



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



- DIPLOMSKI RAD -

METODOLOŠKO ISPITIVANJE FIZIČKIH TEORIJA

MENTOR:
DR MILAN PANTIĆ

KANDIDAT:
DUŠAN RANĐELOVIĆ

NOVI SAD, 2010. GODINE

Predgovor

Savremena fizika podrazumeva sve užu specijalizaciju naučnika. Predmet istraživanja je često složen u tolikoj meri da zahteva interdisciplinarni pristup, ako ne kroz saradnju stručnjaka iz različitih oblasti nauke ili fizičara iz odeljenih oblasti fizike, onda makar u smislu u kom je fizičar-teoretičar upućen na rezultate eksperimenata, eksperimentator obavezan na saradnju sa statističarem ili programerom, itd. Bitniji rezultati fizičkih istraživanja tako zavise ne samo od stručnosti specijalista, već i od kvaliteta međusobne saradnje. Usko specijalistički rad u stručnim timovima ekonomičan je po više osnova. Međutim, pored svih pozitivnih rezultata specijalizacije u radu fizičara dolazi i do pojave niza negativnih posledica. Pre svih, usled nemogućnosti sveobuhvatnog uvida, nekritički odnos prema samoj materiji. Karakter takvog odnosa dočarava Albert Ajnštajn¹:

"Toliko ljudi danas - pa i profesionalnih naučnika - izgleda mi kao neko ko je video hiljade stabala, ali nikad šumu. Poznavanje istorijske i filozofske pozadine daje jednu vrstu ograde od predrasuda generacije, od kojih većina naučnika boluje. Ova nezavisnost omogućena filozofskim uvidom je - po mom shvatanju - ona karakteristika koja pravi razliku između običnog učenjaka ili stručnjaka i pravog tragaoca za istinom."

Uplitanje filozofije u sistem fizičkih znanja pokazuje se kao neophodno. Filozofija fizike je disciplina koja nam pruža celovit uvid u fizičku teoriju, u ono što fizičari nude kao, jezikom filozofa nauke, "pretenziju na nužne istine" koje vladaju u materijalnom svetu. Stoga se ovaj rad bavi osobinama onakvog fizičkog znanja koje kroz filozofiju fizike stiče toliko bitnu samokritičnost.

Na narednim stranama ostvaren je pokušaj pregleda pitanja na koja filozofija fizike treba da odgovori i metoda kojima to čini, kao i pokušaj da se ilustruje taj proces preispitivanja i pojašnjenja koje pruža filozofija fizike. Ako se bilo kojim vidom i malo doprinelo boljem razumevanju fizičke teorije, zasnovanosti fizičkih znanja i znanja uopšte, cilj rada je dostignut.

Prvim delom se postavlja teorijska pozadina, istorijska pozornica i sveopšti okvir problema koji su u žiži rada - problema statusa i osobina *aksiomatski* zasnovane *fizičke* teorije u sistemu (naučnih) znanja. U drugom delu određeno je značenje fizičke teorije, njen sastav, struktura i bitne karakteristike. Manje su obrađeni problemi odnosa eksperimenta i teorije i pravila korespondencije između empirijskog i teorijskog jezika. Glavni akcenat stavljen je na prednosti aksiomatizovanih teorija, na osobine aksiomatskih sistema koje obezbeđuju neprotivrečnost

¹Pismo Ajnštajna (*Albert Einstein, 1879-1955*) Torntonu (*Robert A. Thornton*), 7. decembra 1944. (slobodan prevod)

teorije, njenu potpunost, pouzdanost, itd, kao i na metode kojima dokazujemo da neki sistem ima date osobine. Može se reći da je težina na epistemološkim problemima koji se tiču samo fizičke teorije, ne i fizičkog eksperimenta. Na kraju se, u svetlu prethodne razrade, predstavlja konkretna fizička teorija, naime specijalna teorija relativnosti, i delimična analiza nekih njenih aksiomatizacija.

Ovaj diplomski rad je urađen pod mentorstvom prof. dr Milana Pantića, kome dugujem veliku zahvalnost na pomoći pri radu i u toku celih studija. Zahvaljujem takođe i dr Stojanu Obradoviću na pomoći oko literature i na korisnim sugestijama. Prijateljima i porodici zahvalan sam na podršci i strpljenju. Svojoj supruzi Tijani Randelović posebno zahvaljujem na mnogobrojnim dugim razgovorima na temu i konstruktivnim kritikama.

Novi Sad, jul 2010. godine

Dušan Randelović

Sadržaj

Predgovor	1
1 Metodologija - opšta nauka o naučnim teorijama	4
1.1 Istorijat filozofskih pitanja o nauci	4
Škole mišljenja nauke do XX veka	7
Logički pozitivizam i kritike	13
1.2 Naučni metod	20
<i>Scientific Method</i> i kritike	20
Logika. Teorija skupova	23
1.3 Metodologija nauke	31
Zadaci naučne metodologije	35
Sintaksa i semantika - osnovni pojmovi	38
2 Metodologija fizičke teorije	45
2.1 Određenje fizičke teorije	45
Standardno shvatanje strukture teorije u fizici	49
2.2 Aksiomatizacija teorija u fizici	52
Hilbertov program. Nivoi aksiomatizacije	56
Supesov program. Formalizacija fizike	57
2.3 Metodološka analiza fizičkih teorija. Primer STR	59
Značajni rezultati metodologije STR	61
Literatura	66

Glava 1

Metodologija - opšta nauka o naučnim teorijama

1.1 Istorijat filozofskih pitanja o nauci

Filozofija nauke se kao odeljena filozofska disciplina u akademskom smislu javlja početkom XX veka, ne slučajno, upravo zajedno sa velikim promenama u nauci, posebno onim u fizici i matematici ali i biologiji i psihologiji. Opšta pitanja koja pokreće filozofija nauke imaju analogije u filozofiji posebnih nauka, mada filozofija fizike, filozofija matematike, filozofija istorije, itd. imaju i samo sebi svojstvena pitanja i probleme. Problemi filozofije fizike, budući je fizika fundamentalna prirodna nauka, postoje i tretiraju se i pre XX veka. Mnogim pitanjima koja se sada tiču filozofije fizike bavila se filozofija prirode, disciplina koja je obuhvatala fiziku i njoj pridruženu filozofiju prostora i vremena. Još ranije filozofija fizike, i nauke uopšte, bila je neodvojivi deo filozofije, kao uostalom i svaka od nauka.

Savremeno doba je doba tehnike. Tehnička znanja iako dovoljno moćna da menjaju pogled na svet, slede iz naučnih znanja, znanja o stanju stvari ali i uzrocima stanja stvari. Nauka, za razliku od tehnike koja nalazi upotrebu naučnim znanjima, podrazumeva istraživanja na granicama poznatog, traganje za objašnjenjem nepoznatog. Pri takvim istraživanjima neophodna je filozofska osnova koja definiše i usmerava tok rada. Svaka bi nauka u svakom trenutku trebalo da je svesna svojih filozofskih okvira.

Zabluda ili predrasuda generacije, kako upozorava Ajnštajn, naučnika i filozofa nauke današnjice čini se dvojaka. Prvo, kod naučnika, često vlada neopravdano pouzdanje u filozofske preuslove njihovih disciplina. Slika sveta koju naučnik ima često je kruta, usled čega se zaključuje kako filozofija nauke nije potrebna za naučnu praksu. Čak i osnove pojedinih teorija neke nauke mogu biti različite ali se sve do velikih kriza ne dovode u pitanje. Epohalni problem filozofa nauke je donekle suprotan - on vidi pluralitet mogućih tumačenja. Relativizam po meta-teorijskim pitanjima o nauci često onemogućava filozofu nauke pozitivan rad.

Usled toga čini se postoji cela generacija *naučnih filozofa*, među-zone nauke i pridružene filozofije. Vrednovanje takvog razvoja događaja predmet je neke druge rasprave, sociološkog karaktera. Potrebno je doduše naglasiti kako ovaj rad pored pregleda filozofije nauke u najširem smislu, pripada delom i toj međuoblasti, oblasti metanauke ili kao što će se pokazati, oblasti metodologije - ili nauke o nauci.

