

POVOD

ALBERT AJNŠTAJN

Arhe, II, 4/2005.
UDK 111.5
Originalni naučni rad

MIRKO AĆIMOVIĆ
Filozofski fakultet, Novi Sad

APSOLUTNI PRINCIP TEORIJE RELATIVITETA AJNŠTAJN I NJUTN

Apstrakt: Filozofski osnovi Ajnštajnovе koncepcije prostor-vremena i kretanja, kao temeljnog podignuća znanja o ovome u području matematičke fizike i na njoj zasnovane kosmologije, pretpostavljaju razlike u teorijskim stavovima euklidske geometrije i neeuklidskih geometrija, te njihove odnose prema nauci fizike i kosmologiji, a to i stoji u temelju razlikovanja njutnovske klasične koncepcije o prostoru, vremenu i kretanju od koncepcije o ovim pojmovima unutar teorije relativiteta.

Osnovna se teza ovde, dakle, provodi o razlici između Njutnovog *ograničeno apsolutnog* prostora i vremena i Ajnštajnovog *apsolutno relativnog* prostorvremena.

Ključne reči: materija, kretanje, prostor-vreme.

I

1. Istorijsko iskustvo opšteg filozofskog mišljenja ontologije prirode teorijski se sabira u stavu da je materija sva predmetna stvarnost, a prostor, vreme i kretanje načini njenoga postojanja. Opštoj svesti u filozofiji prostor i vreme su prostor i vreme. Toj svesti, prostor i vreme su suštine, supstrati, atributi, uslovi i odnosi formi bića, akcidenције, supstancije, oblici i načini postojanja materije, koji, s kretanjem, sačinjavaju svo postojanje. Apstrahovanim mišljenjem deduktivno se zatim izvodi misao o neodvojivosti prostora, vremena i kretanja od materije, i u toj sveopštoj spletenosti postoji sva stvarnost kao objektivni fizički svet.

Ničega dakle nema da ga ima ni od čega, nigde i nikad, niti igde i nekad može biti ničeg.

Ali kako ovo uopšte jeste, dakle, šta znači nerazdruživost materije, kretanja, prostora i vremena, te kako je moguće prostorno, vremensko i kinetičko postojanje materije? To *kako* onome *da* bitno je određenje, ono je način na koji su materija, kretanje, prostor i vreme u međusobnoj određenosti međusobnim nesvodivostima jedinstvenog i jedinog jednog, koje time jeste sve.

2. Prema kategorijalnom određenju pojmom elementa, materija je mišljena u svojoj predmetnoj sadržini (od *arhe*, *ousia*, *stoiheion* i *hyle* do elementarnih čestica) poglavito kao stvar, svojstvo i objektivna stvarnost. Pobljiže gledano, materija je mišljena kao suština bića, kao sveopšte, supstrat, supstancija, prvo načelo, jedinstvo sveta, spoljašnji svet, zatim kao logička apstrakcija, ishodni pojam, prvi i konačni pojam nauke i filozofije.

Pokazalo se u eksperimentalnoj fizici međutim da su masa, energija, magnetizam i elektricitet fundamentalna fizička, i time sva svojstva materije, da je materija svoj vlastiti supstancijalni prostornovremenski proces elementarnih čestica i polja, te da je tek time materija suština, pojava, sadržaj, oblik, stvar, stanje, proces, svojstvo i odnos sveopšteg sistema prirode. Ili, što je sasvim isto, materija je čestica, talas, polje i sila prirode, time *arhe*, *ousia*, *stoiheion* i *hyle* onoga što jeste *physis*.

Kretanje, prostor i vreme, kao fizički procesi materije, sasvim dakle apsolutno postoje, a sva stvarnost materije ne raspada se na od sebe same istrgnuta stanja vlastitih ekstrema. Svi oblici kretanja, prostora i vremena samo su raznoliki momenti procesa materije, njenih stanja i odnosa, stoga oni nisu svojstva materije kao od nje nezavisni apstraktni entiteti, s kojim materija *stupa* u stanje odnosa, čiji je onda rezultat proces, niti su opet to neka fizička stanja u koja *se otpušta* materija, ili *koja otpušta* materija, ili pak stanja čija postojanja materija *dopušta* kao tvorac prvim aktom postajanja i prvim impulsom stavljanja stvari prirode u proces.

Priroda je dakle proces materije. Da je priroda sveopšti proces, kretanje, prostor i vreme, posvedočili su već predplatonski filozofi prirode svojim opštim zapažanjima o nastajanju i nestajanju svih stvari, o promenama, razvitku i tokovima postojanja svih prirodnih bića u onome što jeste kosmos, ili uređeni poredak sveta. Ali se tek s Njutnom i onda s Ajnštajnom postavila najviša tačka podignuća mišljenja ka fizičkoj slici univerzuma; dakle, sistem sveta i jeste fizička stvarnost apsolutnog jedinstva prirode.

Ovde se ova stvarnost razmatra preko razlike između Njutnovog *ograničeno apsolutnog* prostora i vremena i Ajnštajnovog *apsolutno relativnog* prostorvremena.

II

1. U *Philosophia naturalis principia mathematica* razmatrani su kod Njutna pojam poreklo, priroda i zakoni kretanja, u kontekstu opšte filozofske postavke o unutrašnjoj strukturi sveta, sastavljenog od materije, kretanja i prostora. Materija je beskonačni broj raznolikih, međusobno razdvojenih, tvrdih i nepromenljivih čestica, koje sačinjavaju tela koja se kreću, a kretanje je zapravo stanje materijalnih tela koje se odvija kao premeštanje u beskonačnom praznom prostoru. Otuda je nužno razlikovanje apsolut-

nog od relativnog kretanja, kao što je nužno razlikovanje apsolutnog i relativnog prostora, isto tako i vremena. Po Njutnu, dakle, apsolutno kretanje je pomeranje tela sa jednog apsolutnog mesta na drugo apsolutno mesto, a relativno kretanje je pomeranje tela sa jednog relativnog mesta na drugo relativno mesto. Kako je sve u vremenu što se odnosi na redosled a sve u prostoru što se odnosi na položaj, pri čemu su sva primordijalna mesta nepokretna, to su onda sva mesta apsolutna mesta a njihova pomeranja apsolutno kretanje. Sile koje imaju tela razlučuju apsolutno od relativnog kretanja.

Ovo su metafizičke postavke o oblicima kretanja, i iz njih ne proizilaze Njutnovi zakoni kretanja, koji međutim proizilaze iz empirijskih istraživanja fizičke nauke mehanike. Prema prvom zakonu, svako telo ostaje u stanju mirovanja ili ravnomernog pravolinijskog kretanja sve dok ne bude prinuđeno da delovanjem sila promeni to stanje. Prema drugom zakonu, promena količine kretanja srazmerna je primenjenoj pokretačkoj sili i vrši se u pravcu delovanja te sile. Naposljetku, po trećem zakonu kretanja, svakoj akciji odgovara njoj jednaka i suprotna reakcija, odnosno, međusobna delovanja dva tela jednaka su među sobom a upravljena prema suprotnom smeru. Reč je dakle o zakonima inercije, količine kretanja i jednakosti akcije i reakcije, zakonima koji su prepoznatljivi kod Galileja i Dekarta, ovaj treći već i kod Aristotela.

Modernijim jezikom fizike rečeno, prvi Njutnov zakon odnosi se na kretanje izolovane materijalne tačke, ili slobodnog tela, naime, izolovana materijalna tačka kreće se ravnomerno i pravolinijski, tako da je njen impuls konstantan. Drugim rečima, slobodno telo, kao izolovana materijalna tačka, kreće se ili konstantnom brzinom ili miruje u odnosu prema nekom referentnom sistemu, što zavisi od svojstava prostora i vremena, pa, prema ovome, ako je materijalna tačka izolovana u jednom inercijalnom referentnom sistemu, biće takođe izolovana i u svim drugim inercijalnim referentnim sistemima. Drugi Njutnov zakon kretanja govori o vezi brzine promene impulsa i ukupnog delovanja svih objekata na materijalnu česticu, jer, brzina promene impulsa materijalne tačke jednaka je rezultanti svih sila koje na nju deluju. Stoga se principijelno može izračunati položaj i brzina materijalne tačke u bilo kom drugom trenutku vremena ako su poznate vrednosti položaja i brzine u nekom trenutku vremena. U međusobnom delovanju dve materijalne tačke, njihove sile imaju jednake intenzitete, isti pravac a suprotan smer, pri čemu je promena brzina materijalnih tačaka obrnuto proporcijalna njihovim masama, što zapravo i iskazuje treći Njutnov zakon kretanja.

