otkrivanje zakonitosti koje su sadržaj tzv. klasične fizike. Galileova максима, prema kojoj objašnjenje fenomena mora biti zasnovano na merljivim veličinama, omogućilo je uklanjanje onih animističkih pogleda koji su tako dugo sprečavali racionalnu formulaciju mehanike. U Newtonovim prin-

cipima data je osnova determinističkog opisa koji omogućuje da se na osnovu poznavanja stanja mehaničkog sistema u datom trenutku predvidi njegovo stanje u svakom sledećem trenutku. Na sličan način postalo je moguće objašnjenje elektromagnetnih fenomena. Ono je, međutim, zahtevalo da opis stanja sistema sadrži, pored položaja i brzine naelektrisanih tela, jačinu i pravac električnih i magnetnih sila u svakoj tački prostora, u datom trenutku.

Dugo je smatrano da konceptualni okvir, koji je karakterističan za klasičnu fiziku, sadrži odgovarajuća sredstva pomoću kojih je moguć opis svih fizičkih fenomena, a posebno je izgledalo da je pogodan za korišćenje i razvoj atomističkih ideja. Naravno, za sisteme, kao što su obična tela koja sadrže ogroman broj sastavnih delova, nema govora o detaljnom opisu stanja sistema. Ne napuštajući deterministički ideal, postalo je moguće, međutim, na osnovu principa klasične mehanike, izvođenje statističkih zakonitosti koje odslikavaju mnogobrojna svojstva materijalnih tela. Čak iako mehanički zakoni kretanja dopuštaju kompletno obrtanje toka pojedinačnih procesa, objašnjenje ireverzibilnih svojstava koja su karakteristična za toplotne pojave je nađeno u statističkoj energetskoj ravnoteži koja je posledica interakcije između molekula. Ovo veliko proširenje polja primene mehanike je još više istaklo neophodnost atomskih ideja u opisu prirode i pružilo prve mogućnosti za brojanje atoma od kojih su sačinjene supstance.

Međutim, razjašnjenje osnova termodinamičkih zakona je moralo otvoriti put prihvatanju svojstva celovitosti u atomskim procesima koje je daleko iznad stare doktrine o ograničenoj deljivosti materije. Kao što je dobro poznato, detaljnija analiza toplotnog zračenja je postala test za domet ideja klasične fizike. Već je otkriće elektromagnetnih talasa stvorilo osnovu za razumevanje prostiranja svetlosti, objašnjavajući mnoga optička svojstva supstancije, ali pokušaji da se objasni ravnoteža zračenja suočili su ove ideje sa nepremostivim teškoćama. Okolnost da su se ovde morali koristiti argumenti zasnovani na opštim principima i potpuno nezavisni od posebnih pretpostavki koje se tiču sastavnih delova materije navela je Plancka u prvoj godini ovoga veka na otkriće univerzalnog kvanta dejstva, koje je jasno pokazalo da je opis klasične fizike idealizacija čija je primenljivost ograničena. U pojavama na običnoj skali akcije koje su u igri toliko su velike da kvant dejstva može biti izostavljen iz razmatranja. Međutim, u pravim kvantnim procesima srećemo zakonitosti koje su sasvim strane mehaničkoj koncepciji prirode i koje se ne pokoravaju slikovitom determinističkom opisu.

Zadatak koji je pred fizičare postavilo Planckovo otkriće sastojao se u tome da se pomoću iscrpne analize pretpostavki, na kojima su zasnovani naši osnovni pojmovi u racionalnom uopštenju klasičnog fizičkog opisa, stvori prostor za postojanje kvanta dejstva. Za vreme razvoja kvantne fizike, u toku koga se desilo mnogo iznenađenja,

bili smo stalno suočeni sa teškoćom orijentisanja u oblasti iskustva koja je daleko od oblasti kojoj su prilagođena naša sredstva izražavanja. Brz napredak je bio moguć zahvaljujući širokoj i intenzivnoj saradnji među fizičarima iz mnogih zemalja, čiji su raznovrsni prilazi na najplodonosniji način pomogli da se ključni problem bolje sagleda. Ovom prilikom je, naravno, nemoguće pomenuti detaljno sve pojedinačne doprinose, ali da bih pripremio osnovu za dalja razmatranja ukratko ću vas podsetiti na neke glavne crte toga razvoja.

Dok se Planck oprezno ograničio na statističke argumente i isticao teškoće da se napuste klasične osnove pri detaljnom opisu prirode, Einstein je smelo ukazivao na neophodnost da se kvant dejstva uzme u obzir u pojedinačnim atomskim procesima. Iste godine kada je tako skladno zaokružio klasičnu fiziku stvaranjem teorije relativiteta, on je pokazao da opis podataka o fotoelektričnom efektu zahteva da energija predana svakom elektronu izbačenom iz supstance odgovara apsorpciji tzv. kvanta zračenja. Pošto je pojam talasa neophodan da bi se objasnilo prostiranje svetlosti, nikako nije bilo moguće pojam talasa prosto zameniti čestičnim opisom, tako da se naučnik nalazio suočen sa izuzetnom dilemom, čije rešenje je zahtevalo iscrpnu analizu primenljivosti slikovitih pojmova.

Kao što je dobro poznato, ovo pitanje je potom još više istaknuto Rutherfordovim otkrićem atomskog jezgra, koje, uprkos svojoj majušnosti sadrži skoro celu masu atoma i čije naelektrisanje odgo-

vara broju elektrona u neutralnom atomu. To je dalo jednostavnu sliku atoma koja je odmah ukazivala na primenu mehaničkih i elektromagnetnih ideja. Ali, bilo je jasno da prema klasičnim fizičkim principima, nijedna konfiguracija naelektrisanih čestica ne može imati stabilnost koja je potrebna da bi se objasnila fizička i hemijska svojstva atoma. Posebno, prema klasičnoj teoriji elektromagnetizma, svako kretanje elektrona oko atomskog jezgra treba da je praćeno kontinuiranim zračenjem energije, što bi dovelo do brzog sažimanja sistema sve dok se elektroni ne sjedine sa jezgrom u neutralnu česticu čije su dimenzije zanemarljivo male u odnosu na one koje možemo pripisati atomima. Međutim, u do tada potpuno nerazumljivim empirijskim zakonima atomskih spektara elemenata nađena je potvrda da je kvant dejstva od suštinskog značaja za stabilnost i radijacione procese u atomu.