U širem značenju filozofija nauke se preklapa sa epistemologijom¹, teorijom saznanja. Bitnija pitanja koja epistemologija postavlja su: Šta znanje jeste? Kako je ono moguće? Šta podrazumevamo pod znanjem? Šta su izvori znanja? Sva ova pitanja imaju onu opštost koju filozofija zahteva, i ne treba ih poistovećivati sa pitanjima o posebnim znanjima - kakvo je fizičko, matematičko, ili znanje istorije. Opštost epistemoloških pitanja o prirodi znanja ilustruje Hemlin (*David W. Hamlyn, 1924-*) [5]:

"Imajući uvid u to šta znanje jeste i šta uopšte može da se računa kao znanje, filosof je u mogućnosti da izjavi kako određena tvrdnja *ne može* da se označi kao znanje, iz razloga što ništa od te vrste *ne bi moglo* da se označi kao znanje; to znači da uslovi koji moraju biti ispunjeni da bi se neka tvrdnja računala kao istinska pretenzija na znanje u ovom slučaju jednostavno nisu ispunjeni."

Svaka epistemologija nalazi se naspram opšte sumnje u mogućnost znanja, naspram filozofskog skepticizma [5]. Takva sumnja rađa potrebu za teorijom saznanja i filozofijom nauke, a sve u cilju da odbrani osećaj sigurnosti koji nam znanje pruža. Od utemeljenja filozofske misli kod starih Grka skepticizam je branjen na različite načine. Za argumente predsokratovaca da svako znanje zavisi u velikoj meri od ljudskih konvencija i individualnog ljudskog suda saznajemo iz Platonovih dijaloga. Gorgija u Protagori² objašnjava kako ništa ne postoji, ako bi i postojalo mi to ne bismo mogli da znamo, ukoliko bismo i znali ne bismo mogli to znanje da saopštimo drugima. Ili po Protagori u Teetetu³ - "čovjek je mjera svih stvari". Pri obradi stava skeptika Hemlin dalje tvrdi kako su samo grčki skeptičari jedini dosledni jer propagiraju "uzdržavanje od istraživanja prave prirode stvari i ostajanje na pojavama... u cilju postizanja smirenosti duha." [5]. U XVII veku Rene Dekart (*René Descartes, 1596-1650*), pokrenut mogućnošću skepticizma, usvaja sistematski skepticizam kao metod unutar epistemologije, kako bi došao do onih vrsta znanja u koje je nemoguće sumnjati. Ono što bi takve izvesne istine trebalo da poseduju jeste nužnost istinitosti. Nužno istinito, samim tim apsolutno izvesno, nesumnjivo znanje obezbedilo bi poslednji argument protiv skepticizma.

¹gr. *ἐπιστήμη* - znanje, nauka - naučno znanje. U anglo-saksonskoj tradiciji epistemologija se prevodi kao *theory of knowledge*, s tim da treba napomenuti da termin gnoseologija (gr. *γνώσις* - spoznaja, saznanje) ima drugde slično značenje. Nadalje se ova dva termina koriste ravnopravno.

²Platon, Protagora/Gorgija, Kultura, Beograd. 1968.

³Platon, Teetet, Naprijed, Zagreb, 1979.

Tradicionalni putevi kojima se kreće dalje od izvornog Dekartovog traganja za izvesnošću radikalnim *metodom sumnje* su racionalizam⁴ i empirizam⁵, stanovišta suprotstavljena pre svega oko toga gde tragati za nužnim istinama i koji bi bili njihovi izvori.

Po Hemlinu su problemi sa kojima se epistemologija susreće trostruki:

- Opšti problemi o prirodi znanja i o uslovima pod kojima je primereno govoriti o znanju. Takođe i određenje pojmova kao što su verovanje, istina, dokaz...
- Problemi o vrstama znanja u odnosu na moći ljudskog duha. Drugi autori ovo pitanje tretiraju kao pitanje o izvorima znanja, ili o putevima saznanja.
- Problemi vezani za epistemološka pitanja koja se javljaju u posebnim područjima znanja i u posebnim disciplinama.

Treća vrsta problema obrađuje se i unutar filozofije nauke, kao i unutar filozofija posebnih naučnih disciplina. Tako posmatrano, filozofija nauke je uža disciplina, kojoj predhode odgovori i razmatranja epistemologije. Ipak, čini se da se tek u oblasti pojedinačnih nauka praktično pokazuju epistemološki problemi, budući da se naučno znanje, u duhu sadašnjeg vremena, smatra za jedino valjano zasnovano. Naučna znanja, više nego bilo koja druga, čak i ona filozofska, simbol su znalaštva. Dodatno, filozofija nauke ima samo sebi svojstven predmet i probleme koje obrađuje. Osnovna pitanja i zadaci filozofije nauke po Psilosu i Kurdu⁶ su :

- Šta jeste naučno znanje i kako se ono razlikuje od nenaučnog ili pseudonaučnog? Šta su ciljevi nauke i koje opšte metode za postizanje ciljeva nauka koristi?
- Šta je naučna teorija i kako se naučne teorije odnose prema stvarnosti i predstavljaju objektivnu stvarnost? Kako teorijski koncepti dobijaju značenje i kako se odnose prema posmatranjima i eksperimentu?
- Koja pravila, ako ih ima, rukovode smenom teorija u nauci? Kakvu ulogu pri smenjivanju teorija imaju uverenja i vrednosti?
- Kakva je struktura i sadržaj pojmova kao što su kauzalnost, objašnjenje, potvrda, teorija, eksperiment, model, redukcija, verovatnoća, i dr.?

Ovim i sličnim pitanjima bavi se filozofija nauke u akademskom smislu. Ova mlada disciplina podrazumeva originalan pristup koji ćemo dalje bliže odrediti i koji se razlikuje od pristupa opšte filozofije. Ipak, filozofija nauke svoje osnove duguje opštoj filozofskoj tradiciji. Tako gledano istorijat filozofskih pitanja o nauci je istorijat epistemoloških, ontoloških stavova, tj. svaka filozofija naučnog znanja pre XX veka je deo nekog šireg metafizičkog sistema i tek s logičkim pozitivizmom i analitičkom filozofijom postaje odvojena disciplina filozofije, filozofija nauke.

⁴lat. *ratio*, fr. *raison* - razum, razumevanje. Stav u epistemologiji da je razum prvi izvor, jedini ili bar jedini sigurni garant istinitom znanju.

⁵gr. *ἐμπειρία*, lat. *experientia* - iskustvo. Po empiristima svako znanje dolazi iz iskustva, kroz opažanje.

⁶The Routledge companion to philosophy of science, edited by Stathis Psillos and Martin Curd, 2008

Škole mišljenja nauke do XX veka

Jedan od zadataka filozofije je prikazati čoveka u odnosu prema njemu samom i njemu spoljašnjim stvarima. Recepcija datosti unutrašnjeg ili spoljašnjeg sveta nije nikakva diferentna odlika (lat. *differentia specifica*) čoveka od drugih bića. Sposobnost mišljenja o receptovanom, tumačenje slika stvari, i mišljenje mišljenja - bitna su karakteristika ljudi. Refleksijom, razmišljanjem, tj. korišćenjem razuma, stičemo pojam o stanju stvari. Aristotel (384-322 p.n.e.) prvi pravi razliku među rezultatima pojmovnog mišljenja, među znanjima koja možemo imati o objektivnoj stvarnosti. Zapravo sa njim i počinje vera u privilegovani status određenih znanja, u metode dolaženja do njih, vera u *epistēmē* (lat. *sciencia*) - naučno potkovan, proverivo i pre svega istinito znanje. Taj stav Aristotel bazira na distinkciji između mogućnosti razumevanja činjenica i razumevanja razloga za činjenično stanje. Oba pristupa mogu se prikazati kao deduktivni silogizmi, oblici ispravnog zaključivanja, iako samo u drugom Aristotel prepoznaje odlike naučnog zaključivanja [6]:

Silogizam A

Planete ne trepere.

Ono što ne treperi je blizu.

Dakle, planete su blizu.

Silogizam B

Planete su blizu.

Ono što je blizu ne treperi.

Dakle, planete ne trepere.