Ali ništa se određeno ne kaže kada se kaže kako će telo ostati u stanju mirovanja ili jednolikog pravolinijskog kretanja ukoliko nije prinuđeno da promeni svoje stanje pod dejstvom sila. To je u nekom smislu samo prikrivena definicija kretanja, ili samo konvencija, ili pak opšta hipoteza koja zahteva eksperimentalnu potvrdu. Takođe, Njutnov drugi aksiom kretanja u nekom smislu je definicija termina sila, on je metodološko pravilo ili upustvo za istraživanje kretanja tela. Ovo je već prigovorio i Ernest Nejjel svojim logičkim preispitivanjima mehanike, preko Njutnovih zakona kretanja. Izvesno je, kaže Nejjel, da se aksiomi kretanja, kao uostalom i inherentni prioritet mehanike uopšte, ne mogu dokazati apriornim rasuđivanjem: kako aksiomi nisu induktivne generalizacije, to se onda ne mogu ni dokazati niti opovrgnuti na osnovu eksperimentalnih činjenica. Aksiomi, nadalje, nisu apriorne istine za koje ne postoje logičke alternative, stoga se o njima može govoriti kao o shemama u analizi kretanja tela, takođe i kao o

definicijama izvesnih eksperimentalnih pojmova, ili kao o iskazima s određenim empirijskim sadržajima. Aksiom nema empirijsku sadržinu sam po sebi, nego na osnovu teorije kojoj pripada, s drugim aksiomima.

Dakle, za Njutna je kretanje poglavito promena mesta materijalnih tela u prostoru, ali samo kretanje ne proizilazi iz unutrašnje prirode materije, koja je inertna, nego od delovanja sila, agensa, prema zakonima. Ovo je zapravo metafizičko priznanje boga kao prvog pokretača sveg fizičkog kretanja. Ali, na osnovu ovih Njutnovih zakona Ojler, Maklorin, Lagranž i Hamilton postavili su svoje matematičke jednačine kretanja, preinačenjem posebno Njutnovog drugog zakona. Tako je jednačina kretanja, prema Ojleru, po kome je mehanika analitička nauka o kretanju, $dc=npdt/A$, ili, ako se pravac kretanja tačke podudara s pravcem sile, onda je porast brzine proporcionalan proizvodu sile i vremena, podeljenim sa masom tačke.

2. Shodno određenjima apsolutnog i relativnog kretanja, Njutn je u *Principia* razlučio apsolutno i relativno pojmovno važenje prostora i vremena, premda tek u jednom *scholiumu*, kako bi usput naznačio smisao ovih pojmova koji su, po svojoj prilici, opšte poznati. Pre toga je, u Definicijama, mesto određeno kao deo prostora koji jedna stvar ispunjava, telo kao ono što to mesto ispunjava, mirovanje kao ostajanje na jednom mestu a kretanje kao promena mesta. Dakle, Njutn razlikuje apsolutno, matematičko, istinsko vreme koje, po svojoj prirodi, ravnomerno teče bez odnosa prema bilo čemu spoljašnjem, a koje se zove trajanje, od relativnog, prividnog i običnog vremena koje je zapravo čulna i spoljašnja mera jednog dela nekog trajanja, uzetog od kretanja, a te su mere čas, dan, mesec, godina, kojima se obični svet služi umesto istinskim vremenom. Shodno ovome, apsolutni prostor, po svojoj prirodi i bez odnosa prema bilo čemu spoljašnjem, ostaje uvek isti i nepokretan, a relativni prostor je ona mera ili pokretna dimenzija apsolutnog prostora koja se čulno određuje na osnovu međusobnih odnosa tela.¹ Dakle, u prostoru se sve stvari prirode raspoređuju prema redu položaja, u vremenu se pak sve stvari raspoređuju prema redu sledovanja, a to su zapravo prazna bića koja postoje u apsolutnoj međusobnoj nezavisnosti.

Ali apsolutni i relativni prostor jedan je te isti prostor po vrsti i veličini, ne međutim i po broju, budući da je apsolutni prostor jedan i jedinstven, time po fizičkom statusu sveobuhvatni svemirski koordinatni sistem trodimenzionalne euklidske geometrije, a relativni je prostor mnoštven, jer se tela nalaze u prostoru koji se onda nalazi u drugom prostoru, ovi opet u nekom sledećem prostoru...

Njutn se ovim ponešto razlikuje od Dekarta. Samo je bog kao savršeno biće beskrajnost prostora, i vremena, i ta savršena beskonačnost kartezijanskog boga nije njutnov-

¹ Prema, *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy*, University of California Press, Berkeley, 1934., p. 6. (Takode, ruski prevod s latinskog Исаак Ньютон, *Математические начала натуральной философии*, Наука, Москва, 1989).

Izvorno: Spatium absolutum, natura sua sine relatione ad externum quodvis, semper manet simile & immobile (*Definitiones, Scholium II*). Tempus absolutum, verum & mathematicum in se & nature sine relatione ad externum quodvis, aequabiliter fluit aliq̄ue nomine dicitur duratio (*Def., Scholium III*). Tome odgovara odredba apsolutnog kretanja, dakle: Motus absolutus est translatio corporis de loco absoluto in locum absolutum (*Def., Scholium III*).

ski apsolutni prostor i apsolutno vreme, premda se radi o podudarnosti nekih svojstva boga s onim što prostor i vreme jesu prema svojoj supstanciji. Određenije, ni jedno biće niti postoji niti uopšte može da postoji izvan i nezavisno od prostora, ne postoji dakle nešto što se ne nalazi ili svuda ili negde, a bog je svuda, materijalna tela negde. Isto je i s vremenom, jer paralelni su putevi prostora i vremena: bog je uvek i svuda, kako svojim delovanjem tako i svojom supstancijom. Ali večnost vremenskog trajanja i beskonačnost prostorne prisutnosti atributi su božjeg postojanja, tako da njutnovski pojmovi apsolutnosti prostora, vremena i kretanja imaju neka od svojstava kartezijanskog boga, premda nisu kartezijanski bog. Kod Njutna je apsolutni prostor *sensorium* boga, jer je, kao i bog, sveprisutan, tako da bog čuje, vidi i oseća fizički svet, koji je time telo njegovog postojanja. No fizičko telo boga i bog sam po sebi nije sasvim isto, dakle apsolutni prostor nije, time, bog, premda ima svojstva božjeg postojanja. Otuda ne stoji Lajbnicova opaska prema kojoj je Njutn poistovetio boga i prostor, iz čega onda sledi da i bog ima delove, jer je sasvim jasno kako se Njutnov apsolutni prostor ne odnosi ni na šta što na bilo koji način uopšte jeste. Time međutim nije rečeno kako prostor i vreme nisu objektivna stvarnost.

Ovakvo shvatanje apsolutnog prostora Maks Born je s pravom nazvao „ograničeno-apsolutnim prostorom”, jer stav o relativnosti mehaničkih pojava bitno ograničava fizičku realnost toga pojma.² Bez nužnosti pretpostavke postojanja apsolutnog prostora i vremena zakon inercije uopšte nema smisla, ali je pitanje da li tim pojmovima pripada fizički pojam realnosti, ne dakle filozofski pojam: naime, u običajima nauke fizike ne stoje uverenja prema kojima se svojstvo realiteta pripisuje naprimer apsolutnom prostoru u kome ne postoje mesta. Tako „Njutnov apsolutni prostor već gubi znatan dio svoje neprijatne egzistencije”³, pa stoga valja poraditi na izmeni klasičnog principa relativnosti, budući da mirovanje koordinatnog sistema u apsolutnom prostoru očito je fizički bez smisla. Uvođenjem pojma *inercijalni sistem* umesto pojma prostor, pod kojim se podrazumeva beskonačno mnogo sistema referencije koji su sasvim ravnopravni, klasični princip relativnosti ima odredbu, po kojoj postoje beskonačno mnogo ravnopravnih inercijalnih sistema, koji su relativno jedan prema drugom u kretanju translacije, i u kojima vrede zakoni mehanike u svom jednostavnom klasičnom obliku. A prema ovome, dakle, ne nameće prostor stvarima svoj oblik, nego stvari i njihova fizička svojstva određuju oblik; ovakvo gledanje, po sudu Maksa Borna, svoje krajnje postignuće doseže u Ajnštajnovoj opštoj teoriji relativiteta.