Ovde je polazna tačka postao tzv. kvantni postulat, prema kome je svaka izmena energije atoma rezultat kompletnog prelaza između dva njegova stacionarna stanja. Pretpostavljajući dalje da svi atomski procesi zračenja sadrže emisiju i apsorpciju svetlosnog kvanta, bilo je moguće na osnovu spektara odrediti vrednost energije stacionarnih stanja. Bilo je jasno da u okviru determinističkog opisa nije nikako mogla biti objašnjena nedeljivost procesa prelaza ili njihova pojava pod datim uslovima. Međutim, ispostavilo se da je moguće pomoću principa korespondencije dobiti opštu sliku elektronske veze u atomu, sliku koja je

ispoljavala mnoga svojstva supstancija. Poređenjem sa očekivanim klasičnim tokom procesa nađeni su načini da se opis uopšti statistički a u skladu sa kvantnim postulatom. Tako, postajalo je sve jasnije i jasnije da je se, radi dobijanja skladnog opisa atomskih fenomena, potrebno još više osloboditi slikovitih prikaza i da je potrebna temeljita promena celog opisa da bi se mogla obuhvatiti sva svojstva povezana sa kvantom dejstva.

Rešenje do koga se došlo kroz pronicljive doprinose najuglednijih teorijskih fizičara našega vremena je bilo začuđujuće jednostavno. Kao i pri formulaciji teorije relativiteta, pogodna sredstva su nađena u veoma razvijenom apstraktnom matematičkom aparatu. Veličine koje su u klasičnoj fizici korišćene da se opiše stanje sistema su u kvantno-mehaničkom formalizmu zamenjene simboličkim operatorima čija je komutativnost ograničena pravilima koja sadrže kvant dejstva. Iz toga sledi da se veličinama, kao što su koordinate položaja i odgovarajuće komponente impulsa čestica, ne mogu istovremeno propisati određene vrednosti. Na taj način statistički karakter formalizma se pojavljuje kao prirodno uopštenje opisa klasične fizike. Uz to, ovo uopštenje je dopuštalo konsekvantnu formulaciju zakonitosti koje ograničavaju pojedinačnost identičnih čestica i koje, kao i sam kvant, ne mogu biti izražene pomoću uobičajenih fizičkih slika.

Pomoću metoda kvantne mehanike bilo je moguće objasniti veoma veliku količinu eksperimentalnih podataka o fizičkim i hemijskim svojstvi-

ma supstancija. Ne samo što je detaljno razjašnjena veza elektrona u atomima i molekulima, već je postignuto duboko razumevanje sastava i reakcija atomskih jezgara. S tim u vezi možemo napomenuti da su probablistički zakoni spontanih radioaktivnih transmutacija skladno ugrađeni u statistički kvantno-mehanički opis. Razumevanje svojstava novih elementarnih čestica, koje su nađene poslednjih godina proučavanjem svojstava atomskih jezgara pri visokim energijama, takođe je stalno napredovalo zahvaljujući prilagođenju formalizma zahtevima invarijantnosti teorije relativiteta. Pa ipak, tu se srećemo sa novim problemima, čije rešenje očigledno zahteva dalje apstrakcije koje bi pogodno povezale kvant dejstva sa elementarnim električnim naelektrisanjem.

Uprkos plodnosti kvantne mehanike u tako širokoj oblasti iskustva, napuštanje uobičajenih zahteva koje bi trebalo da zadovolji fizičko objašnjenje izazvalo je kod mnogih fizičara i filozofa sumnju u to da se radi o iscrpnom opisu atomskih fenomena. Posebno, izraženo je mišljenje da se statistički način opisivanja mora posmatrati kao nešto što je privremeno pogodno i što u principu treba da bude zamenjeno determinističkim opisom. Potpuna diskusija ovoga pitanja je, međutim, dovela do rasvetljavanja našeg položaja kao posmatrača u atomskoj fizici, tako da smo izvukli pouku iz teorije saznanja pomenutu na početku ovoga predavanja.

Kako je cilj nauke da poveća i uredi naše iskustvo, svaka analiza stanja ljudskog znanja se mora zasnivati na razmatranjima karaktera i dometa naših sredstava komuniciranja. Naša osnova je, naravno, jezik razvijen radi naše orijentacije u okolini i radi organizovanja ljudskih zajednica. Međutim, povećanje znanja je više puta postavljalo pitanje o dovoljnosti pojmova i ideja ugrađenih u svakodnevni jezik. Zbog svoje relativne jednostavnosti fizički problemi su posebno pogodni za ispitivanje upotrebljivosti naših sredstava komuniciranja. Zaista, razvoj atomske fizike nas je naučio kako je moguće, ne napuštajući svakodnevni jezik, stvoriti dovoljno širok okvir za iscrpan opis novoga iskustva.

S tim u vezi neophodno je shvatiti da se u svakom objašnjenju fizičkog eksperimenta moraju opisati i eksperimentalni uslovi i posmatranja pomoću istih onih sredstava komuniciranja koja se koriste u klasičnoj fizici. U analizi pojedinačnih atomskih čestica to je moguće zahvaljujući ireverzibilnim efektima pojačanja — kao što je tačka na fotografskoj ploči izazvana prolaskom elektrona, ili električno pražnjenje stvoreno u brojačkom uređaju — a posmatranje se sastoji u određivanju mesta i vremena dolaska čestice na ploču ili njene energije pri dolasku u brojač. Naravno, ova informacija pretpostavlja poznavanje položaja fotografske ploče u odnosu na druge delove eksperimentalnog uređaja, kao što su dijafragme sa podešavanjem i kapci koji određuju prostorno-vremenske koordinate naelektrisanih i namagnetisanih te-

la. Ona pak određuju spoljašnje polje sila koje deluje na česticu i omogućuje merenja energije. Eksperimentalni uslovi se mogu menjati na mnogo načina, ali je poenta u tome da u svakome slučaju možemo biti u stanju da saopštimo drugima šta smo uradili i šta smo naučili, i da prema tome rad mernih instrumenata može biti opisan pomoću pojmova klasične fizike.