Prvi slučaj demonstrira činjenicu da su planete blizu, ali ne objašnjava uzrok zaključka. Drugi silogizam nije samo demonstrativan već i objašnjavački, jer tvrdi razloge zašto planete ne trepere - zato što su blizu. Aristotel tako uvodi pojam uzroka kao osnovni pojam naučnih znanja. Oblici zaključivanja nauka, nužnost po kojoj iz premisa sledi zaključak, moraju oslikavati nužnost u prirodi po kojoj iz uzroka sledi posledica. Premise objašnjavaju zaključak, a ne obrnuto [6]. Deduktivni silogizam kao onaj u primeru, Aristotel smatra ispravnim naučnim zaključivanjem, a naučna znanja po njemu su aksiomatsko-deduktivni sistemi iz *prvih principa*. Znanje o uzrocima stičemo iskustvom. Međutim, znanje prvih principa ne može se izvesti indukcijom⁷ iz iskustva, niti pokazati deduktivnim zaključivanjem (jer bi se time zapalo u cirkularne definicije ili beskonačni regres). Saznanje prvih principa je moguće jedino intuitivnom apstrakcijom do bitnih osobina stvari po kojima one jesu ono što jesu, do esencija. Po Aristotelovoj ontologiji⁸ uzroci su esencijalne osobine posledica. Aristotelijanska epistemologija, neodvojivi deo njegove bogate ontologije, je u celini ili delom dominirala tokom srednjeg veka.

⁷Indukcija podrazumeva kretanje mišljenja od pojedinačnih i posebnih činjenica ka opštim zaključcima. Dedukcija ima obrnut smer - od opšteg ka posebnom i pojedinačnom. Deduktivnim zaključivanjem se naziva i izvođenje zaključka iz premisa kao kod silogizama.

⁸gr. *τὸ οὐ* - biće, biće kao biće - biće po sebi, bitak. Filozofska disciplina o onome što jeste, što postoji.

Često se kaže kako Aristotelova metafizika iscrpljuje sva pitanja koja se mogu postaviti nad stvarnošću. Njene odgovore i posledice ne moramo prihvatiti, ali smernice ka raznorodnim tumačenjima sveta uvek iznova pronalazimo kod Aristotela. Time su već u helenskoj filozofiji postavljene klice svih suprotstavljenih shvatanja, pa i onih o naučnom znanju. U zavisnosti od principa klasifikacije (lat. *principium divisionis*) imamo različite pravce relevantne za istorijsku analizu shvatanja nauke. Tako da kada se govori o realizmu u nauci, ili o njegovim kontrapozicijama, kriterijum klasifikacije je gnoseološko pitanje mogućnosti saznanja i odnosa prema znanju. Ako je kriterijum pitanje izvora znanja pravci su racionalizam, empirizam... Materijalizam i idealizam su glavni monistički pravci pri klasifikaciji metafizičkim pitanjem o tome šta postoji i kako postoji. Neka naučna teorija, naučni koncept ili nauka uopšte može se posmatrati iz ugla bilo kog filozofskog pravca, mada svakako ima verovatnijih gledišta i onih manje primerenih naučnom pogledu na svet. Da ne bismo predaleko otišli u eksplikaciji svakog od mogućih izama, biramo određeni princip podele - na pravce koji bitno utiču na savremenu sliku o nauci i pritom su od značaja za dalji tok rasprave.

Od prvenstvenog interesa za određenje statusa nekih fizičkih teorija, bitno je šta se može misliti o odnosu teorije i objektivne stvarnosti. Kriterijum klasifikacije filozofskih pravaca koji se nameće je stoga: **Odnos naučnih znanja prema istini**. Jedino što mu prethodi je opšta gnoseološka rasprava o mogućnosti znanja, dok se neke ontološke podele uopšte ne dovode u pitanje - tj. nauka najčešće pretpostavlja objektivnu stvarnost i ostavlja ontologiju nauke neproblematizovanim. Pitanja o mogućim izvorima znanja ne mogu se zaobići mada ne utiču na osnovno pitanje statusa teorije⁹. **Prvi kriterijum** podele po pitanju mogućnosti saznanja kao najverovatnije pravce ima:

Gnoseološki kriterijum - mogućnost saznanja

dogmatizam	Nekritičko prihvatanje znanja. Stvari su onakve kakvima se prikazuju (zdravorazumski dogmatizam) ili kakvim ih tumači nepogrešivi autoritet (npr. crkva)
skepticizam	Sumnja po pitanju mogućnosti istinitog znanja. Može biti i konstruktivni pravac, kao u slučaju metodskog skepticizma Dekarta ili opšti agnosticizam - stav da je svet nesaznajan (gr. <i>ἀγνῶσις</i> - nesaznanje, nesaznajno). Ekstremni oblik skepse je solipsizam, ontološki stav da ni u šta sem u naše postojanje ne možemo biti sigurni.
kriticizam	Kritika moći saznanja sintezom empirizma i racionalizma. Saznanje je omogućeno jedino učešćem svih moći: kroz iskustvo i razumski zajedno, nekad i uz pomoć intuicije, nikad isključivo jednim putem.
realizam	Gnoseološki realizam mogućnost saznanja bazira na stvarnosti (lat. <i>res</i> - stvar), a istinito saznanje na adekvatnosti u odnosu na stvarnost. Može biti naivni (zdravorazumski), sholastički, kritički realizam, pozitivizam (lat. <i>positus</i> - postavljeno).

⁹Biće, dakle, reći i o pitanjima izvora znanja, to jest o racionalizmu, empirizmu, iracionalizmu u nauci. Ipak, osnovna nit prati shvatanje mogućnosti saznanja (I kriterijum) i odnosa naučnih znanja prema istini (status naučnih teorija, II kriterijum), kroz istoriju, do logičkog pozitivizma - kada nastaju uslovi za razvoj nauke o nauci - metodologije.

Jasno je kako prethodna podela prirodno predstoji **drugom kriterijumu**, pitanju odnosa: Naučna teorija - istina [2].

Odnos naučna teorija - istinito znanje

deskriptivistički	Teorije ne objašnjavaju već samo opisuju fenomene [2], na jednostavan i ekonomičan način koji je odraz ekonomije misli [9]. Osnovna teza je da svi teorijski iskazi imaju zdravorazumsko značenje i mogu se prevesti na iskaze o opažljivim događajima [2].
instrumentalizam	Princip po kome je svaka teorija dobra ako je u stanju da "špase pojave", osnovni je princip instrumentalizma. Istina se ne dovodi u pitanje, a izbor među teorijama koje opisuju iste pojave je slobodan. Uopšteno govoreći uspešnija je ona teorija koja je bolji instrument predviđanja budućih pojava.
konvencionalizam	Naučna teorija je usvojena konvencija, jer je u srži konvencionalizma kritika postojanja činjenica. Smatra se da svako iskustvo sadrži teorijske pretpostavke, pa je izbor teorije stvar pogodnosti ili dogovora. Sama teorija može sadržati i protivrečne hipoteze, a bitno je da nije moguće izvršiti celokupnu verifikaciju teorije, već samo cikličnu.
naučni realizam	Naučni realizam bazira na potvrdi, prihvata da svaka nova saglasnost sa objektivnim činjenicama znači realnost teorijski postuliranih entiteta. Polje sila, atomi i drugi entiteti koji nisu direktno opažljivi dobijaju u realističkom tumačenju legitimnu objektivnost. Korisnost naučnih teorija uz distinkciju tačnih teorija i samo korisnih ali pogrešnih teorija, ima smisla jedino u naučnom realizmu [2].

I sam pojam istine nije jednoznačno određen, pa relevantna shvatanja o odnosu naučne teorije prema istini mogu biti raznolika u zavisnosti koju od teorija istine neko prihvata:

Pojam istine

korespondencija	Kriterijum istine je adekvatnost stvarnosti, odgovaranje (korespondencija) iskaza činjeničnom stanju. Aristotel u delu <i>Metafizika</i> : "Istina je: reći o onom što jeste da jeste, a o onom što nije da nije. Šušina ovog stava je neosporna, ali problem nastaje u vezi kriterijuma koji nije uvek moguć.
evidencija	Istina je ono što je očigledno, evidentno i izvesno. Evidentnim se može smatrati i odnos među ne-činjeničnim pojavama (u stavovima koji izmiču kriterijumu korespondencije). Problem je što ni evidentnost nije precizan kriterijum istine, jer mu nedostaje objektivnost.
koherentna istina	Neko tvrđenje je istinito na osnovu koherentnosti ako se slaže sa ranije prihvaćenim istinama. Problem koji se ovde sreće je da iako neophodan uslov istine, koherencija nije i dovoljan uslov. Neki sistem istina kome nova istina koherentno pripada može biti u celini potpuno pogrešan (ili besmislen). Moguće je koherentno misliti ali da to i dalje nema veze sa stvarnošću.
verifikacija	Može podrazumevati one istine koje je moguće nepogrešivo proveriti u praksi (slično korespondenciji, s tim da dozvoljava kao kriterijum istine proveru logičkih posledica tvrđenja koje ispitujemo) ili ona tvrđenja za koja kažemo da su istinita jer uspevaju u praksi (pragmatička teorija istine).