Njutn je prikazao pojmovnu analogiju materije, prostora, vremena i kretanja, ali je ipak njihov ontološki status razmatrao prevashodno kao matematičke pojmove o stvarima u njihovoj međusobnoj fizičkoj razdvojenosti. Prostor je mesto materije, čijoj inertnosti pridolazi od nje nezavisna moć sile, tako je materija nezavisna stvarnost od prostora i kretanja, onda i od vremena. Fizički status univerzuma kao sistema sveta materije, prostora, vremena i kretanja prikazan je kao koordinatni sistem trodimenzionalne euklidske geometrije, s međusobno nezavisnim entitetima istrgnute stvarnosti.

2 Born, M.: *Einsteinova teorija relativnosti i njezini fizički osnovi*, Zagreb, 1948., str. 46.

3 *Ibid.*, str. 47.

III

Po Ajnštajnovom sudu, kod Njutna dominira predstava o fizičkoj stvarnosti kao materiji i njenim realnim formama postojanja, a to su dakle kretanje, prostor i vreme. Osim ovih oblika realnosti postoji i pokretačka sila kao nezavisna stvarnost, koja deluje između čestica, čiji se prostorni raspored podčinjava nepromenljivom zakonu. Ali, tek je opšta teorija relativnosti tačna teorija gravitacionog polja, a teorija polja, koja predstavlja, s moje tačke gledišta, kaže Ajnštajn, najdublju koncepciju teorijske fizike od vremena Njutnovog zasnivanja, nastala je u Faradejevom umu.⁴ U jednom svom predavanju⁵ Ajnštajn određenije govori o rascepljenosti do tada jedinstvenih pojmova u fizičkoj nauci, u kojoj jedna grana pripada kvantnoj teoriji a druga relativističkoj teoriji polja. Naime, ova druga grana mogla bi se razviti iz ideja Faradeja i Maksvela o zameni pojmova mase pojmom elektromagnetnog polja. Bez njihovog uvođenja pojma elektromagnetnog polja teorija relativiteta ne bi bila moguća, a taj pojam, po Ajnštajnovom sudu, vodi ka pojmu gravitacionog polja. Tako su nastale specijalna i opšta teorija relativiteta, s kojima se međutim ne dovršava potraga za jedinstvenim zakonima materije: trebalo bi, dakle, naći strukturu prostora koja odgovara uslovima i relativističke teorije polja i kvantne mehanike.

A to zapravo i jeste skraćeni put za nacrt o Ajnštajnovoj potrazi za jedinstvenim zakonom prirode.

1. Odnosima kretanja, prostora i vremena Ajnštajnova kinematika, prikazana principima relativnosti i konstantnosti brzine kretanja svetlosti, privela je u nauku filozofije uverenje da vremensko trajanje postojanja zavisi od brzine kretanja, da je dakle trajanje duže što se telo svojom brzinom kretanja približava brzini kretanja svetlosti. Dakle, tajna dugovečnosti jeste u kretanju.⁶ Kretanje je Ajnštajn razmatrao kroz jedinstvo suprotnosti prostor-vreme i masa-energija. Središte interesa pomerio je sa elektrodinamike tela koja miruju, koga se držao Maksvel, ka elektrodinamici pokretnih tela. Rezultat ovoga je teorija kretanja elektromagnetnog polja, shvaćenog kao posebni oblik materije, kao dakle fizička stvarnost. Ajnštajn je sa stanovišta fizike prikazao kretanje kao jedinstvo protivrečnosti prostor-vremena i mase-energije, time je objedinjenjem prevladao pređašnja mišljenja koja su kretanje razmatrala preko međusobno isključivih pojmova prostora i mase, i vremena i energije. Svoju koncepciju Ajnštajn je izrazio i jedinačinom zakona ekvivalentnosti mase i energije. A kako, prema opštem stanovištu teorije relativiteta, fizički nisu moguća kretanja brzinom većom od brzine svetlosti, to je onda ovo kinematički neprekoračiva granica. Suština jedne takve kinematike ne sastoji se samo u ideji o nerazdvoživosti materije i kretanja, nego i prostora i vremena, jer svet je četvorodimenzionalna raznolikost, u kome su prostor i vreme oblici poretka svetskih

4 **Einstein:** *Über den gegenwärtigen Stand der Feldtheorie*, u knjizi „Festschrift zum 70 Geburtstag von Prof. Dr. A. Stodola“, Zürich, 1929., pp. 126-132.

5 *Gegenwärtiger Stand der Relativitätstheorie*, Pädagogischer Führer, 8/1932., pp. 440-442. Sistematsko izlaganje o ovome u Ajnštajnovoj i Infeldovoj knjizi „The Evolution of Physics: the Growth of Ideas from Early concepts to Relativity and Quanta“, N.Y., 1938.

6 Salam: *Ujedinjenje temeljnih sila prirode*, ŠK, Zagreb, 1995., str. 20.

tačkaka, dakle *prostor-vreme*.

2. Euklid je svojim *Elementima*, koji su predloženi kao sistem grčkog iskustva matematičkog mišljenja, postavio osnov aksiomatičari geometrije i na njoj onda zasnovane fizike. *Elementi*⁷ izražavaju filozofski stav grčkog mišljenja o jedinstvenosti jednog sveta, kome je geometrija matematički prikaz fizičkog stanja stvari, dakle Euklidova geometrija jedan je oblik teorijske fizike onoga dobnog mišljenja prirode. Aksiomi geometrije se ne dokazuju jer se i ne mogu dokazati, to su dakle apsolutne, nesumnjive istine kojima se dokazuju svi iz njih ili na osnovu njih izvedeni geometrijski zakoni matematičkog mišljenja. Jer, nema se šta dokazivati u stavu da su stvari koje su jednake istoj stvari jednake i međusobno (prvi aksiom), ili u stavu da ako se jednako dodaje, ili oduzima, jednakom celine su jednake (drugi i treći aksiom), ili pak u stavovima o jednakosti stvari koje se međusobno podudaraju (četvrti aksiom), i da je celina veća od svog dela (peti aksiom).

Isto su tako očigledne istine i postulati, koji se, u razlici prema aksiomima kao opštim pojmovima o jednakosti veličina, odnose na određene stvari geometrije, na linije, uglove, figure. Tako, može se povući jedna prava linije od bilo koje tačke do bilo koje druge tačke (prvi postulat); svaka konačna prava linija može se neprekidno produžavati u pravu liniju (drugi postulat); ako su dati tačka i duž onda se može opisati krug sa tom tačkom kao centrom i tom duži kao poluprečnikom (treći postulat); svi pravi uglovi su međusobno jednaki (četvrti postulat); najzad, ako prava seče dve prave tako da je zbir dva unutrašnja ugla na jednoj strani prave manji od dva prava ugla, onda se te dve prave seku sa te strane prave koja ih preseca (peti postulat). Ovome zatim definicije pridone nose pobliža određenja pojedinačnim pojmovima geometrije, tako je, između ostalog, tačka ono što nema delova, linija je dužina bez širine a površina ono što ima dužinu i širinu, a onda teoreme prikazuju aksiomima i postulatima dokazane zakone geometrije. Za stvar geometrije prostora, ili stereometrije, od značaja su u *Elementima* knjige 11, 12 i 13, u kojima se raspravlja o osnovnim prostornim figurama, dakle o krugu, sferi, piramidi, kupi i naposljetku o pravilnim poliedrima, ili takozvanim Platonovim telima, znači o tetraedru, kocki, oktaedru, dodekaedru i ikosaedru.

Euklid je dakle prikazao deduktivni, aksiomatski sistem geometrije, jedno, tada, najviše naučno znanje o prirodi prostora. Taj sistem zasnivao se na uverenju u očiglednost istina, zato su njegovi stavovi interpretirani kao univerzalni, nesumnjivi, apriorni i sintetički, kako ih je naprimer smatrao Kant, koji se držao teze da je euklidska geometrija, svojim sintetičkim apriornim znanjem, prikaz prostornih oblika sveta kako se on pojavljuje subjektu spoznaje, ne međutim kakav je on sam po sebi, jer to kakav je po sebi i ne može biti predmet spoznaje. Pre Kanta je i Njutn euklidski sistem geometrije smatrao konačnim, apsolutnim sistemom matematičkog znanja, na čemu je onda i zasnovao svoj matematički sistem fizičkog sveta.