Kako se sva merenja odnose na tela koja su dovoljno velika da je u njihovom opisu moguće zanemariti kvant dejstva, striktno govoreći, nema nikakvog novog problema posmatranja u atomskoj fizici. Pojačavanje atomskih efekata, koje čini mogućnim da se objašnjenje zasnjuje na merljivim veličinama i koje daje fenomenu izuzetno zatvoren karakter, samo ističe svojstvo ireverzibilnosti samog pojma posmatranja. Dok u okviru klasične fizike nema nikakve principijelne razlike između opisa mernih instrumenata i objekata koji se istražuju, situacija je bitno različita kada se studiraju kvantni fenomeni, pošto kvant dejstva nameće neka ograničenja u opisu stanja sistema pomoću prostorno-vremenskih koordinata i moment-energija veličina. Pošto se deterministički opis klasične fizike zasniva na pretpostavci o neograničenoj usklađenosti prostorno-vremenskog određivanja i dinamičkih konzervacionih zakona, mi smo ovde očigledno suočeni sa problemom da li se ovakav opis može u potpunosti zadržati u slučaju atomskih objekata.

Utvrđeno je da je uloga interakcije između objekata i mernih instrumenata u opisu kvantnih

pojava posebno značajna za razjašnjenje ovog važnog pitanja. Tako, kao što je istakao Heisenberg, određivanje položaja objekta u ograničenom prostorno-vremenskom domenu zahteva, prema kvantnoj mehanici, razmenu momenta i energije između instrumenta i objekta, koja je utoliko veća što je manji odabrani domen. Bilo je, dakle, od izuzetne važnosti istraživanje u kome stepenu se međudelovanje koje je izazvano posmatranjem može izdvojiti pri opisu pojave. Ovo pitanje je bilo u žiži mnogih diskusija, i pojavilo se mnoštvo predloga, čiji je cilj bio da se u potpunosti kontrolišu sva međudelovanja. U ovakvim razmatranjima, međutim, nije se vodilo dovoljno računa o činjenici da sam opis rada mernih instrumenata zahteva da sva međudelovanja povezana sa kvantom dejstva budu nedeljivi deo pojave.

Zaista, svaki eksperimentalni uređaj koji omogućuje registrovanje atomske čestice u ograničenom prostorno-vremenskom domenu zahteva učvršćene merne lenjire i sinhronizovane časovnike koji, zbog same svoje definicije, isključuju kontrolu predatog momenta i energije. Obrnuto, jasna primena zakona održanja u kvantnoj fizici traži da se pri opisu pojave u principu odustane od prostorno-vremenskog određivanja. Ovo međusobno isključivanje eksperimentalnih uslova zahteva da se pri dobro definisanom opisu pojave uzme u obzir ceo eksperimentalni uređaj. Nedeljivost kvantnih pojava je konsekventno izražena kroz okolnost da svaka dalja podela zahteva izmenu eksperimentalnog uređaja, što bi izazvalo

nove pojedinačne fenomene. Tako je iščezla sama osnova determinističkog opisa, a statistički karakter predviđanja je postao očigledan zbog činjenice da će se u jednom te istom eksperimentalnom uređaju u opštem slučaju pojaviti podaci koji odgovaraju različitim pojedinačnim procesima.

Ovakva razmatranja ne samo što su rasvetlila gore pomenutu dilemu o prostiranju svetlosti, već su u potpunosti rešila odgovarajuće paradokse povezane sa neskladom slikovitih prikaza ponašanja materijalnih čestica. Ovde, naravno, ne možemo tražiti fizičko objašnjenje u uobičajenom smislu, već sve što možemo zahtevati u novoj oblasti iskustva je da budu uklonjene sve prividne protivrečnosti. Ma koliko da su velike suprotnosti koje pokazuju atomske pojave pod različitim eksperimentalnim uslovima, takve pojave se moraju nazvati komplementarnim u smislu da je svaka dobro definisana i da zajedno iscrpljuju sve znanje o objektima o kojima je reč. Kvantno-mehanički formalizam, čiji jedini cilj je da obuhvati podatke posmatranja dobivene pod eksperimentalnim uslovima opisanim pomoću prostih fizičkih pojmova, daje upravo takav iscrpan komplementaran prikaz veoma širokog domena iskustva. Odbacivanje slikovitog predstavljanja se odnosi samo na stanje atomskih objekata, dok je osnova za opis eksperimentalnih uslova, kao i sloboda njihovog izbora, u potpunosti zadržana. Ceo formalizam, primenljiv samo na zatvorene fenomene, mora se u svim ovim pogledima posmatrati kao racionalno uopštenje klasične fizike.

S obzirom na uticaj mehaničke koncepcije prirode na filozofsko mišljenje, razumljivo je što se ponekada pojam komplementarnosti povezuje sa postojanjem subjektivnog posmatrača, što je neuskладivo sa objektivnim naučnim opisom. Naravno, u svakom polju iskustva moramo zadržati jasnu razliku između posmatrača i sadržaja posmatranja, ali moramo shvatiti da je otkriće kvanta dejstva bacilo novu svetlost na same osnove opisa prirode i otkrilo do tada neuočene pretpostavke neophodne za razumljivu upotrebu pojmova na kojima se zasniva prenošenje iskustva. Da bi se definisale pojave u kvantnoj fizici, neophodno je, kao što smo videli, prikazati rad mernih instrumenata, i moramo, da tako kažem, praviti razliku između subjekta i objekta na takav način da je u svakom slučaju obezbeđena jasna primena osnovnih fizičkih pojmova koji se koriste u opisu. Daleko od toga da sadrži bilo kakav mistificizam koji je stran duhu nauke, pojam komplementarnosti se odnosi na logične uslove potrebne za opisivanje i razumevanje iskustva u atomskoj fizici.

Epistemološka pouka atomske fizike je prirodno, kao i ranija dostignuća u fizičkim naukama, podstakla ponovo razmatranja o korišćenju naših sredstava komuniciranja za objektivno opisivanje u drugim oblastima znanja. Posebno, jednom kada je shvaćen značaj problema posmatranja, postavilo se pitanje položaja živih bića u opisu prirode i naše sopstvene situacije kao živih i misaonih bića. Mada je, do izvesnog stepena, bilo mo-

guće i u okviru klasične fizike porediti organizme sa mašinama, jasno je bilo da ovakva poređenja nisu dovoljno uzimala u obzir mnoge karakteristike života. Nepogodnost mehaničkog koncepta prirode pri opisu čovekovog položaja je posebno vidljiva u teškoćama koje se pojavljuju pri primitivnom razlikovanju duše i tela.