Sholastika

Do otkrića i prevoda Aristotelovih dela na latinski sa grčkog i arapskog, početkom XIII veka, u sred-njevekovnoj Evropi je vladao dogmatski stav po pitanju mogućnosti istinitog znanja. Istina je bila dogma¹⁰, nepovredivo znanje hrišćanske crkve koje se ne dovodi u sumnju, a čija je veza sa klasičnom filozofijom nalažena u Platonovom idealizmu. Aristotelova argumentacija podstiče sekularno filozofiranje iz čijeg zaoštavanja sa crkvenim dogmama sledi sholastički pokret pomirenja klasične filozofije i hrišćanske religijske misli. Pri izboru tradicije na kojoj bi izgradio hrišćansku metafiziku Toma Akvinski (*Thomas Aquinas, c. 1225-1274*) o Aristotelu misli kao o zlatnoj sredini između dva ekstrema: Platonove teorije o formama o kojima saznajemo razumom i Demokritovog atomizma koji svodi sva znanja na empirijska [6]. U skladu sa tomizmom (po ocu sholastike Tomi Akvinskom i autoru najuticajnijeg dela epohe, *Summa Theologica*) Skotus (*John Duns Scotus, c. 1265-1308*) objašnjava kako je naučno znanje istinito jer su prvi principi iz kojih sledi poznati sa sigurnošću. Prvi principi su očigledne sigurne istine, samo na osnovu značenja i upotrebe termina kojima ih formulišemo [6]. Skotus pravda i opšti princip indukcije i smatra kako se znanje o kauzalnoj vezi među pojavama može dobiti iz iskustva. Ovakvo shvatanje je tipično za sholastički realizam po pitanju istine u naukama.

Radikalni zaokret od aristotelijanske slike sigurnih znanja dolazi sa skeptičkim sholastikom Viljemom Okamom (*William of Ockham, c. 1280-1349*). U skladu sa svojim teološkim argumentom (s obzirom na imaginaciju - lat. *secundum imaginationem*), po kojem je moguće sve što se da konzistentno zamisliti, Okam zaključuje kako priroda ne funkcioniše ni po kakvom nužnom sledu uzroka i posledice. Ovaj stav sledi zapravo iz primedbe da svemogućí Bog (lat. *omnipotent*) ne treba biti ograničen ničim sem zakonom kontradikcije. S obzirom da Bog može intervenisati uvek, znanje o uzroku i posledicama nije moguće. Okamov skepticizam se ogleda i u odbacivanju univerzalija¹¹ čime je jedino moguće znanje po njemu empirijsko, ali nikada sigurno. Savremenoj nauci bitan je princip koji nosi njegovo ime, Okamov rezač, koji kada se uzme bez skeptičke pozadine može poslužiti na primer pri izboru između konkurentnih teorija. Može se nazvati i principom ekonomije misli: Entitete ne treba nepotrebno umnožavati.

Okam i Skotus su se bavili filozofijom naučnog znanja ali potpuno zanemarujući samu nauku [6], bar njenu ulogu u tretiranju kvantitativnih strana pojava. Nije ih zanimala uloga matematike u fizici i drugim naukama, tj. bavili su se isključivo kvalitativnim odlikama stvari, zanemarujući potpuno i ulogu eksperimenta (oboju su pritom bili empiristi). Često se misli da eksperiment dobija značaj tek kod Galileja (*Galileo Galilei, 1564-1642*), mada su još prethodnici Okama i Skotusa, Bekon (*Roger Bacon, 1214-1292*) i Groseteste (*Robert Grosseteste, c. 1168-1253*) zagovarali eksperimentisanje. Bekon je tvrdio kako sva nauka bazira na matematici, kako činjenice treba organizovati matematičkim principima, i kako empirijsko znanje zahteva aktivno eksperimentisanje. Njihov odnos prema matematici kao osnovi fizike drugačiji je ipak od savremenog, koji dolazi sa Kopernikom (*Nicolaus Copernicus, 1473-1543*), Galilejom i Njutnom (*Isaac Newton, 1642-1727*). Pažnju matematici poklanjaju i sholastici Merton koledža u Oksfordu i Pariski sholastici (*Nicole Oresme, c. 1320-1382* i dr.) koji sa ontologije kretanja prelaze na merenje kretanja. Do realističkog pogleda po pitanju matematičke prirode fizičkih zakona dolazi prvenstveno u Kopernikovom *De revolutionibus orbium coelestium*, gde matematički model pretenduje da bude i realna slika pojava pre nego da samo *spašava pojave*. U astronomiji spašavanje pojava matematičkim modelima datira još od Ptolomeja (*Claudius Ptolemy, c. 85-c. 165*) koji pri izboru matematičkog modela neba objašnjava kako s obzirom da svi modeli zadovoljavajuće dobro predviđaju, svi su jednako dobri. Pitanje o fizičkoj realnosti matematičke slike kod Ptolomeja se ne javlja. Raskidanje sa tom tradicijom dovodi do Galilejevog protopozitivističkog realizma: "Knjiga prirode napisana je jezikom matematike".

Galilej, dakle, posmatra Kopernikovu heliocentričnu teoriju kao realističku koncepciju i pritom zaključuje da na putu ka tačnom i realnom opisu stvarnosti, iako izvor znanja, čula nas mogu obmanuti. Naučno znanje je idealizacija i apstrakcija iskustva do onih osobina stvari koje mogu imati matematički nepromenljivu formu. U odnosu na iskustvo stvari pokazuju primarne i sekundarne kvalitete. Primarni kvaliteti, oblik, veličina, kretanje, saznanji su realistički i podložni matematičkom opisivanju. Sekundarni kvaliteti kao boja i ukus nastaju uticajem primarnih kvaliteta objekata na čula i nisu predmet nauke.

¹⁰gr. *δόγματα* - ono šta se nekom čini (pričinjava), verovanja

¹¹Univerzalije su pojmovi koji predstavljaju zajedničke, opšte osobine pojedinačnih stvari. Platon je smatrao da postoje nezavisno od objekata u posebnom svetu, svetu ideja. Po Aristotelu univerzalije su u predmetima, zajednička osobina svih predmeta iste vrste ili osobina, bitna karakteristika. Kategorično odricanje realnosti univerzalija čine nominalisti, koji smatraju da postoje samo partikularije i imena (lat. *nomina*).

Kartezijanstvo

Do Dekarta (lat. Renatus Des-Cartes, pa otud i Cartesius) izvori znanja i na koji način nam je znanje dostupno nisu bile centralne okupacije filozofa. Osim Platona, skoro sva nauka je bila empiristička u onom smislu da se smatralo da ne postoji znanje pre iskustva, da sve polazi od čula, dok su neki tvrdili i kako ničeg nema u umu čega nije bilo u čulima. Razum je davao doprinos znanjima tek kao sekundarni izvor. Kod Aristotela smo razumeli kako je uz čula još samo razumom vođena intuicija dovoljna za saznanje prvih principa. Platon, čiju je teoriju saznanja nemoguće razlučiti od njegove idealističke filozofije, smatra kako tek (raz)umom dolazimo do istinitih znanja o formama stvari po kojima one postoje u čulima. Sholastički empiristi nam međutim ne govore o različitim izvorima saznanja, jer svo znanje polazi od čula i iskustva. Drugo je pitanje kako opravdati sigurnost u znanje. Videli smo već da nisu svi pogledi po pitanju sigurnosti znanja skeptički. Međutim, Dekart uviđa da se ovim vidom empirizma može doći samo do virtuelne sigurnosti, do znanja kojem je moguće naći potvrdu ali nije i nužno istinito [51]. Motiv za svoj sistem vidi u potrazi za metafizičkom sigurnošću, po njemu neostavarenom ni kod Platona ni kod Aristotela, time ni kod sholastičara. Dekart problematizuje čitavu metafiziku u borbi protiv skepse.