3. Ali potonji odnos matematičkog mišljenja prema, prevashodno, petom postulatu postavio je teorijski razlog zasnivanju novih, neeuklidskih sistema geometrije. Do

7 Euklid: *Elementi*, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd.

zasnivanja neeuklidskih sistema geometrija bilo je naravno različitih pokušaja dokazivanja, izvođenja ili osporavanja petog postulata, tako je naprimer neoplatonik Proklo (znatno posle njega i Plejfer) ponudio ekvivalentno određenje petog postulata, premda pogrešno, rekavši da kroz tačku izvan prave postoji samo jedna prava paralelna s tom pravom, a onda je Sakeri, metodom *reductio ad absurdum*, u nameri da dokaže kako je peti postulat lažan dokazao zapravo neke teoreme koje se bile bitno različite od euklidovskih, što je i bio nagoveštaj mogućnosti novih neeuklidskih sistema geometrije. Na sličnim stavovima o odnosu prema petom postulatu, premda ne i njegovom rešenju, bili su zatim Lambert i Ležandr, gde je ovaj poslednji takođe ponudio ekvivalent petog postulata, naime zbir uglova u trouglu jednak je zbiru dva prava ugla.

Tek je Gaus matematički omogućio rad onima s kojima će otpočeti istraživanja na zasnovanju sistema neeuklidskih geometrija, uvidevši prethodno logičku mogućnost neeuklidske geometrije kao opisa Sakerijeve hipoteze o oštrom uglu, ali je njegov lični doprinos raspravi o petom postulatu neuspešan. Eksperimentalnim proveravanjima pomoću merenja zraka svetlosti kao strana geodezijskog trougla, Gaus je ustanovio da zbir uglova takvog trougla ne daje dva prava ugla, iz čega sledi, ili da se euklidska geometrija ne odnosi na iskustvene odnose stvari u prostoru, ili pak da se ona na to odnosi ali da se svetlost ne rasprostire pravolinijski. Najkraće rastojanje između dve tačke, kojim se u euklidskoj geometriji određuje prava, zavisi po Gausu od zakrivljenosti površine u kojima su te tačke: ako se radi o euklidskoj ravni, kao sfere s beskonačnim poluprečnikom, onda je zakrivljenost površine jednaka nuli, ako se pak radi o sferi s konačnim poluprečnikom onda je zakrivljenost konstantno pozitivna, dok sedlasta površina kao deo površine neke sfere ima konstantnu negativnu zakrivljenost. Dakle, zakrivljenost je svojstvo površina, od kojeg i zavise geodezijske linije, ili najkraća rastojanja između dve tačke u takvom prostoru.

Kao naučni sistem logički neprotivrečnog matematičkog znanja neeuklidska geometrija otpočinje zapravo s apsolutnom geometrijom Lobačevskog, premda su njegova matematička istraživanja slična s tadašnjim istraživanjima Janoša Boljajija, za koja i nije znao. Lobačevski je uradio ono što se tada smatralo logički protivrečnim, prihvatio je sve aksiome euklidske geometrije osim petog postulata, koga je zamenio postulatom da se kroz jednu tačku može povući više paralela s datim pravcem, ili, što je sasvim isto, kroz tačku izvan prave postoje bar dve prave koje su paralelne s datom pravom. Ali iz ovoga slede zatim logički neprotivrečne teoreme jedne sasvim nove geometrije, isto tako logički neprotivrečne kao i euklidska geometrija. Do drugog oblika takođe logički neprotivrečne neeuklidske geometrije došao je i Riman, uopštavanjem Gausovog pojma zakrivljenosti na trodimenzionalni prostor. Radi se o sfernoj geometriji triju dimenzija, u kojoj nema petog postulata i prvog aksioma euklidske geometrije, što znači da kroz dve tačke prolazi samo jedan pravac, premda ima slučajeva da kroz dve tačke prolazi beskonačno mnogo pravaca.

Trebalo je sada dokazati logičku neprotivrečnost svih ovih geometrija: prvo je Beltrami ponudio model dvodimenzionalne ravni geometrije Lobačevskog u trodimenzionalnom prostoru euklidske geometrije, dokazujući tako da je geometrija Lobačevskog samo deo euklidske geometrije, a onda je Klajn ustvrdio da su euklidska geometrija i geometrija Lobačevskog ekvivalentne: euklidska geometrija je neprotivrečna ako i

samo ako je neprotivrečna geometrija Lobačevskog, i obrnuto.

Dakle, u euklidskoj geometriji sve oblasti prostora su nulte zakrivljenosti, u geometriji Lobačevskog sve oblasti prostora imaju konstantnu negativnu zakrivljenost, a Rimanova geometrija razmatra prostor u kome sve njegove oblasti imaju konstantnu pozitivnu zakrivljenost. Nadalje, u euklidskoj geometriji kroz datu tačku prolazi samo jedna paralela datom pravcu, a broj uglova trougla jednak je zbiru dva prava ugla; u geometriji Lobačevskog broj takvih paralela je beskonačan, dok je zbir uglova manji zbira dva prava ugla; u Rimanovoj pak geometriji uopšte nema takvih paralela, a zbir uglova trougla veći je od zbira dva prava ugla. Ali, u zavisnosti od definicije dužine krivulje može se govoriti o Rimanovim geometrijama, unutar kojih je Rimanova geometrija samo jedan mogući slučaj. Uz ovo, Hilbert je konstruisao *nearhimedske* geometrije, odbacivanjem Arhimedovog zakona, po kome će svaka dužina pomnožena dovoljno velikim celim brojem premašiti bilo koju drugu zadatu dužinu, bez obzira na njenu veličinu, tako prostor nije više kontinuum drugog nego trećeg reda. On je dokazao teoremu o nepostojanju površine konstantne negativne zakrivljenosti bez singulariteta, a prostor je shvatio kao prebrojivo beskonačno dimenzionalni metrički prostor, matematički prikazan svim realnim nizovima s konvergentnim zbrojem kvadrata članova.

Upoređujući sve ove različite koncepcije geometrijskih sistema, Poenkare je zaključio kako je euklidska geometrija najpogodnija jer je najjednostavnija i jer se prilično dobro slaže sa svojstvima prirodnih čvrstih tela.⁸ Drugim rečima, ljudski um se prirodnim odabiranjem prilagodio uslovima spoljašnjeg sveta, pa je usvojio onu geometriju koja je za vrstu najkorisnija i najpogodnija, dakle jedna geometrija ne može biti istinitija od neke druge nego samo pogodnija, geometrija nije istinita, već korisna (*Znanost i hipoteza*, str. 47, 72). To Poenkare kaže sa stanovišta svog konvencionalizma, prema kome geometrijski aksiomi nisu ni sintetički sudovi a priori ni eksperimentalne činjenice, nego konvencije, između kojih se bira ona koja je vođena prema eksperimentalnim činjenicama i koja u sebi nije logički protivrečna.

Tako je moguće razlikovati npr. perceptivni prostor, koji se pojavljuje u trostrukom obliku, vizuelnom, taktilnom i motoričkom, od geometrijskog prostora, koji je kontinuiran, beskonačan, trodimenzionalan, homogen i izotropan, jer su mu sve tačke međusobno jednake, kao što su jednaki i svi pravci koji prolaze kroz istu tačku. A da li su ovi prostori euklidski ili neeuklidski po istinitosti, to i nema nekakvog smisla, stvar je izbora, koji je i proizvoljan, pa tako kako se zamišlja neeuklidski trodimenzionalni svet može se zamisliti i četvorodimenzionalni svet. Četvorodimenzionalni prostorni svet razmatrao je posebno Minkovski, bez čijih bi zamisli, po ondašnjem Ajnštajnovom sudu, opšta teorija relativiteta bila još u povoju, on je naime u svom predavanju *Raum und Zeit* ponudio geometrijsku interpretaciju specijalne teorije relativiteta, rekavši pritom kako su prostor i vreme, uzeti za sebe, osuđeni da izblede u puke senke, te da će jedino njihovo jedinstvo sačuvati nezavisnu stvarnost.

4. Dakle, neeuklidske geometrije, prevashodno hiperbolička, sferna i eliptička, postale su matematički osnov u izgradnji fizičke slike prostornog sveta. Trodimenzional-

8 Poinkaré: *Znanost i hipoteza*, Globus, Zagreb, 1989., str. 47.

nom prostornom svetu Ajnštajn je vreme stavio za četvrtu dimenziju, i taj četvorodimenzionalni svet jeste zapravo svet prostorno-vremenskog kontinuuma prema teoriji relativiteta.

Ajnštajnov stav o geometriji, njenom odnosu prema istini, iskustvu i fizici, sabira se, u najkraćem, u mišljenje da pojam istine nije prikladan u čistoj geometriji jer se geometrija ne zanima odnosom svojih pojmova prema predmetima iskustva nego njihovom međusobnom logičkom vezom.⁹ Ili, istinitost geometrijskih postavki svodi se na pitanje o istinitosti aksioma, koje međutim nema nikakvog smisla, jer ne može se dovesti u pitanje istinitost aksioma euklidske geometrije koji kaže, naprimer, kako kroz dve tačke prolazi samo jedan pravac. Ali, navikom mišljenja misli se da geometrijski pojmovi odgovaraju predmetima u prirodi, koji su u konačnom i uzroci nastajanja geometrijskih pojmova, stoga geometrija mora sebi da izgradi najveću moguću logičku zatvorenost.