Problemi sa kojima se ovde srećemo su očigledno povezani sa činjenicom da opis mnogih aspekata ljudske egzistencije zahteva terminologiju koja nije neposredno zasnovana na jednostavnim fizičkim slikama. Međutim, saznanje o ograničenoj primenljivosti takvih slika pri opisu atomskih fenomena daje ideju kako da se biološki i psihološki fenomeni obuvate objektivnim opisom. Kao i ranije, ovde je važno biti svestan da je posmatrač odvojen od sadržaja koji se saopštava. Dok je u mehaničkoj koncepciji prirode razdvajanje subjekta od objekta bilo fiksno, ovde je stvoren prostor za širi opis kroz saznanje da konsekvantna upotreba naših pojmova zahteva da se to razdvajanje postavlja na različita mesta.

Ne pokušavajući da damo bilo kakvu iscrpnu definiciju organskog života, možemo reći da se živi organizam karakteriše svojim integritetom i prilagodljivošću, što znači da opis unutrašnjih funkcija organizma i njegovih reakcija na spoljašnje podsticaje često zahteva reč svrsishodan, koja je strana fizici i hemiji. Iako su rezultati atomske fizike našli mnoštvo primena u biofizici i biohemiji, celovita pojedinačna kvantna pojava ne pokazuje, naravno, nijednu karakteristiku koja bi

podsećala na pojam života. Kao što smo videli, opis atomskih pojava, koji je primenjen u širokoj oblasti iskustva, zasnovan je na slobodnoj upotrebi takvih mernih instrumenata koji su potrebni za pravilnu upotrebu elementarnih pojmova. U živom organizmu, međutim, takvo razlikovanje između mernih instrumenata i objekata koji se istražuju teško da se može u potpunosti ostvariti, i mi moramo biti spremni da svaki merni uređaj namenjen da opiše funkcionisanje organizma, a dobro definisan u smislu atomske fizike, može biti potpuno nepogodan za opis života.

Biološka istraživanja se oslanjaju na svojstva sveukupnosti i na svrsishodnost reakcija organizma, kao i na sve detaljnije informacije o strukturi i regulacionim procesima koji su doveli do tako velikog napretka ne samo u medicini. Tu se radi o jednom praktičnom metodu prilaza oblasti u kojoj se sredstva izražavanja koja se koriste za opis njenih različitih aspekata odnose na međusobno isključive uslove posmatranja. S tim u vezi mora se shvatiti da stavovi nazvani mehanistički i finalistički nisu kontradiktorne tačke gledišta, već da pokazuju komplementaran odnos koji je povezan sa našim položajem posmatrača prirode. Da bismo izbegli nerazumevanje, međutim, bitno je uočiti da nasuprot prikazu atomskih zakonitosti ni opis organskog života ni predviđanja mogućnosti razvoja života ne mogu težiti kompletnosti, već samo dovoljnoj širini pojmovnog okvira.

U opisu psihičkog iskustva srećemo se sa uslovima posmatranja i odgovarajućim sredstvima iz-

ražavanja koja su još udaljenija od terminologije fizike. Nezavisno od stepena u kome je opravdana i neophodna upotreba reči kao što su instinkt i razum pri opisivanju ponašanja životinja, reč svest se ne može izbeći kada se govori o čovekovoju situaciji nezavisno od toga da li se radi o nama samima ili o drugima. Dok bi terminologija prilagođenja orijentisanju u okolini mogla poći od prostih fizičkih slika i ideje uzročnosti, prikaz stanja naše svesti zahteva tipično komplementaran način opisivanja. Zaista, korišćenje reči kao što su misli i osećanja ne označava čvrsto povezan lanac događaja, već iskustva koja se međusobno isključuju zbog razlikovanja svesnog sadržaja od osnove koju mi slobodno nazivamo „mi sami”.

Odnos između iskustva povezanog sa osećanjem želje i svesnog poimanja naših motiva za delovanje je posebno poučan. Neophodnost ovakvih očigledno suprotnih načina izražavanja pri opisu bogatstva svesnog života upečatljivo nas podseća načina na koji se elementarni fizički pojmovi koriste u atomskoj fizici. U ovakvom poređenju, međutim, moramo prihvatiti da psihičko iskustvo ne može biti podvrgnuto fizičkim merenjima i da sam pojam želje nije uopštenje determinističkog opisa, već u krajnjoj meri karakteriše ljudski život. Ne ulazeći u staru filozofsku diskusiju o slobodi volje, ja ću samo da podsetim da u objektivnom opisu naše situacije reč želja veoma odgovara rečima kao što su nada i odgovornost, koje su podjednako neophodne u komunikacijama među ljudima.

Ovde smo došli do problema koji se tiču ophođenja među ljudima u kojima raznolikost sredstava izražavanja dolazi od nemogućnosti da se uloga pojedinca u društvu okarakterise nekim fiksnim obeležjem. Činjenica da ljudske kulture razvijene u različitim životnim uslovima ispoljavaju takve suprotnosti s obzirom na uspostavljanje tradicije i društvene strukture, dopušta nam da u izvesnom smislu te kulture zovemo komplementarnim. Međutim, mi se ovde nikako ne bavimo definitivno međusobno isključivim svojstvima, kao što su ona koje srećemo u objektivnom opisu opštih problema fizike i psihologije, već se interesujemo za razlike u stavovima koje se mogu pojmiti ili poboljšati kroz prošireno druženje među narodima. U naše vreme, kada rastuće znanje i sposobnost više nego ikada povezuju sudbinu svih naroda, međunarodna saradnja u nauci ima dalekosežne zadatke koji mogu biti ispunjeni samo očuvanjem opštih uslova za ljudsko znanje.

FIZIKA I PROBLEM ŽIVOTA 1957.

Sa zadovoljstvom sam prihvatio poziv Lekarskog društva u Kopenhagenu da održim jedno od onih predavanja kojima društvo održava uspomenu na slavnog danskog naučnika Stensena, čija se dostignuća sve više cene, ne samo u ovoj zemlji već u celom naučnom svetu. Za temu sam odabrao problem koji je zaokupljao ljudsku misao vekovima, a kojim je Niels Stensen bio duboko obuzet. Reč je o pitanju u kolikoj meri nam može pomoći fizičko iskustvo da objasnimo poreklo života u svem njegovom bogatstvu i šarolikosti. Kao što ću pokušati da pokažem, razvoj fizike u toku poslednjih decenija, posebno pouka, koja se tiče našeg položaja kao posmatrača prirode čiji smo sastavni deo i koja je dobivena istraživanjem sveta atoma koji nam je tako dugo bio zatvoren, stvorili su novu osnovu za naš novi stav prema tome pitanju.