Metafizička sigurnost po Dekartu podrazumeva nužno istinito a priori¹² znanje, dakle pre svakog iskustva. Značaj Dekartove misli je u tome što težište rasprave o (naučnom) znanju prebacuje na pitanje o opravdanju znanja putem metafizike. Kasniji filozofi dele se po tome da li priznaju mogućnost a priori znanja, znanja pre i van iskustva, ili odriču a priori iako to ne znači uvek i ne uplitanje metafizike. U prvu grupu spadaju racionalisti Lajbnic (*Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716*), Spinoza (*Baruch de Spinoza, 1632-1677*) i sam Dekart. Dekart priznaje potrebu za hipotezama¹³ i za empirističkom potvrdom hipoteza jer iz njegove metafizičke osnove nije moguće izvesti svo znanje. Dekart je time racionalist samo po pitanju uslova znanja - postojanja a priori istina. Apriornu metafizičku osnovu zahteva i na radikalno nov način pronalazi Imanuel Kant (*Immanuel Kant, 1724-1804*). Drugu grupu čine nominalisti među empiristima Lok (*John Locke, 1632-1704*) i Hjum (*David Hume, 1711-1776*) i među fizičarima Bojl (*Robert Boyle, 1627-1691*), Gasendi (*Pierre Gassendi, 1592-1655*) i Njutn.

Nominalizam i transcendentalni kriticizam Imanuela Kanta

Njutnova metodološka razmatranja brzo postaju referenca svih kasnijih koncepcija naučnog metoda [6]. Postavljanjem granica onome što se može saznati i precizno određivši put saznanja Njutn zasniva sigurno naučno znanje, bez potrebe za a priori metafizikom. Kartezijanski put saznanja objektivne stvarnosti pokazao se kao predug, ako uopšte moguć do kraja. Njutn odbacuje potpuno ne samo apriori znanje već i postavljanje hipoteza u Dekartovom stilu. *Hypotheses non fingo*, "ne postavljam hipoteze" kaže Njutn, u cilju ograničenja od svih metafizičkih, spekulativnih i nematematičkih pretpostavki u nauci. Ovaj stav donekle podseća na Okamov rezač, što je razumljivo budući da im je zajednička osnova odbacivanje univerzalija usled nemogućnosti njihove direktne spoznaje, ili iz kog bilo razloga.

Za realiste po pitanju postojanja univerzalija zaključivanje o opštim osobinama na osnovu spoznaje partikularnih fenomena je moguće, barem u načelu. Hjum u delu *A Treatise on Human Nature*, pa i pre njega Lok u *An Essay concerning Human Understanding* pokazuju kako nominalistički stav koliko god neophodan, na epistemološkom polju nije u stanju da dovede do sigurnosti u znanja koja posedujemo. Srešćemo se kasnije sa savremenim pristupom problemu indukcije, za sada je bitno reći da nominalisti ne uspeavaju da pronađu metafizičku sigurnost samim tim što ne mogu opravdati veru u buduće događaje na osnovu poznavanja prošlih, opravdanje induktivnog zaključivanja. Hjum pronalazi psihološko opravdanje za induktivni tok misli, ali usled nemoći pred potrebom za logičkim opravdanjem, nerado zauzima skeptički stav. Problemi filozofiji nauke su: za racionaliste preneti apriorne nužne istine na istine o objektivnom svetu, a za empiriste naći opravdanje za indukciju.

Svojevrsno pomirenje empirizma i racionalizma nalazimo kod Kanta. Osnovna ideja njegovog filozofskog sistema je da ako svo znanje i potiče iz iskustva ono ne izrasta iz njega. Svo znanje je uslovljeno i oblikovano kategorijama mišljenja koje posedujemo i formama opažanja - preduslovom svakog iskustva. Um poseduje forme opažanja koje pri čulnom iskustvu nameće svetu i time omogućava opažanje. Po Kantu su te forme (opažanja ili čiste intuicije) prostor i vreme. Apriorni izvor znanja univerzalnih zakona nauke su transcendentalni¹⁴ principi čiste intuicije.

¹²lat. *a priori* - ono što je pre nečeg.

¹³gr. *υποθεσις* - pretpostavka, uslov za postavku (tezu). Generalizacija iz iskustva, induktivno tvrđenje koje treba posredno ili neposredno proveriti.

¹⁴Po Kantu *transcendentalno* je ono znanje koje nam kaže kako možemo imati znanje o objektima pre iskustva. Znanje o mogućnosti i načinu znanja a priori.

Kant nije čist empirist (ni čist racionalist) ali u odnosu na empirističku doktrinu pokazuje kako *Analogije iskustva*, određeni transcendentelni zakoni, moraju važiti kako bi iskustvo bilo moguće. Ovi zakoni su sintetički¹⁵ a priori principi iz kojih sledi univerzalni zakon kauzalnosti: sve što se dešava, tj. počinje da bude, pretpostavlja nešto iz čega sledi po pravilu. Nikakva empirijska generalizacije ne dovodi od ovog zakona, šta više ovaj zakon um nameće objektima iskustva [6]. Um doprinosi razumevanju time što omogućuje iskustvo, um poseduje mogućnost iskustva.

Kant metafiziku vidi kao strogu nauku o sintetičkim a priori istinama. Najosetljiviji deo njegove grandiozne sheme znanja jeste prelaz sa nužne sigurnosti a priori znanja na opravdanje sigurnosti empirijskog znanja. Rešenje pronalazi u konkretizaciji transcendentelnih principa: u matematici aksiome euklidove geometrije i aksiome aritmetike prepoznaje kao sintetičke a priori istine koje omogućuju prostor i vreme kao forme opažanja; u fizici Analogije iskustva su konkretizovane u Njutnovim zakonima. Veći deo filozofije XX veka usmeren je ka rušenju kantijanske filozofije sintetičkih a priori istina, pa čak i odbacivanju apriornih znanja uopšte.

Konvencionalizam i preteče logičkog pozitivizma

Njutn-kantijanski sistem ostao je znatnije neuzdrman sve do logičkog pozitivizma. Kantova nauka metafizike pruža uslov za mehanicističku, njutnonovsku fiziku materije u kretanju. Svi fenomeni objektivne realnosti objašnjivi su zakonima materije u pokretu. Naučno znanje čine transcendentelni zakoni mogućnosti iskustva, metafizički zakoni o načinu postojanja materije i konkretni fizički zakoni koji određuju vrste i detalje kretanja materije. Sam Kant predviđa kraj metafizike kao spekulativne discipline i prevlast nauke nad filozofijom kakva je mišljena do tada. Konačan udarac na ovu koncepciju znanja došao je, ironično, baš iz nauka, ali pre toga treba nešto reći o sporadičnim napadima koji predhode.

Iako je a posteriori¹⁶ znanje neophodno za kompletnu sliku koju nauka pruža, ostaje problem potvrde istinitost novih naučnih hipoteza. Saglasnost sa fundamentalnim fizičkim teorijama, koje su sintetičke istine i konkretizacije a priori principa, nije dovoljna kao kriterijum istine. U Engleskoj Mill (*John Stuart Mill, 1806-1873*) pokazuje kako nova hipoteza ne može biti istinita na osnovu toga što je u skladu sa poznatim fenomenima (i teorijom koja objašnjava poznate fenomene), jer istu saglasnost može imati proizvoljno mnogo hipoteza.

Ako istinitost teorije ne može biti dokazana sa zadovoljavajućom sigurnošću može se argumentovati u prilog tome da teorije nisu drugo do konvencije, ili da imaju samo instrumentalnu ulogu popisa fenomena, itd. S pojavom atomizma pitanje se postavlja ne samo da li je teorija proveriva, već i da li sme da sadrži pojmove neopservabilnih entiteta¹⁷. Mah (*Ernst Mach, 1838-1916*) odbacuje koncept atoma kao empirijski neadekvatan. Dijem (*Pierre Duhem, 1861-1916*) ide i dalje i tvrdi kako, s obzirom da objašnjenje pripada metafizici a ne nauci, neku naučnu hipotezu (kao onu o atomima kao uzrocima opaženih fenomena) ne možemo nikada dokazati ili opovrgnuti unutar nauke. Teorija ne može biti testirana u izolaciji od drugih teorija. Još dalje, svaka teorija može biti spašena od odbacivanja u odnosu na eksperiment koji odbacuje neke njene zaključke pravljenjem srazmernih promena unutar teorije. Po Dijemu svaki eksperiment u nauci nije prosto izveštavanje o fenomenu, već je uvek i interpretacija (eksperiment je vođen teorijom, eng. *theory-laden*). Naučne teorije treba prihvatati samo kao empirijski adekvatne ili neadekvatne klasifikacije fenomena. Dijem je tipični predstavnik konvencionalizma.