Na temelju analize fizikalnih pojmova prostora i vremena Ajnštajn je pokazao da ne postoji nespojivost principa relativnosti i zakona o širenju svetlosti, što je i dovelo do izgradnje jedne, po njegovom sudu, logički besprekorne teorije, dakle specijalne teorije relativiteta. Klasična fizika prećutno je pretpostavljala da su vremenski navodi apsolutni, jer su nezavisni od stanja kretanja referentnog tela, ali kako je to nespojivo s pojmom istovremenosti, to se onda, napuštanjem takvog uverenja, zakon širenja svetlosti sjedinjuje s principom relativnosti, a to znači da svako referentno telo ima svoje posebno vreme, pa vremenski navod ima smisla samo tada kada je navedeno referentno telo na koje se taj navod odnosi.¹⁰ Ali, ne napušta se samo hipoteza da je vremenski razmak između dva događaja nezavistan od stanja kretanja referentnog tela, nego i hipoteza da je prostorni razmak između dve tačke nekog tela nezavistan od stanja kretanja referentnog tela. Tako je teorijom relativiteta ponuđen svet kao četvorodimenzionalni prostorno-vremenski kontinuum. Zapravo, prostor je trodimenzionalni kontinuum, kome je vreme ravnopravna koordinata, što je bitna razlika u odnosu prema klasičnoj fizici, prema kojoj je vreme apsolutno, jer je nezavisno od stanja kretanja referentnog sistema. U specijalnoj teoriji relativiteta Galilejevi koordinatni sistemi opisuju prostorno-vremenski četvorodimenzionalni kontinuum, dakle četiri koordinate (x, y, z, t) određuju neki fizički događaj, ili neku tačku četvorodimenzionalnog kontinuuma, sa stanovišta zakona o konstantnosti brzine svetlosti, na temelju čega se i može reći kako je prostorno-vremenski kontinuum prema specijalnoj teoriji relativiteta zapravo „euklidski” četvorodimenzionalni kontinuum.

Ali, opštim principom relativiteta, prostorno-vremenski kontinuum ne može se smatrati za euklidski, nego se prikazuje Gausovim koordinatama, pa se tako opšti princip teorije relativiteta može izraziti „Svi Gausovi koordinatni sistemi su za formulisanje opštih prirodnih zakona jednako vredni”. Specijalna teorija relativiteta odnosi se na Galilejeva područja, dakle na područja u kojima ne postoji gravitaciono polje, nego referentna tela sa euklidskim svojstvima, za koja važi Galilejeva postavka o jednoličnom

9 O epistemološkim pitanjima filozofskih refleksija u Ajnštajnovoj teoriji relativiteta u Mirko Aćimović, „Ajnštajn i naučni racionalizam”, Godišnjak Filozofskog fakulteta u Novom Sadu, XXVIII/2000., preštampano zatim u knjizi M. Aćimović: *Logos i physis*, Prosveta, Novi Sad, 2003.

10 Ajnštajn, *O specijalnoj teoriji relativnosti*, u Ajnštajn, *Moja teorija*, Stylos, Novi Sad, 1998., str. 31.

pravolinijskom kretanju izdvojene materijalne tačke. U gravitacionom polju nema međutim referentnih tela euklidskih svojstava, što izražava opšta teorija relativiteta, prema kojoj je svet konačan a ipak neograničen. Dakle, prema opštoj teoriji relativiteta geometrijska svojstva prostora nisu samostalna već su uslovljena materijom, stoga je o geometrijskoj strukturi sveta moguće znati samo na osnovu poznatog stanja materije (*Moja teorija*, str. 89). Određujući se prema Njutnovoj fizici prostora i vremena, te i prema Dekartovoj zamisli o nepostojanju praznog prostora, Ajnštajn kaže da prednaučnoj misli pripada pojam prostora koji postoji objektivno nezavisno od predmeta, ukoliko se to ne odnosi na postojanje neograničenog broja prostora u relativnom kretanju jednog prema drugom. Kantovo negiranje objektivnosti prostora teško se može smatrati ozbiljnim, dakle prostor je sasvim objektivn ali i sasvim zavisn od materije i od vremena, jer fizički događaj je prostorno-vremenski određen. Stoga fizika i koristi geometriju za uspostavljanje svojih pojmova, ali se onda, isto tako, iskustveni sadržaj geometrije uspostavlja i ispituje samo u granicama fizičke nauke.¹¹

Njutnova mehanika razmatrala je prostor i vreme kao nosioce i okvir za fizičke događaje, koji se dakle opisuju prostornim koordinatama i vremenskom koordinatom, a materija je zamišljena kao skup materijalnih tačaka čija kretanja sačinjavaju fizičke pojave; osim toga, ovde su prostor i vreme i inercijalni sistemi, tako da se sva fizička stvarnost razmatrala nezavisno od subjekta zapažanja. Ali nastanak pojma polja bitno menja na suštini stvari pojmova prostor i vreme, jer se polje ne odnosi samo na opisivanje stanja u materijalnim telima, kao što je slučaj sa mehaničkim poljem, nego i na prazan prostor, na dakle ono što nema nikakvu masu. Isprva je Maksvel uveo pojam polja u elektrodinamiku jer je predvideo postojanje elektromagnetnih talasa, sličnih svetlosnim talasima (naime, svetlost je talasno polje), čime je elektrodinamikom obuhvaćena i optika, ali je ova teorija davala prednost jednom inercijalnom sistemu, sistemu nepomičnog etra.

Specijalna teorija relativiteta, na temelju pretpostavke o konstantnosti brzine svetlosti u praznom prostoru i jednakošću inercijalnih sistema, poništava ideju o apsolutnosti istovremenosti, izriče fizičku jednakost svih inercijalnih sistema, poništava hipotezu o mirujućem etru i odbacuje misao o elektromagnetnom polju kao stanju materijalnog nosioca: tako polje postaje neizbežan element fizičkog opisa, jednako onako kako je to pojam materije u Njutnovoj teoriji (*isto*, str. 104). Ali je „kruti četvorodimenzionalni prostor specijalne teorije relativnosti” sličan Lorencovom krutom trodimenzionalnom etru, pa je opis nekog fizičkog stanja pretpostavljao već stvoreni i nezavisni prostor, tako da, po Ajnštajnovom sudu, čak ni ta teorija ne otklanja sumnju u postojanje nezavisnog, a priori datog praznog prostora.

Ovu sumnju otklonila je opšta teorija relativiteta. U klasičnoj mehanici i specijalnoj teoriji relativiteta prostor (prostor-vreme) postoji nezavisno od materije ili polja, u opštoj pak teoriji relativiteta ne postoji prostor izvan nečega što ga ispunjava, tako dakle, ne postoji nešto što bi se zvalo prazan prostor, kao prostor bez polja: „prostor-vreme ne

11 O tome, između ostalog, u članku Karl Menger: „Modern Geometry and the Theory of Relativity”, *Albert Einstein – Philosopher-Scientist*, Vol. II, Ed. P.A. Schilpp, Harper & Brothers Publishers, New York, 1959., p. 457-475. Takođe, u ovom zborniku radova, članak s ovog područja od Leopolda Infelda „General Relativity and the Structure of Our Universe”, p. 475-501.

postoji za sebe, već samo kao strukturalno svojstvo polja” (*ibid.*, str. 108). Ne postoji prostor bez polja, a to nadalje znači kako Dekart i nije bio baš sasvim daleko od istine kada je mislio kako prazan prostor ne postoji. Trebalo bi, dakle, istrajati na putu ka potpunoj relativističkoj teoriji polja, i to je zapravo Ajnštajnov odgovor na tada rastuću tendenciju kod modernih fizičara da se eksperimentalnim dokazima prikaže čestično-talasna struktura dvojnosti prirode. Ajnštajn je poopštenjem pojma gravitacionog polja došao do fizičke stvarnosti polja, i to je smatrao činjeničkim stanjem opšteg principa relativiteta, trebalo je još stvoriti teoriju koja će moći da iscrpno opiše pomoću polja četvorodimenzionalni prostor fizičke stvarnosti, ali je to dovedeno pod sumnju tadašnjim oblikom kvantne teorije, zasnovane ne neposrednim nego posrednim opisivanjem stanja sistema, dakle statističkom interpretacijom na temelju eksperimentalnih merenja.