Čak i u filozofskim školama antičke Grčke nalazimo razmimoilazna mišljenja o pojmovnim sredstvima pogodnim da objasne začuđujuće raz-

like između živih organizama i drugih materijalnih tela. Kao što je dobro poznato, atomisti su smatrali da je ograničenost deljivosti materije neophodna ne samo za objašnjenje prostih fizičkih pojava već i funkcionisanja organizama i s tim povezanog fizičkog iskustva. Aristotel je, s druge strane, odbacivao atomističke ideje i, zbog celovitosti koju ispoljava svaki živi organizam, podržavao je stav da se u opis prirode uvedu pojmovi kao što su savršenstvo i svrsishodnost.

U toku skoro 2000 godina situacija je u suštini ostala nepromenjena, a tek je u doba renesanse, kada su se desila velika otkrića u fizici i u biologiji, došlo do novih impulsa. Napredak u fizici se sastojao pre svega u oslobođenju od aristotelijanske ideje da je sila uzrok svakog kretanja. Galileovo otkriće da je uniformno kretanje manifestacija inercije i njegovo isticanje da je sila uzrok promeni kretanja, postalo je osnov za razvoj mehanike, kojoj je Newton na divljenje budućih generacija dao zasnovan i završen oblik. U toj tzv. klasičnoj mehanici nema nikakvog pozivanja na svrhu (cilj), pošto je tok događaja opisan kao automatska posledica datih početnih uslova.

Napredak mehanike nije mogao izbeći da učini najjači utisak na celokupnu savremenu nauku. Posebno, anatomske studije Vesaliusa i Harvejevo otkriće cirkulacije krvi su navodili na poređenje živih organizama sa mašinama koje rade prema zakonima mehanike. Na filozofskoj strani, posebno je Descartes insistirao na sličnosti između životinja i automata, ali je pripisivao ljudskim bi-

ćima dušu koja interaguje sa telom u izvesnoj žlezdi u mozgu. Zatim, upravo je Stensen u svome slavnom predavanju u Parizu o anatomiji mozga podvukao nedostatke u znanju toga vremena o svim tim fenomenima. To predavanje je izuzetno svedočanstvo o velikoj moći posmatranja i izuzetnoj slobodi suđenja koje karakterišu celokupno Stensenovo delo.

U toku potonjeg razvoja biologije, posebno posle otkrića mikroskopa, otkrivena je neslućena finoća organskih struktura i regulacionih procesa. U isto vreme kada su mehaničke ideje nalazile sve širu primenu često su iznošene tzv. vitalističke i finalističke teze inspirisane čudesnom moći organizama da se razmnožavaju i prilagođavaju. Umesto vraćanja na primitivne ideje o životnoj sili koja deluje u organizmima, ovakvi pogledi su isticali nedostatke fizičkog pristupa u objašnjenju karakteristika života. Da bih skicirao kakva je bila situacija na početku ovoga veka, voleo bih da navedem sledeće reči svoga oca, fiziologa Christiana Bohra iz uvoda u njegov članak „O patološkom širenju pluća”, koji je objavljen 1910. u publikaciji povodom godišnjice Univerziteta u Kopenhagenu.

U meri u kojoj se fiziologija može smatrati posebnom granom prirodnih nauka, njen specifičan zadatak je da istražuje fenomene koji se odnose na organizme kao date iskustvene objekte da bi postigla razumevanje uloge različitih delova u samopodešavanju i načina njihovog međusobnog uravnotežavanja i dovođenja u

sklad sa spoljašnjim uticajima i unutrašnjim procesima. Dakle, sa prirodom ovoga problema je tesno vezana reč svrha za održavanje organizma i posmatranje mehanizma za podešavanje kao svrsishodnih za to održavanje. Tačno u ovome smislu ćemo u buduće koristiti pojam „svrsishodnost” u vezi sa organskim funkcijama. Da primena ovoga pojma u svakom konkretnom slučaju ne bi bila prazna ili čak pogrešna, mora se dakle tražiti da njoj uvek prethodi toliko detaljno istraživanje organske pojave koja se razmatra da je moguće korak po korak rasvetliti taj poseban način na koji ona doprinosi održavanju organizma. Mada ovaj zahtev, koji ne traži ništa više do naučno demonstriranje da je pojam svrsishodan u datom slučaju upotrebljen u skladu sa njegovom definicijom, može izgledati očigledan, nije naodmet to naglasiti. Doista, istraživanja u fiziologiji su otkrila izuzetno fina podešavanja u toliko velikom broju da se nalazimo pred izazovom da svaku manifestaciju života označimo kao svrsishodnu ne pokušavajući da eksperimentalno istražimo njegovo detaljno funkcionisanje. Pomoću analogija koje se tako lako ispoljavaju u mnoštvu organskih funkcija, sledeći korak je da se ovo funkcionisanje interpretira u subjektivnom suđenju o specijalnom karakteru svrsishodnosti u datom slučaju. Kao što je pokazano u mnogim primerima, zbog našeg veoma uskog i ograničenog znanja o organizmu, takvo lično suđenje može biti pogrešno. U takvim slučajevima uzrok pogrešnih re-

zultata procedure je nedostatak eksperimentalnih podataka o detaljima procesa. Apriorna pretpostavka o svrsishodnosti organskog procesa je, međutim, sama za sebe sasvim prirodna kao heuristički princip i može se, zbog izuzetnih komplikacija i teškoća u poimanju uslova u organizmu pokazati ne samo korisnom već čak i neophodnom za formulisanje posebnog problema istraživanja i za traženje načina njegovog rešavanja. Ali jedna stvar je šta se pogodno može koristiti u preliminarnom istraživanju, a druga je šta se opravdano može smatrati stvarno postignutim rezultatom. Što se tiče problema svrsishodnosti date funkcije za održavanje celokupnog organizma, takav rezultat može, kao što je gore naglašeno, biti pouzdan samo ako se detaljno pokaže način na koji je svrha postignuta.