Još jedan napad na sigurnu arhitektoniku Kanta sprovodi Poenkare (*Henri Poincaré, 1854-1912*) pitanjem da li je fizički prostor nužno euklidski. Poenkare shvata rastuću upotrebu neeuklidskih geometrija u fizici kao dokaz da fizički prostor uvodimo konvencijama, pre nego a priori važećim sintetičkim sudovima. Pritom izbor odgovarajuće "konvencije" nije proizvoljan, već na njega uticaj imaju empirijske činjenice i metodološki zahtevi. Odbranu protiv konvencionalizma uzima na sebe začetnik neokantijanske škole Kasirer (*Ernst Cassirer, 1874-1945*) koji konkretizaciju Kantovih transcendentelnih principa na matematiku i fundamentalne fizičke zakone vidi kao konvergentan proces sve preciznijih formulacija sintetičkih a priori sudova u naukama. Samu prirodu a priori znanja napada Rajhenbah (*Hans Reichenbach, 1891-1953*) deleći pojam na dva aspekta [48]: a priori sudovi su nužne istine i a priori je ono znanje koje omogućuje znanje iskustvenih objekata. Rajhenbah odbacuje prvi aspekt i prihvata drugi kao neizbežan. Time relativizuje pojam a priori znanja [6]. Svim ovim partikularnim zamerama, Poenkare, Mah i Rajhenbah već su na tragu uticajnoj školi mišljenja nauke bez potreba za metafizikom, logičkom pozitivizmu.

¹⁵Sud je sintetički ako se predikat suda nalazi van subjekta, čime se tvrdi nešto novo. Analitički sudovi su oni kod kojih je predikat već sadržan u subjektu i do njega se može doći analizom pojma subjekta. Analitički sudovi raščlanjuju pojam ali ne donose novo znanje.

¹⁶lat. *a posteriori* - posle, nakon. Znanje izvedeno iz iskustva, nakon iskustva.

¹⁷Za objašnjenje direktno posmatranih fenomena, kao što je Braunovsko kretanje, postuliraju se neopaženi entiteti, eng. *unobservables*, u ovom slučaju atomi.

Logički pozitivizam i kritike

Period renesanse (ili možda tačnije rođenje prirodnih nauka), od Kopernika i Keplera (*Johannes Kepler, 1571-1630*), preko Galileja, do Njutna, Bojla i dr., može se porediti sa mnogo kraćim periodom s početka XX veka, poznatim kao Druga naučna revolucija. Prvi preporod odredili su mislioci poput Dekarta, kasnije Loka, Hjuma, do Kanta; sa Drugom revolucijom javlja se potreba za novom filozofijom. Ono karakteristično savremenom sledu događaja je da se za filozofskim objašnjenjem javlja potreba pre nego da filozofija trasira put novim istraživanjima, kao što je to bilo u periodu pre "odrastanja" nauka. Karakteristika nauke u povoju bili su filozofi-naučnici. Do krajnosti razrađena klasična mehanika i njena zadovoljavajuća prediktabilnost kroz tehnike koje razvijaju Ojler (*Leonhard Euler, 1707-1783*), Lagranž (*Joseph-Louis Lagrange, 1736-1813*), Laplas (*Pierre-Simon Laplace, 1749-1827*) i ostali, onda matematička analiza kao moćan alat i razvoj matematičke fizike, u XIX veku stvaraju osećaj kompletnosti naučnog pogleda na svet. Njutnova koncepcija apsolutnog vremena i prostora kao pozornice za fizičke događaje savršeno se uklapa u transcendentalnu filozofiju Imanuela Kanta. Prostor i vreme, epistemološki razmatrani, predstavljaju forme opažanja i uslov iskustva.

Krajem XIX i početkom XX veka nauka nanovo procvetava, većim žarom i to čini se potpuno nezavisno od ustaljenih filozofskih usmerenja. Objašnjenje radioaktivnosti, teorija svetlosti kao elektromagnetnog (EM) talasa, postavke novog principa relativnosti u odnosu na prostiranje svetlosti - ujedinjenje mehaničkih i EM pojava, postuliranje i dokazivanje postojanja paketa, kvanata energije, i drugo, rezultati su armije fantastičnih naučnika-fizičara. Matematičari zasnivaju alternativne sisteme geometrija koji su primenljivi u fizici, aritmetika se oslobađa naloga da bude sintetičko znanje (radovi Fregea (*Gottlob Frege, 1848-1925*)), a geometrija da bude aksiomatizovana po pravilima intuicije (Hilbertov (*David Hilbert, 1862-1943*) formalizam). Logika svojim formalnim delom, matematičkom logikom, postaje samostalna nauka, sada u službi nauke kao tehnika, ne više u potpunoj vlasti filozofije. Verovatnoća je upregnuta u nezaustavljiva kola naučnog znanja, i ne nosi više negativnu konotaciju nesigurnosti, jer se u vidu računa verovatnoće takođe koristi kao alat i tehnika saznanja. Pozitivne rezultate daju i biologija (teorija evolucije) i psihologija kroz psihoanalizu. Naučnost proklamuju mnoge discipline, doduše neke i nezasluženo jer ni nema arbitra istine, filozofije nauke koja bi bila u stanju da konzistentno objasni sve pojave u nauci. Tako, iako pozitivni, naučni rezultati XX veka unose pometnju u sliku sveta. Destruktivni karakter Druge naučne revolucije čine pre svega:

- Kriza njutnovske fizike bilo kroz teorije relativnosti, bilo na polju mikro čestica, ujedno je i kriza apsolutnog prostora i vremena po Njutnu, ali i kriza formi iskustva po Kantu, pa i kriza zakona kauzalnosti kao apriornog zakona.
- Rani rezultati logicizma u matematici, formalizam i aksiomatizacije bez potrebe intuicije (ili čiste intuicije po Kantu), proizvoljnost u odabiru aksioma, čine matematiku formalnom i praznom konvencijom. Pokazuje se neadekvatnost Kantove koncepcije euklidske geometrije kao sintetičkog a priori znanja, jer neeuklidske geometrije nalaze svoju fizičku interpretaciju u Ajnštajnovim teorijama relativnosti. Ni aritmetika ni geometrija ne slede po intuiciji: niti su nužna znanja (euklidska geometrija nije a priori, čim je fizički relevantna i neka od neeuklidskih) niti uvek sintetičke istine (Frege pokazuje da aritmetiku čine analitički sudovi).
- Nove teorije, naročito kvantna mehanika i njena tumačenja, uz Hajzenbergov (*Werner Heisenberg, 1901-1976*) princip neodređenosti, problematizuju i ontološke osnove nauka.

Između dva rata, kao odgovor na nova naučna dostignuća, u Beču se formira škola mišljenja i tumačenja prirode, Bečki krug¹⁸. Osnivači Moric Šlik (*Moritz Schlick, 1882-1936*), Filip Frank (*Philipp Frank, 1884-1966*), Hans Han (*Hans Hahn, 1879-1934*), Fejgel (*Herbert Feigl, 1902-1988*), Oto Nojrat (*Otto Neurath, 1882-1945*), Rudolf Karnap (*Rudolf Carnap, 1891-1970*), iako različitih interesovanja zauzimali su stav kontra neokantovskoj školi, koja se nametala kao konkurentna škola mišljenja. Na tradiciji britanskog empirizma, cilj pripadnika Bečkog kruga bio je ispitati na koji to način svako naše znanje odgovara činjenicama koje dobijamo putem eksperimenta. Za razliku od britanskog empirizma, osim u eksperimentu, sigurnost teorije leži i u logičkom sledu zaključaka iz osnovnih postavki teorije, pa su zato pripadnici Bečkog kruga poznati i kao logički pozitivisti. Pre svih aktuelno pitanje je bilo: Šta je to što naučne izjave čini smislenim? Odgovor je zahtevao ispunjenje dva zadatka:

- *Učiniti naučne izjave o svetu jasnim i nedvosmislenim, to jest izbeći nerazumevanja koja dolaze usled upotrebe svakodnevnog jezika.*
Rešenje logiko-pozitivista ogledalo se u zadržavanju na teorijskom jeziku koji se po pojmovima razlikuje od empirijskog ali koji u odnosu na empirijski ne sme biti u relaciji koja je višeznačna ili nepoznata. Sve rečenice teorijskog jezika biće prevedene ili razumljive putem neekvivokalnog¹⁹ jezika predikatske logike.
- *Razviti metod za utvrđivanje tačne i precizne veze između empirijskog jezika i (novog) teorijskog jezika.*
Drugim rečima, biti u mogućnosti da kažemo, na osnovu određenog kriterijuma, koje izjave su istinite. Takav metod je nazvan princip verifikacije, po kome mora postojati procedura za utvrđivanje istinitosti određene izjave, dok se usled nepostojanja takve procedure rečenica smatra empirijski besmislenom. Princip verifikacije bio je praktična tehnika isključivanja metafizičkih sudova iz nauka.