Zato je Ajnštajnov daljni napor i bio je usmeren prema zasnivanju jedne, jedinstvene teorije polja, dakle prema teorijskom ujedinjenju gravitacionog i elektromagnetnog polja, kako se bi takvom teorijom opisao makro i mikro svet prirode, kosmos i elementarne čestice. Drugim rečima, kako ujediniti opštu teoriju relativiteta i kvantnu teoriju a da se pritom teorijski objedine sve fizičke pojave, unutar kojih stoje četiri procesa uzajamnih dejstava, sila, ili polja prirode, pri čemu opšta teorija relativiteta teorijski opisuje gravitaciono a kvantna teorija elektromagnetno, slabo i jako nuklearno polje. Osim toga, tada je bila nepoznata i fizička veza između leptona i kvarkova, pa se još i to stavilo pod nužnost jedinstvenog teorijskog opisivanja. Ajnštajn, kao što je već rečeno, nije postigao jedinstveno tumačenje svih polja i njihovih uzajamnih dejstava s elementarnim česticama, na kojem je radio poslednjih svojih tridesetak godina života, ali taj grandiozni cilj nije niti danas priveden konačnom zasnivanju jedinstvene teorije.

Ali ono što je Ajnštajn ujedinio u jednu neprotivrečnu teoriju jesu geometrija iskrivljenosti prostora, sila teže i vreme, naravno s već predhodnim matematičkim ujedinjenjem prostora i vremena koje je ponudio Minkovski. Ovim su u fizici, a zatim u prirodnim naukama i filozofiji, prestali razlozi za potragom veza i odnosa međusobno rastavljenih entiteta materije prirode, dakle prostora *i* vremena, pri čemu su svojstva prostora i svojstva vremena razmatrana kao apsolutno nezavisne akcidencije materije, u materiji sjedinjene kao njihovom konačnom jedinstvu. No, *prostor-vreme* jeste *prostorvreme* ne stoga što između njih nema razlike, niti se opet njihova razlika sastoji u uverenju kako je vreme imaginarnije od prostora, što može biti potaknuto uvođenjem matematičke imaginarne vremenske koordinate ($x_4 = ict$, gde je *i*, koje je jednako kvadratnom korenu od -1, upravo ta imaginarna jedinica): dakle, vreme u teoriji relativiteta nije manje fizička stvarnost od prostora, ova imaginarna transformacija samo je matematički postupak kojim se prostorno-vremenski linijski element stavlja u pitagorejski oblik kartezijanskog algebarskog izražavanja geometrije. Sasvim je izvesno da pitagorejski, i zajedno s tim euklidski, matematički oblik prostora i vremena pretpostavlja jednu imaginarnu vremensku koordinatu (x_4 , ili modernije izraženo x_0 , jer je to jednostavnija realna transformacija vremenske ose).

Pošto se ispostavilo da je specijalna relativnost potvrđena u svim bitnijim fizičkim istraživanjima, izgleda onda kako je Ajnštajnova specijalna teorija relativiteta najtačnije potvrđena teorija u fizici, čak u usporedbi i s njegovom opštom teorijom relativiteta, za koju se i ne može očekivati takva vrsta potvrde. A po njoj, zakrivljeni prostor-vreme

ekvivalentan je postojanju realnog gravitacionog polja, dakle, nešto slobodnije rečeno, gravitacija je isto što i zakrivljenost prostor-vremena.

5. Postavlja se, međutim, pitanje da li je Ajnštajnova teorija relativiteta dovršena fizička teorija? Ili, drugačije, može li se Ajnštajnova fizika zasnovati novijim i bitno različitim postulatima i pojmovima od principa teorije relativiteta? Ti su principi, u najkraćem, zasnovani pomoću dva postulata specijalne teorije, zatim relacijom $E=mc^2$, principom ekvivalencije i geometrizacijom gravitacije, gde se i prikazuje zakrivljenost prostor-vremena koju stvara masa svemira. Tako se specijalna teorija relativiteta pokazuje kao teorija o pravilima transformacije koja povezuju opažanja različitih inercijskih posmatrača, dakle ona se temelji na Lorencovim transformacijama ali i na skali brzine svetlosti, koja međutim, ne zavisi od posmatrača. Čitava teorija relativnosti i počiva na teoriji o konstantnosti brzine svetlosti i relativnosti kretanja, pa se onda zakoni ovih kovarijantno određuju za različite inercijalne posmatrače.

Ali, šta ako brzina svetlosti nije konstanta nego promenljiva fizička veličina, budući da je po svoj prilici ta brzina bila veća u početnom procesu razvoja svemira, s obzirom na tadašnji kvantum njegove energije. Osim toga, teorija relativiteta sa svojom koncepcijom zakrivljenosti prostora i vremena nekako pretpostavlja teoriju *velikog praska*, ali ako se u razmatranje stavi *teorija inflacije*, onda se poništava zakrivljenost prostor-vremena u početnom stadijumu velike eksplozije. Postoji tendencija u modernijoj fizici ka zasnivanju *teorije dvojne specijalne relativnosti* (Doubly Special Relativity), gde se uvode dve skale nezavisne od posmatrača, dakle skala brzine svetlosti i skala daljine/mase (odnosno, daljina-masa⁻¹), koja se odnosi na kvantni prostor-vreme. Dakle, na visokim i supervisokim energijama brzina svetlosti nije konstantna: uvođenjem nove transformacijske formule (nelinearne transformacije), matematički se pokazuje sve veće i veće povećanje brzine svetlosti, tako da ona postaje beskonačna s obzirom na Plankovu daljinu i vreme, koje su zapravo granica između teorija klasične i kvantne gravitacije. A ovo pak nije ništa drugo do teorijski povratak koncepcije o postojanju apsolutnog prostora i apsolutnog vremena.¹²

IV

1. Kvantna teorija prikazuje se isprva kao nerelativistička kvantna mehanika i onda kao relativistička kvantna teorija elementarnih čestica, koja je zapravo poopštenje ove prethodne. Nerelativistička kvantna mehanika zasniva se na spoznajama o korpuskularno-talasnoj prirodi materije, neposrednijoj zavisnosti odnosa mikročestica i eksperimenta i verovatnoći fizičkih zakona mikročestica. A relativistička kvantna teorija elementarnih čestica stanovišta je o sveopštim transformacijama elementarnih čestica, opi-

12 O eksperimentalnim proverama teorije dvojne specijalne relativnosti na supervisokim energijama G.Amelino-Camelia: „Space-time quantum solves three experimental paradoxes”, Phys. Lett. B 528 (2002) 181. Radi se o paradoksima kosmičkog zračenja, Markarjan-501 i pionskoj stabilnosti. Takođe, T. Petković: *Uvod u modernu kozmologiju i filozofiju*, Zagreb, 2002. (osobito peto poglavlje, pod naslovom Fizikalna i filozofska načela teorije relativnosti, str. 90-120.).

sanih matematičkim aparatom sinteze relativističkih i kvantnih predstava fizike. Unutar ovoga su i postavljene teorije kvantnog polja, S-matrice i grupa.

Prema opštim stavovima, relativistička kvantna teorija elementarnih čestica postavlja granicu primene klasičnih pojmova nerelativističke kvantne mehanike, i to najpre shvatanjem čestica kao sistema s beskonačnim brojem stepena slobode, jer čestice imaju beskonačnu sveukupnost međusobno povezanih amplituda međusobnih prelaženja. Prema takvoj teoriji, dakle, čestica je kvant polja, kvantno polje sjedinjenje je čestice i polja. Takođe se u ovoj teoriji ne pretpostavlja elementarnost i struktura elementarnih čestica, slobodne čestice nisu lokalizovane, nemaju svoju prostornu i vremensku strukturu jer jedino postoje u međusobnim interakcijama. Teorija kvantnog polja je dinamička teorija koja govori o strukturi mogućih fizičkih procesa, te je ona time, u suštini, fizička teorija elementarnih čestica. A ta teorija razlikuje elektromagnetno, gravitaciono, slabo i jako fizičko polje, shodno elektromagnetnim, gravitacionim, slabim i jakim fundamentalnim silama prirode.