Ovo zapažanje, koje izražava stav krugova u kojima sam odrastao i čije diskusije sam slušao u mladosti, citirao sam zato što ono daje pogodno polazište za istraživanje mesta živih organizama u opisu prirode. Kao što ću pokušati da pokažem, savremeni razvoj atomske fizike nam je, istovremeno sa povećanjem znanja o atomima i njihovom sastavu od elementarnijih delova, otkrio principijelna ograničenja tzv. mehaničke koncepcije prirode i na taj način stvorio novu osnovu za problem koji nas se ovde tiče o tome šta možemo smatrati naučnim objašnjenjem i šta od njega zahtevati.

Da bih situaciju u fizici predstavio što je moguće jasnije, na početku ću vas podsetiti ekstremnog stava koji je pod uticajem velikog uspeha klasične mehanike izražen u Laplaceovoj dobro poznatoj koncepciji svetske mašine. Sve interakcije između sastavnih delova ove mašine su bile određene zakonima mehanike, pa prema tome inteligentno biće koje zna relativne položaje i brzine ovih delova u datom trenutku bi moglo predvideti sve sledeće događaje u svetu, uključujući i ponašanje životinja i čoveka. U celoj ovoj koncepciji, koja je, kao što je dobro poznato, imala značajnu ulogu u filozofskim diskusijama, nije obraćena prava pažnja na primarne pretpostavke za primenu pojmova neophodnih u saopštavanju iskustva.

U tome smislu kasniji razvoj fizike nam je ubrzo dao pouku. Još je dalekosežna interpretacija toplotnih pojava kao neprekidnog kretanja molekula u gasovima, tečnostima i čvrstim telima obratila pažnju na značaj uslova posmatranja u objašnjenju eksperimenta. Naravno, nema govora o detaljnom opisu međusobnog kretanja nebrojeno mnogo čestica, već je reč o izvođenju statističkih zakonitosti toplotnog kretanja pomoću opštih mehaničkih principa. Tako je neobična suprotnost između reverzibiliteta jednostavnih mehaničkih procesa i ireverzibiliteta koji je tipičan za mnoge termodinamičke pojave razjašnjena činjenicom da se primene pojmova kao što su temperatura i entropija odnose na eksperimentalne uslove koji su

nesaglasni sa potpunom kontrolom kretanja pojedinačnih molekula.

Često se smatra da je održavanje i rast živih organizama u suprotnosti sa tendencijom ka uspostavljanju temperaturske i energetske ravnoteže u izolovanim fizičkim sistemima koja je posledica termodinamičkih zakona. Međutim moramo se podsetiti da se organizmi preko hrane i disanja stalno snabdevaju slobodnom energijom i da najpotpunija fiziološka istraživanja nisu nikada otkrila odstupanje od termodinamičkih principa. Ipak otkriće sličnosti između živih organizama i običnih mašina nije naravno nikako dovoljno da se odgovori na pitanje o položaju organizama u opisu prirode pošto to pitanje očigledno zahteva dublju analizu problema posmatranja.

Ovaj problem se doista neočekivano pojavio u prvom planu otkrićem univerzalnog kvanta dejstva koji izražava svojstvo celovitosti atomskih procesa. Ovo svojstvo ne dopušta razlikovanje posmatranja pojave od nezavisnog ponašanja objekta, koje je karakteristično za mehaničku koncepciju prirode. U fizičkim sistemima na običnoj skali, predstavljanje događaja kao niza stanja opisanih merljivim veličinama se zasniva na okolnosti da su tu sva dejstva dovoljno velika da dozvoljavaju zanemarivanje interakcije između objekata i tela koja se koriste kao merna sredstva. U uslovima u kojima kvant dejstva igra odlučujuću ulogu, i u kojima je takva interakcija integralni deo pojave, nemoguće je u istom stepenu govoriti o mehanički dobro definisanom događanju pojave.

Slom uobičajenih fizičkih pogleda sa kojim se ovde srećemo na uzbudljiv je način izražen u teškoćama da se govori o svojstvima atomskih objekata nezavisno od uslova posmatranja. Zaista, elektronom se može nazvati naelektrisana materijalna čestica, pošto merenja njegove inercijalne mase uvek daju isti rezultat, i svaki prenos elektriciteta između atomskih sistema se uvek svodi na određen broj takozvanih elementarnih naelektrisanja. Uprkos tome, interferencioni efekti, koji se javljaju kada elektroni prolaze kroz kristale, nisu u skladu sa mehaničkim idejama o kretanju čestica. Srećemo odlike analogne onima u dobro poznatoj dilemi o prirodi svetlosti, pošto optičke pojave zahtevaju pojam prostiranja talasa, dok zakoni prenošenja momenta i energije u atomskim fotoefektima zahtevaju mehaničku koncepciju čestica.

Ova situacija, koja je nova u fizičkim naukama, tražila je obnavljanje analize primarnih pretpostavki za primenu pojmova koji se koriste za orijentisanje u našoj okolini. Naravno, u atomskoj fizici mi zadržavamo slobodu da eksperimentišući postavljamo pitanja prirodi, ali moramo priznati da su eksperimentalni uslovi, koji se mogu menjati na različite načine, određeni samo telima koja su toliko teška da se pri opisu njihove uloge može zanemariti kvant dejstva. Informacije koje se odnose na atomske objekte sastoje se isključivo od tragova koji oni ostavljaju na tim mernim instrumentima, kao što je, na primer, tačka izazvana udarom elektrona u fotografsku ploču postavljenu

u eksperimentalnom uređaju. Okolnost da su tragovi posledica ireverzibilnih efekata pojačanja daje pojavi izuzetno zatvoren karakter koji direktno ukazuje na ireverzibilitet u principu samog pojma posmatranja.

Posebnost situacije u atomskoj fizici je pre svega ipak u tome što informacija dobijena o atomskim objektima ne može biti shvaćena u okviru prilaza tipičnih za mehaničku koncepciju prirode. Sama činjenica da se pomoću jednog te istog eksperimentalnog uređaja mogu vršiti posmatranja koja odgovaraju različitim kvantnim pojedinačnim procesima nameće principijelno ograničenje na deterministički način opisa. Zahtev neograničene deljivosti na kome se zasniva opis klasične fizike je takođe nesaglasan sa onim svojstvom celovitosti u tipičnim kvantnim fenomenima zbog koga svaka dalja podela nameće promenu eksperimentalnog uređaja koja dovodi do novih pojedinačnih efekata.