Dalje, prema pozitivistima, sve empirijski besmislene rečenice smatrane su nekognitivnim. Svaka metafizička, etička tvrdnja ili bilo koji drugi stav, koji princip verifikacije odbaci, tada je i nenaučni. Karnap (*Rudolf Carnap*) u svom delu *Logische Syntax der Sprache* objašnjava kako se ovakvom analizom nauka čisti od

¹⁸nem. *Wiener Kreis*, grupa filozofa okupljenih oko zajedničke ideje odbacivanja metafizike i zasnivanja filozofije samo na logičkim zakonima i činjenicama koje su nam dostupne putem eksperimenta. Svoj program i ciljeve iznosili su u časopisu *Erkenntnis*.

¹⁹eng. *unequivocal* - nedvosmislen, jasan i razgovetan.

metafizike. Radi se na stvaranju univerzalnog jezika nauke [13][22], takvog koji bi imao i komponentu koja bi predstavljala most između teorijskog (neproverivog) i empirijskog (činjeničnog) jezika. Rečenice takvog intermedijarnog jezika bile bi redukovane, svedene rečenice teorijskog jezika. Stoga se od teorija traži da budu u što većoj meri izložene aksiomatski kako bi ih što lakše popisali i preveli na proverive rečenice objekt-jezika (jezika činjenica, za razliku od meta-jezika, kojim govorimo o činjenicama).

Iako najuticajniji, Bečki krug filozofa nije jedina grupa logičkih pozitivista. U Berlinu ista usmerenja imaju Rajhenbah, Hempel (*Carl Hempel, 1905-1997*), a u Varšavi Alfred Tarski (*Alfred Tarski, 1901-1983*), Lesniewski (*Stanislaw Lesniewski, 1886-1939*) i Kotarbinski (*Tadeusz Kotarbinski, 1886-1981*) [57]. Usponom nacizma u Nemačkoj mnogi mislioci napuštaju evropski kontinent [57] ili bar kontinentalni deo Evrope (Nojrat i pozitivistima blizak Karl Popper). Težište, ne i sagovornici, se menja, uz to dolazi i do znatnijih razmimoilaženja tako da se ceo pokret označava od tog trenutka sve više kao logički empirizam.

Težnja ka jasnom zasnivanju nauke na objekt-jeziku i logici prirodno je vodila kod mnogih logičkih pozitivista ka veri u opšte osnove sveukupne nauke. U osnovi njihovog stava je **redukcija**²⁰, tj. svođenje teorijskog jezika na nedvosmisleni jezik logike. Nedvosmilnim jezikom logike, trebalo se pokazati, mogu se izraziti osnovni stavovi, aksiomi sveukupne nauke iz kojih opet po logičkim zakonima sledi svo posebno znanje. Redukcija je isti onaj proces kome se može podvrgnuti npr. termodinamika (i time se svede na statističku mehaniku), s tim da je kod logičkih pozitivista podignuta na nivo osnovnog metoda filozofije nauke [62]. Redukcija teorija kod njih se šire primenjuje kao redukcija naučnih znanja do nivoa logike. Hilbertovim radovima na strogoj aksiomatizaciji matematičkih disciplina otvoren je put i ka strogoj aksiomatizaciji fizike. Takva aksiomatizacija podrazumeva redukciju do matematike ili logike (prevođenje fizičkih termina i stavova na jezik simbola). Težnja ka ovoj vrsti redukcije naziva se logicizam u nauci, finitizam ili Hilbertov program [63][22].

Pored redukcije, koja na neki način dolazi kao posledica širih filozofskih principa, drugi metod koji pozitivisti nezavisno koriste jeste **eksplikacija**²¹ [58]. Ovaj metod podrazumeva objašnjenje ali i jasno ukazivanje na osnovne osobine pojma koji se eksplikuje. Eksplikacija je nužna pri analitičkom pristupu filozofiji, pa se i u filozofiji nauke logičkih pozitivista uzima kao osnovni metod pojašnjenja koncepata i razjašnjenja bilo koje problemske situacije.

²⁰eng. *reduction* - svođenje. Redukcija kao metod može imati veoma velik značaj ako se shvati kao metod svođenja jedne naučne teorije na drugu. Primeri su brojni, mada često i diskutabilni: svođenje termodinamike na statističku mehaniku, svođenje hemije na fiziku, itd. Treba doduše biti oprezan i praviti razliku između ovako shvaćene redukcije i neke ontološke redukcije - svođenja entiteta (npr. poistovećivanje emocija i fizioloških pojava koje ih prate) [62][63].

²¹eng. *explication* - pojašnjenje, ekspliciranje, donekle različito od objašnjenja (eng. *explanation*).

Slika nauke koju su pozitivisti nudili nikad nije potpuno zaživela. Idealizovana preciznost na logici baziranog jezika, uvek jednaka proverivost i mogućnost potvrde i druge karakteristike koje su zahtevane od nauke i naučnika nisu u potpunosti ostvarene. Ipak, logički pozitivizam se dotakao svih onih problema koje filozofija nauke obuhvata, šta više logički pozitivizam definiše terminologiju i tok svih daljih rasprava savremene filozofije nauke.

Nešto pre osnivanja Bečkog kruga, tačnije 1922. godine, Vitgenštajn (*Ludwig Wittgenstein, 1889-1951*) objavljuje jedno od najuticajnijih dela XX veka *Tractatus logico-philosophicus*, koje izvorno i pokreće pozitiviste i čija se sadržina, nepravedno naravno, može izraziti jednim od zaključaka: "Ono o čemu ne možemo govoriti o tome moramo ostati nemi."²² Uskoro nakon, sva filozofija postaje analitička, pa je kraj metafizike najavljivan još od vremena Kanta, kroz logičke pozitiviste konačno ostvaren, bar prividno i na kratko. Druge i drugačije filozofije karakterišu se kao kontinentalna filozofija²³, dok se u Americi i Engleskoj vodeće rasprave vode oko jezika i značenja, i prateći taj raniji rad Ludviga Vitgenštajna filozofija postaje pretežno teorija jezika, značenja, dakle filozofija jezika. Filozofija nauke ipak, sa analitičkom filozofijom, dobija puno, a pre svega nove tehnike logičke analize teorija.

Kritike logičkog pozitivizma

Značajnije kritike logičkog pozitivizma, van samog njihovog širokog kruga filozofa, dolaze od Kuna (*Thomas Kuhn, 1922-1996*), Lakatoša (*Imre Lakatos, 1922-1974*), Kvajna (*Willard Quine, 1908-2000*), Popera (*Karl Popper, 1902-1994*) i Fejerabenda (*Paul Feyerabend, 1924-1994*), a još skorije od Patnama (*Hilary Putnam, 1926*) ili Ajera (*A. J. Ayer, 1910-1989*).

Iako se pokazala kao kruta, nedovoljna ili čak umnogome pogrešna, filozofija logičkih pozitivista podsticala je na napredak u matematici, prirodnim i mnogim društvenim naukama. Usled velikih promena koje je donela, pre svega promene jezika kojim se filozofira (filozofske rasprave su od tada često nemoguće bez poznavanja formalne logike), teško je bilo napasti i kritikovati ovaj filozofski sistem, čak iako među samim pozitivistima nije bilo saglasja.

Vilard Kvajn, jednim od značajnijih dela filozofije nauke sredine prošlog veka, *Two dogmas of empiricism*, napada razdvajanje na sintetičko i analitičko znanje koje je suština odvajanja teorijskog i empirijskog korpusa znanja kod logičkih pozitivista, kao i redukciju teorijskog jezika (druga dogma) koja po Kvajnu nije

²²Vitgenštajn misli na sve one metafizičke stavove koji nemaju potvrdu u onom smislu u kom i pozitivisti.