Tako, sve stvari po svojoj suštini sastoje se, u najosnovnijem, od četiri osnovnih čestica, dakle protona, neutrona, elektrona i neutrina, i onda osnovnih sila koje određuju ponašanje ovih čestica, gravitacione, elektromagnetne, slabe i jake. Gravitacione sile deluju između svih čestica materije i time određuju sva svojstva ponašanja nebeskih tela vasiona, elektromagnetne sile određuju postojanje atoma kao celovite materije, slabe nuklearne sile deluju na rastojanjima čestica ne većim od 10^{-16} cm a jake nuklearne sile deluju na rastojanjima manjim od 10^{-13} cm kod protona i neutrona u atomskom jezgru. Postavilo se pitanje o ujedinjenju ovih uzajamnih dejstava, ali tako kao da su ove sile samo različite grane jedinstvenog uzajamnog delovanja. I dalje, to jedinstveno međudelovanje možda je geometrijsko svojstvo prostorno-vremenske strukture sveta, pa se svet, univerzum, možda može izreći u svim svojim svojstvima jedinstvenom, i time konačnom teorijom.

Stoga je i ono što predstavlja vrhovno načelo u fizici elementarnih čestica mogućnost postavljenja jedne jedinstvene teorije elementarnih čestica, konačne teorije svih polja, sila, svih temeljnih zakona prirode.

2. Zemaljske zakone fizike Galilej je smatrao opštevažećim, u svim pojavama univerzuma, jer je verovao u postojanje sveopšteg jedinstva prirode. To je uvideo povezujući smer senki na mesecu sa smerom sunčeve svetlosti, što je posve isto kao i na zemlji, te je time postavio temeljni princip koji iskazuje univerzalnost fizičkih zakona, princip Galilejeva simetrija, čija je posledica zakon o očuvanju impulsa: po ovom principu, ukupni impuls fizičkog sistema u bilo kom početnom trenutku jednak je ukupnom impulsu sistema u konačnom stanju, bez obzira na međuvremene interakcije. Kod Njutna, sila zemaljske teže jednaka je nebeskoj sili gravitacije. Zahtev za konačnom teorijom prirode Njutn je u predgovoru svojih *Principia* shvatio kao izvođenje svih drugih prirodnih pojava metodom rasuđivanja načelima mehanike, jer je pretpostavio da sve pojave prirode zavise od izvesnih sila. To je kasnije, u *Optici*, stavio u zadatak eksperimentalnoj filozofiji, naime, da pronade sve sile koje drže čestice tela. Jer, najmanje čestice prirode drže se najjačim privlačnim silama, sačinjavajući tako veće čestice koje se međusobno drže slabijim silama, ove opet sačinjavaju još veće česti-

ce povezane još slabijim silama, i tako dalje, sve do najvećih čestica, koje i sačinjavaju makrotela. U *Principia* razmatrane su sila inercije i pet vrsta centripetalnih sila, pri čemu je sila shvaćena prevashodno kao matematički a ne fizički pojam, jer je za Njutna od interesa matematička formulacija fizičkog delovanja sila. Gravitacija je sila uzajamnog privlačenja tela, a, prema njegovom zakonu, intenzitet sile kojom se privlače dva tačkasta tela upravo je srazmeran njihovim masama, a obrnuto srazmeran kvadratu njihovog međusobnog rastojanja ($f = \gamma \cdot m_1 m_2 / r^2$, gde je f intenzitet gravitacione sile, γ gravitaciona konstanta, m_1 i m_2 mase tela a r^2 rastojanje između tela). Dakle, svaka čestica materije privlači svaku drugu česticu materije silom koja je srazmerna proizvodu njihovih masa, a obrnuto srazmerna kvadratu njihovih rastojanja, prema čemu je onda zakon gravitacije jedan od univerzalnih zakona prirode, premda je priređen samo za tačkasta tela, ili materijalne tačke. Gravitacija, kao i gravitaciona konstanta, koju je odredio Keplendiš, ne zavisi od svojstava i vrsta supstancije tela, ali je najveća između nebeskih tela a znatno manja između molekula.

Faradej i Amper postavili su osnov sjedinjenja električkih i magnetinih sila prirode, sila života, jer su sve hemijske veze elektromagnetne prirode, tako i nervni impulsi, a onda je Maksvel prikazao kako su svetlost, toplotno zračenje, radio i rentgenski zraci zapravo raznoliko pojavljivanje elektromagnetnih međudelovanja. Prema Maksvelu, elektricitet i magnetizam su samo aspekti jedinstvene sile elektromagnetizma. Maksvel je još ujedinio elektromagnetizam i optiku, vodeći se prema brzini svetlosti. Zatim je Ajnštajn pokušao da sjedini Maksvelovu teoriju elektromagnetizma s vlastitom opštom teorijom relativiteta, kao teorijom gravitacije, što je zapravo još jedna ideja o konačnoj teoriji. Određenije, radi se o jedinstvenoj teoriji polja.

3. Opšta teorija relativiteta neposredno vodi do teorije gravitacionog polja, ali ona ne omogućuje relativističku teoriju za svako polje, tako je onda Ajnštajn pokušao, pokazao se neuspešno, da relativističkim uopštenjem zakona teže dođe do opšte, jedinstvene teorije polja, prema naučnom idealu unutrašnjeg savršenstva i spoljašnjeg opravdanja teorije. Zbog tog Ajnštajnovog neuspeha, Dirak je posumnjao u mogućnost ujedinjenja fundamentalnih sila prirode. To je dakako logički zahtev teoriji, da se teorija zasnuje na harmoniji mišljenja. Isprva je Ajnštajn mislio pod jedinstvenom teorijom polja sjedinjenje relativističkih interpretacija gravitacionog i elektromagnetnog polja, a onda, pred kraj života, mislio je jedinstvenu teoriju svih polja kao fizičkih modifikacija jedinstvene supstancije materije. Po samome Ajnštajnu, princip opšte relativnosti nije sasvim dovoljan za potpuni opis jednačine polja jer transformacioni zakon simetričnog dela polja ne uključuje komponente nesimetričnog dela, i obrnuto, i, zatim, jednačine svih polja moraju biti kompatibilne. Prema opštoj teoriji relativiteta, fizička stvarnost je opisana kontinuiranim poljem, gde su čestice ili materijalne tačke samo ograničeni deo prostora određene jačine polja ili gustine materije. Dakle, jednačine moraju dovoljno tačno opisati polje i istovremeno zadovoljiti fundamentalne postavke opšte teo-

rije relativnosti.¹³

Do rešenja ove prve, ili pristonske, varijante jedinstvene teorije polja, i do rešenja ove druge, poslednje varijante teorije, po Hajzenbergovom sudu Ajnštajn nije mogao doći zbog obilja eksperimentalnih otkrića čestica i polja, iz čega je bilo teško da se pronađe čvrsti osnov za jedinstvenu teoriju.¹⁴ Hajzenberg je šesdesetih godina prošlog stoleća postavio nelinearnu teoriju jedinstvenog polja kao pokušaj za jedinstvenu teoriju elementarnih čestica.¹⁵ Prema toj teoriji, elementarne čestice su različite manifestacije jedinstvenog univerzalnog fizičkog polja, masa elementarnih čestica posledica je njihovih imanentnih interakcija, pa je polje kao materija samo sebi uzrok u procesu fizičkih promena. Ali mogućnost izgradnje jedinstvene teorije elementarnih čestica samo je jedan aspekt onoga što je od toga vrhovnije načelo fizike, naime postavljenje konačne teorije svih temeljnih zakona prirode. Ovome izazovu posvetio se i Stiven Vajnberg.¹⁶

Doista je tačno primećeno kako je ideja o konačnoj teoriji deo intelektualne istorije našeg vremena. Premda su njutnovska fizika, teorija relativiteta i kvantna mehanika postavile zahtev za jednom i jedinstvenom teorijom prirode, tek je fizika visokih energija postavila stvarni osnov za ovako shvaćenu konačnu teoriju. Sjedinjenjem teorije relativiteta i kvantne mehanike, u središtu gledanja fizike nije više materija nego su to načela simetrije, na temelju čega su izgrađene uspješnije teorije elektromagnetizma i jakog i slabog međudelovanja elementarnih čestica. Ova fizika elementarnih čestica fizika je visokih energija, a to i jeste izvor i razlog njene osujećenosti: naime, fizika elementarnih čestica tako je teorijski uznapredovala da je ne mogu pratiti eksperimentalni uslovi istraživanja fizičkih procesa čestica pri znatno većim energijama. Vajnbergov pokušaj zasnivanja konačne teorije zapravo je nagoveštaj za eksperimentalnu proveru teorijskih osnova kvantne mehanike a prema ideji preispitivanja njenog pojma linearosti. Tako je nastala ideja o nelinearnoj alternativi kvantnoj mehanici, ali je neuspeh pokušaja proizašao iz nemogućnosti korekcije samo jednoga pojma u kvantnoj mehanici a da se pritom ne dovede u pitanje cela teorija, jer i najmanja izmena, ili korekcija, u logički sredenoj kvantnoj mehanici dovodi do logičkih apsurda. Vajnberg stoga nije ni mogao da proširi nelinearnu verziju kvantne mehanike na teorije koje su zasnovane na Ajnštajnovoj posebnoj teoriji relativiteta, pa otuda kvantna mehanika može ostati kao tačno važeći deo konačne teorije, jer dopušta svo bogatstvo raznovrsnosti mogućih fizičkih sistema. Vajnberg je dakako napustio daljni rad na konačnoj teoriji, uz zahtev za težnjom prema lepoj teoriji, pri čemu je teorija lepa ako je jednostavna i neizbežna. Načelo simetrije prirodnih zakona, a ne stvari prirode, jednovremeno je načelo jednostavnosti i