Da bi se okarakterisao odnos među pojavama uočenim pod različitim eksperimentalnim uslovima, uveden je pojam komplementarnosti koji ističe da takve pojave zajedno iscrpljuju sve određive podatke o atomskim objektima. Daleko od toga da sadrži bilo kakvo proizvoljno napuštanje uobičajenog fizičkog objašnjenja, pojam komplementarnosti se direktno odnosi na naš položaj posmatrača u oblasti iskustva u kojoj jasna upotreba pojmova koji se koriste u opisu pojava bitno zavisi od uslova posmatranja. Matematičkim uopštenjem pojmovnog okvira klasične fizike bilo je mo-

guće razviti formalizam koji dopušta logično ugrađivanje kvanta dejstva. Ova tzv. kvantna mehanika ima direktno za cilj da formuliše statističke zakonitosti koje se odnose na podatke dobijene u dobro definisanim uslovima posmatranja. Kompletanost u principu ovoga opisa potiče od toga što su zadržane ideje klasične mehanike u meri koja uključuje svaku određivu promenu eksperimentalnih uslova.

Komplementarni karakter kvantno-mehaničkog opisa je jasno izražen u objašnjenju sastava i reakcija atomskih sistema. Tako, zakonitosti energetskih stanja atoma i molekula, koja određuju karakteristike spektara elemenata i valencije u hemijskim jedinjenjima, javljaju se samo u okolnostima kada je kontrola položaja elektrona u atomu i molekulu isključena. S tim u vezi interesirano je uočiti da se plodna primena strukturalnih formula u hemiji zasniva isključivo na činjenici da su atomska jezgra toliko mnogo teža od elektrona. Međutim, za stabilnost i transmutacije samih jezgara kvantno mehanička svojstva su opet odlučujuća. Samo u komplementarnom opisu koji prevazilazi okvir mehaničke koncepcije prirode moguće je naći mesto za osnovne zakonitosti koje su odgovorne za svojstva supstanci od kojih su sastavljena naša oruđa i naša tela.

Napredak u polju atomske fizike je, kao što je dobro poznato, našao široku primenu u biološkim naukama. Posebno, mogu da podsetim na objašnjenje izuzetne stabilnosti hemijskih struktura u ćelijama koje su odgovorne za nasledne osobine

vrsta, i na statističke zakone za pojavu mutacija izazvanih izlaganjem organizama posebnim uticajima. Potom, efekti pojačanja slični onima koji omogućuju posmatranje pojedinačnih atomskih čestica imaju odlučujuću ulogu u mnogim funkcijama organizma. Na taj način je naglašen ireverzibilni karakter tipičnih bioloških pojava, a smer vremena koji je tesno povezan sa funkcionisanjem organizama je upečatljivo prisutan u njihovom korišćenju iskustva pri reagovanju na kasnije stimulanse.

U ovom veoma podsticajnom razvoju moramo se baviti značajnom i praktično neograničenom primenom čistih fizičkih i hemijskih ideja u biološkim problemima, a pošto se kvantna mehanika javlja kao racionalno uopštenje klasične fizike, ceo prilaz se može nazvati mehanističkim. Pitanje je, međutim, u kome smislu je ovakav razvoj uklonio osnovu za primenu tzv. finalističkog argumenta u biologiji. Ovde moramo shvatiti da opis i razumevanje zatvorene kvantne pojave ne ispoljava nikakva svojstva koja ukazuju da je skup atoma u stanju da se prilagodi okolini na način koji opažamo da postoji u održavanju i evoluciji živih bića. Dalje, mora se naglasiti da je iscrpan kvantno-mehanički prikaz svih atoma koji se kontinuirano izmenjuju u organizmu ne samo neizvodljiv već bi zahtevao uslove posmatranja neusklađive sa postojanjem života.

Međutim, pouka o ulozi sredstava komuniciranja pri definisanju elementarnih fizičkih pojmova daje ključ za logičnu primenu pojmova stranih fizici

(svrsishodnost, na primer), ali veoma pogodnih pri opisu organiskih pojava. Zaista, u toj svetlosti jasno je da stavovi nazvani mehanistički i finalistički ne predstavljaju kontradiktorne poglede na biološke probleme, već pre naglašavaju međusobno isključiv karakter uslova posmatranja podjednako važnih u našem traženju što bogatijeg opisa života. Ovde, naravno, nema govora o objašnjenju sličnom klasičnom opisu funkcionisanja jednostavnih mehaničkih konstrukcija ili komplikovanih elektronskih računskih mašina, već je reč o proširenju one analize primarnih pretpostavki i dometa naših pojmovnih sredstava komuniciranja koja je postala toliko karakteristična za noviji razvoj fizike.

I pored svih razlika, s obzirom na uslove posmatranja, prenošenje iskustva u biologiji se nikako ne oslanja više na subjektivnog posmatrača nego što je to slučaj sa opisom fizičkog iskustva. Tako, do sada nije bilo potrebno da se bliže analiziraju uslovi posmatranja koji su karakteristični za opis psiholoških fenomena, za čije potrebe se ne možemo osloniti na pojmove razvijene radi naše orijentacije u neživoj prirodi. Međutim, činjenica da se svesno iskustvo može pamtit, te se dakle mora pretpostaviti da je povezano sa stalnim promenama u sastavu organizma, nameće da se uporede psihičko iskustvo i fizička posmatranja. S obzirom na odnose između svesnih iskustava, uočavamo takođe odlike koje podsećaju na uslove za razumevanje atomskih pojava. Bogat rečnik koji se koristi za saopštavanje stanja naše svesti

odnosi se zaista na tipično komplementaran način opisa, koji odgovara stalnoj promeni sadržaja na koji je usredsređena naša pažnja.

U poređenju sa proširenjem mehaničkog načina opisivanja, koje traži objašnjenje pojedinačnosti atomskih pojava, integritet organizma i jedinstvo ličnosti nas suočavaju, naravno, s daljim uopštenjem pojmovnog okvira radi racionalnije upotrebe naših sredstava komuniciranja. U tome smislu mora se naglasiti da se razlika između subjekta i objekta, nužna za nedvosmislen opis, zadržava tako što u svakoj komunikaciji koja sadrži pozivanje na nas same, mi, tako reći uvodimo novi subjekt koji nije deo sadržaja komunikacije. Teško da treba naglašavati da je baš sloboda da se izaberu razlika između objekta i subjekta ono što obezbeđuje prostor za raznolikost fenomena svesti i bogatstvo ljudskog života.

Stav prema opštim problemima znanja do koga nas je doveo razvoj fizike u ovome veku bitno se razlikuje od prilaza ovim problemima u Stensenovom vremenu. To ne znači, međutim, da smo napustili put ka sticanju znanja koji je on tako uspešno sledio. Mi smo shvatili da borba za lepotu i harmoniju, koja označava Stensenov rad, zadržava stalno preispitivanje pretpostavki i okvira naših sredstava komuniciranja.

SADRŽAJ

Zvonko Marić: Predgovor	— — — — —	9
-------------------------	-----------	---

ATOMSKA FIZIKA
I LJUDSKO ZNANJE

PREDGOVOR	— — — — —	19
-----------	-----------	----

UVOD	— — — — —	21
------	-----------	----

SVETLOST I ŽIVOT	— — — — —	25
------------------	-----------	----

Govor na otvaranju Međunarodnog kongresa o svetlosnoj terapiji u Kopenhagenu, avgusta 1932. Objavljen u *Nature*, 131, 421 (1933).

BIOLOGIJA I ATOMSKA FIZIKA	— — —	40
----------------------------	-------	----

Govor na Kongresu fizičara i biologa u znak sećanja na Luigija Galvanija, Bolonja, oktobra 1937.

PRIRODNA FILOZOFIJA I LJUDSKE KULTURE	— — — — —	55
--	-----------	----

Govor na Međunarodnom kongresu antropoloških i etnoloških nauka u Kopenhagenu održan na sastanku u zamku Kronborg, Elsinor, avgusta 1938. Objavljen u *Nature*, 143, 268 (1939).



DISKUSIJA SA EINSTEINOM O
EPISTEMOLOŠKIM PROBLEMIMA U
ATOMSKOJ FIZICI — — — — — 70

Prilog u *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. The Library of Living Philosophers, Inc., Evanston, Illinois, vol. 7, 1949, str. 199.

JEDINSTVO ZNANJA — — — — — 125

Govor održan u oktobru 1954. na konferenciji povodom dvestogodišnjice Kolumbija univerziteta u Njujorku. Objavljen u *The Unity of Knowledge*, Doubleday and Co., New York, 1955, str. 47.

ATOMI I LJUDSKO ZNANJE — — — — — 149

Govor održan na sastanku Danske kraljevske akademije nauka u Kopenhagenu, oktobra 1955.

FIZIKA I PROBLEM ŽIVOTA — — — — — 166

Članak završen 1957, a zasnovan na Stensensovom predavanju u Danskom lekarskom društvu, Kopenhagen, februara 1949.

1. Erih From: BEKSTVO OD SLOBODE
2. Lešek Kolakovski: FILOZOFSKI ESEJI
3. Pjer Frankstel: UMETNOST I TEHNIKA
4. Sergej M. Aizenštajn: MONTAZA ATRAKCIJA
5. ČOVEK DANAS, zbornik ogleda
6. H. Rajhenbah: RADANJE NAUČNE FILOZOFIJE
7. Nikola Milošević: ANTROPOLOŠKI ESEJI
8. Suzuki, From: ZEN BUDIZAM I PSIHOANALIZA
9. Norbert Viner: KIBERNETIKA I DRUŠTVO
10. Rože Kajoa: IGRE I LJUDI
11. Dejvid Risman: USAMLJENA GOMILA
12. Klod Levi-Stros: DIVLJA MISAO
13. Bertolt Brecht: DIJALEKTIKA U TEATRU
14. M. Frichand: ETIČKA MISAO MLADOG MARKSA
15. Ernst Bloch: TUBINGENSKI UVOD U FILOZOFIJU
16. Roman Jakobson: LINGVISTIKA I POETIKA
17. M. Bahtin: PROBLEMI POETIKE DOSTOJEVSKOG
18. Adam Šaf: MARKSIZAM I LJUDSKA JEDINKA
19. Teodor Adorno: FILOZOFIJA NOVE MUZIKE
20. Karl Manhajm: IDEOLOGIJA I UTOPIJA
21. Zan Pijaže: PSIHOLOGIJA INTELIGENCIJE
22. Jovan Hristić: OBLICI MODERNE KNJIZEVNOSTI
23. Sreten Marić: GLASNICI APOKALIPSE
24. F. de Sosir: OPŠTA LINGVISTIKA
25. Z. P. Sartr: EGZISTENCIJALIZAM I MARKSIZAM
26. Luj Altise: ZA MARKSA
27. R. Bart: KNJIZEVNOST. MITOLOGIJA. SEMIOLOGIJA
28. Zan Pijaže: MUDROST I ZABLUDE FILOZOFIJE
29. Fung Ju-Lan: ISTORIJA KINESKE FILOZOFIJE
30. Mišel Fuko: RIJEČI I STVARI
31. Noam Comski: GRAMATIKA I UM
32. D. Bom: UZROČNOST I SLUČAJNOST U SAVREMENOJ FIZICI
33. Verner Hajzenberg: FIZIKA I METAFIZIKA
34. Ranko Bugarski: JEZIK I LINGVISTIKA
35. Boris Ejhenbaum: KNJIZEVNOST
36. Mikel Difren: ZA ČOVEKA
37. Stefan Barker: FILOZOFIJA MATEMATIKE
38. Jan Kot: JEDENJE BOGOVA
39. P. Francstel: STUDIJE IZ SOCIOLOGIJE UMJETNOSTI
40. Tomas Kun: STRUKTURA NAUČNIH REVOLUCIJA
41. Walter Benjamin: ESEJI
42. Stefan Moravski: PREDMET I METODA ESTETIKE
43. Fredrik Džejmson: MARKSIZAM I FORMA
44. Anri Lefevr: URBANA REVOLUCIJA
45. Pol de Man: PROBLEMI MODERNE KRITIKE
46. G. H. von Wright: OBJAŠNJENJE I RAZUMEVANJE
47. FENOMENOLOGIJA, zbornik
48. Jirgen Habermas: SAZNAVANJE I INTERES
49. Roman Ingarden: DOŽIVLJAJ, UMETNIČKO DELO I VREDNOST
50. G. della Volpe: KRITIKA UKUSA