13 Prema Ajnštajnovom članku o poopštenoj teoriji gravitacije, u „Scientific Ameriken”, 182, 4/1950. O Ajnštajnovoj teoriji gravitacije Г.А. Лоренц: *К теории гравитации Эйнштейна*, Эйнштейновский сборник, 1980-1981, Наука, Москва, 1985., стр. 169-191. Takođe o tome u ovom zborniku i radovi Šredingera, Bauera, Nordstrema i Rozenfelda.

14 Гейзенберг: *Замечания к эйнштейновскому наброску единой теории поля*, Эйнштейн и развитие физико-математической мысли, Москва, 1962., стр. 63-69.

15 Гейзенберг: *Квантовая теория полей и элементарных частиц*, „Нелинейная квантовая теория”, Москва, 1959.

16 Weinberg, *The Discovery of Subatomic Particles. Elementary Particles and the Laws of Physics* i, posebno, *Snovi o konačnoj teoriji*, Beograd, 1997.

neizbežnosti. Tako, materija gubi svoju središnju ulogu u fizici, jer od materije preostaju samo načela simetrije i raznoliki načini na koje se talasne funkcije mogu ponašati pod simetrijskim transformacijama (*Snovi o konačnoj teoriji*, str. 124).

Standardni model sila zasnovan je načelom prostornovremenske simetrije specijalne teorije relativiteta, prema kome je standardni model sila zapravo teorija polja. Trebalo bi međutim postaviti matematički zadovoljavajuću kvantnu teoriju gravitacije, koja u sebe uključuje kako simetriju sila u teoriji polja, tako i simetriju u osnovama opšte teorije relativiteta. U tom smislu je model teorije struna, prema Vajnbergu, „naš prvi ubedljivi kandidat za konačnu teoriju” (*isto*, str. 185). Teorija struna postavljena je kod teoretičara elementarnih čestica koji su pokušali da shvate jake nuklearne sile bez oslonca na kvantnu teoriju polja. Isprva je Gabrijel Venecijano postavio ideju o novoj vrsti fizičkog identiteta, o relativističkoj kvantnomehantičkoj struni, koja nije sačinjena od atoma, s beskonačnom energijom vibriranja, a onda su Švarc, Grin i osobito Edvard Viten prikazali matematičku doslednost teorije otvorenih struna. Prema opštim stavovima teorije struna, ne postoje čestice materijalnih tačaka prostora, nego veličine koje imaju od svih dimenzija jedino dužinu, tako jedna struna ima jednu duž u prostoru u svakom trenutku vremena. Do sada međutim nije iznađena jedna određena, konkretna, konačna teorija struna. Nije dakako iznađena ni konačna teorija, premda je ona i fizički i matematički sasvim moguća. To proizilazi iz jedinstva prirode.

Ovo posvedočuje i sudionik na polju ujedinjenja elektromagnetizma i slabe nuklearne sile, Abdus Salam, koji je došao do sličnih rezultata kao i Vajnberg, premda su im pokušaji isprva bili neuspešni. Onda su došli do elektroslabe sile, koja se u eksperimentu razdvaja na dve različite sile, elektromagnetsku i slabu nuklearnu silu. Zatim se radilo na ujedinjenju elektroslabe i jake nuklearne sile, to je ujedinjenje, kao Teorija velikog ujedinjenja (Grand Unified Theory), predloženo uvođenjem nove sile koju je Salam nazvao elektronuklearnom silom, koja je, po njegovom posvedočenju, trebalo da sadrži elektromagnetizam, slabu nuklearnu i jaku nuklearnu silu.¹⁷ Poslednja etapa u potrazi za velikim ujedinjenjem odnosi se na ujedinjenje gravitacije sa elektronuklearnim silama, naročito posle postuliranja fizičkih objekata predstavljenih ne kao tačkaste čestice nego kao strune koje titraju, koje se mogu opisati matematikom dvodimenzionalnih Rimanovih površina. Usput, ovde četvorodimenzionalni prostor i vreme nisu od bitne važnosti. Fizički zahtevi, koje je trebalo da teorija struna zadovolji, da bi bila uopšte prihvaćena, odnosi se na njeno obuhvatanje svih elementarnih izvornih i posrednih čestica, dakle kvarkove i leptone, zatim gluone, fotone, onda bi trebalo da bude geometrijska teorija, jer mora da sadrži Ajnštajnovu teoriju gravitacije, i napokon trebalo bi da ona opisuje gravitaciju bez ikakvih beskonačnosti. Salam je svoj pogled na skraćenu istoriju teorija o ujedinjenju temeljnih sila prirode završio pitanjem, može li ovakva teorija struna postati Teorijom sveukupnosti (Theory of Everything), a ako je tako, predstavlja li ona vrhunac nastojanja za ujedinjenjem osnovnih sila prirode?

Na temelju dosadašnjih postignuća u teorijskom sistemu eksperimentalne nauke, ovaj zahtev za ujedinjenjem osnovnih sila prirode predstavlja doista najviši naučni zah-

¹⁷ Salam: *Ujedinjenje temeljnih sila prirode*, str. 53. Takođe, A. Salam: „Последний замысел Эйнштейна: объединение фундаментальных взаимодействий и свойств пространства-времени”, у Эйнштейновский сборник, 1980-1981., Наука, Москва, 1985., стр. 102-111.

tev kojim se dokazuje da priroda *jeste* sveopšti sistem, proces materije. Ajnštajn je svoj naučni put završio idejom o mogućnosti ovog teorijskog ujedinjenja, on ga međutim nije i dovršio tom teorijom, kojom se prikazuje konačni zakonik prirode.

Naposletku, u odeljku o prostoru i vremenu u dorelativističkoj fizici u knjizi o smislu relativiteta (*The Meaning of Relativity*, Princeton, 1956) Ajnštajn kaže da tačka u prostoru i trenutak u vremenu nemaju fizičku stvarnost, nego tu stvarnost ima samo taj događaj kao takav: dakle, ne postoji apsolutni odnos u prostoru, koji je nezavistan od prostora referencije, niti pak postoji apsolutni odnos u vremenu između dva događaja, nego postoji neki apsolutni odnos u prostoru i vremenu, nezavistan od prostora referencije.

Taj Ajnštajnov stav po svoj je prilici odgovor Njutnovom stavu po kome ne bi trebalo poistovećivati veličine po sebi s njihovim odnosima, ili relativnim veličinama; tako je dakle Njtn s filozofskog stajališta priznavao postojanje apsolutnog prostora i apsolutnog vremena, ali je kao fizičar bio na stanovištu geometrije unutar opšte mehanike kojom se izlaže i onda dokazuje veština tačnosti iskustvenog merenja fizičkih veličina i njihovih odnosa. Tako je u Ajnštajnovoj teoriji relativiteta Njutnov apsolutno prazni prostor zamenjen fizičkim prostorom čija su svojstva određena realitetom materijalne supstancije.

Otuda, ovde provedeni, stav o *apsolutnoj relativnosti prostorvremena* kao Ajnštajnovom teorijskom odgovoru na Njutnov *ograničeno aspolutni prostor i vreme*.

Mirko Aćimović
Faculty of Philosophy, Novi Sad

ABSOLUTE PRINCIPLE OF THE THEORY OF RELAVTIVITY Einstein and Newton

Abstract. Philosophical bases of Einstein's conception of space-time and motion, as a crucial development of knowledge in this field of mathematical physics and cosmology based on it, presuppose a difference between theoretical statements of Euclidean geometry and non-Euclidean geometries, as well as their relations towards the science of physics and cosmology. That constitutes the foundation for differentiation between Newtonian classical conception of space, time and motion, and the conception of these notions within the theory of relativity.

Key words: matter, motion, space-time.