²³Za razliku od analitičke filozofije koja se praktikuje u V. Britaniji i Americi. Kontinentalni filozofi bili bi fenomenalisti, egzistencijalisti, sledbenici Hegelove misli, itd.

moгуća. Stavovi empirijskog jezika, jer tvrde uvek novo znanje, sintetički su stavovi, dok teorijsko znanje predstavlja čisto analitički sistem organizacije činjenica. Kvajn tvrdi kako ta razlika nije uvek tako jasna i kako često sintetički stavovi nemaju nikakvo značenje bez pozivanja na teoriju (što oživljava Dijemov konvencionalizam po pitanju istine u naučnoj teoriji). Nijedna naučna hipoteza ne može se izolovati i testirati eksperimentom bez pozivanja na pomoćna tvrđenja i ostatak teorije ili teorija kojima pripada [21]. Ovo je osnova za Kvajn-Dijemovu tezu, po kojoj dalje nije moguće opovrgnuti ni jednu teoriju u izolaciji, bez pozivanja na druge teorije. Pored toga nemogućnost redukcije teorijskog jezika znači da je teorija uvek nedovoljno određena eksperimentom (eng. *underdetermined*), ili da je informacija koju teorija nosi uvek veća od informacija eksperimenata koji podržavaju teoriju. Jasno je kako ovi stavovi komplikuju i zamućuju sliku koju nudi Bečki krug i njihovi sledbenici.

I pre logičkih pozitivista potvrda teorija eksperimentom ili svakodnevnim iskustvom, bila je potvrda naučnosti te teorije. Međutim time se ništa ne kaže o posebnom epistemološkom statusu nauke. Princip verifikacije, iako je precizno tretirao ovaj problem, nije dao i zadovoljavajuće rešenje. Karl Popper je prvi uvideo pravi smisao problema razgraničenja nauke od nenaučnih sistema, drugačije problem demarkacije²⁴ i povezo ga sa dobro poznatim problemom opravdanja indukcije [19]. U XVII veku Hjum postavlja pitanje o logičkoj i psihološkoj opravdanosti induktivnog zaključivanja u nauci i svakodnevnom životu. To pitanje postaje poznato kao problem indukcije a njegovo razrešenje bilo je i jeste često međaš filozofskih pravaca i škola mišljenja. Induktivno zaključivanje bilo bi ono koje predstavlja proces uopštavanja iskustva, koje se kreće od pojedinačnog ka opštem (za razliku od deduktivnog koje ide od opšteg ka posebnom i pojedinačnom). U delu "Objektivno saznanje" Popper objašnjava svoj doprinos rešavanju tog problema [50]. On Hjumov problem postavlja na sledeći način:

- HL - HJUMOV LOGIČKI PROBLEM *Da li je opravdano naše zaključivanje od ponovljenih pojedinačnih slučajeva o kojima imamo iskustvo ka drugim slučajevima, zaključcima, o kojima nemamo iskustvo?*
Hume-ov odgovor je NE, čime odbacuje indukciju kao metod za postizanje naučnih istina i uopšte postaje skeptik po pitanju mogućnosti istinitih znanja.
- HP - HJUMOV PSIHOLOŠKI PROBLEM *Zašto ipak, svi razboriti ljudi očekuju i veruju da će se slučajevi o kojima nemaju iskustvo slagati sa onima o kojima imaju iskustvo?*
U mehanizmu asocijacija ideja i usled navike Hume vidi objašnjenje paradoksalne situacije. Time se stiže do toga da ".logika i um igraju samo malu ulogu u našem razumevanju. Naše saznanje" je demaskirano kao verovanje.." [50]. Bertrand Rasel takođe napada ovaj stav kritikujući posledice po naučni metod i zahteva pronalaženje opravdanja za indukciju²⁵: "Zato je važno da se otkrije da li unutar filozofije koja je u celini, ili uglavnom, empirijska postoji bilo koji odgovor Hjumu. Ako ne, nema intelektualne razlike između razboritosti i nerazboritosti. Ludaka, koji veruje da je on poširano jaje, treba osuđivati samo na osnovu toga što je u manjini..."

²⁴eng. *demarcation* - razobličenje, razotkrivanje, razgraničenje.

²⁵History of western philosophy, B. Russel, 1946. godine.

Poper kritikuje način podele problema koji Hjum nudi, jer bi logički problem trebalo da sadrži samo objektivne termine, namesto subjektivnih. Objektivni termini koje Poper predlaže bili bi "test iskazi" umesto slučajevi o kojima imamo iskustvo" i "univerzalna objašnjavaćka teorija" umesto slučajevi o kojima nemamo iskustvo" pa logički problem sada glasi [50]:

- PL1 *Može li da se opravda tvrdnja da je objašnjavaćka univerzalna teorija istinita na osnovu pretpostavke o istinitosti izvesnog test iskaza?* Poperov odgovor glasi NE, koliko god istinitih test iskaza ne može opravdati tvrdnju da je univerzalna teorija istinita. Međutim, Poper predlaže i generalizaciju logičkog problema na sledeći način.
- PL2 *Može li se tvrdnja da je neka objašnjavaćka teorija istinita ili lažna opravdati pomoću "empirijskih razloga"?* Poperov odgovor je sada DA, u nekim slučajevima pretpostavka o istinitosti test iskaza može nam reći kako je teorija neistinita.

Rešenje generalizovanog logičkog problema indukcije Poperu daje mogućnost da odbacivanjem indukcije i dalje ostane na "čvrstim" osnovama jer je odgovor unekoliko učinjen pozitivnim. Ovo sve znači da je i problem demarkacije rešiv ne verifikacijom teorije već mogućnošću opovrgavanja. Po Poperu nema sigurnog znanja, jer je svo znanje provizorno i hipotetičko [50], što Popera udaljava od pozitivista. Ono što teoriju čini "istinolikom" jeste "podržanost" a ne potvrda²⁶. Šema rasta znanja putem kritičkog mišljenja, evolucionarna teorija saznanja Karla Popera kako je sam naziva bila bi:

$$PS1 \rightarrow PT \rightarrow Opovrgavanje \rightarrow PS2$$

Naučno znanje se kreće od jedne problemske situacije (PS1), preko privremene teorije (PT), koja je podložna opovrgavanju²⁷ do nove problemske situacije (PS2). Opovrgavanje u ovakvoj evolucionoj epistemologiji igra ulogu prirodne selekcije teorija. Tako se problem demarkacije dotiče i problema izbora među konkurentnim teorijama i problema rasta naučnog znanja [19][50]. Razlika između nauke i nenauke je dakle po Poperu u mogućnosti opovrgavanja, to jest u kritičnosti. Nenaučne su one teorije koje su opovrgnute iskustvom (unutar svojih domena važenja naravno, npr.: Njutnova mehanika nije lažna već nema isti domen važenja u odnosu na relativističku mehaniku). Falsifikovanim se nazivaju i one teorije koje u odnosu na novu teoriju imaju manju objašnjavaćku moć (Njutnova teorija jeste falsifikovana Majkelson-Morlijevim eksperimentom, jer Ajnštajnova teorija relativnost ima veću objašnjavaćku moć). Prve kritike upućene falsifikacionizmu odnose se na verovanje u postojanje privilegovanog eksperimenta (lat. *experimentum crucis*), koji može jasno razlučiti koju teoriju treba uzeti kao bolje podržanu, veće objašnjavaćke moći, i sl.

²⁶ eng. *corroboration* - podržanost, za razliku od eng. *confirmation* - potvrda.

²⁷ eng. *falsified theory*, po čemu se ceo sistem može nazvati falsifikacionizam.

Kritike koje logičkom pozitivizmu, ali i Popperovom falsifikacionizmu upućuju Kun i Lakatoš donekle su povezane i odnose se na problem smene naučnih teorija [20][10]. Logički pozitivizam kao jedini kriterijum smene teorija nudi princip verifikacije. Međutim, tek sa Kunom i Lakatošem dolazi do uviđaja značaja koji istorija nauke ima za analizu problema filozofije nauke. Kun o važećim teorijama misli kao o paradigrama istinitosti [20], do čije smene dolazi smenom epohe, naučnom revolucijom. Mesta za objektivni princip smene teorija, princip verifikacije ili falsifikacije, nema ili su bar uticaji takvih principa, ako bi uopšte bili oformljeni, kod Kuna, Lakatoša, pa i kasnije Fejerabenda, jako umanjeni.

Lakatoš istoriji nauke daje značaj parafrazom poznatog Kantovog stava o odnosu intuicije i intelekta. "Filozofija nauke bez istorije nauke je prazna, istorija nauke bez filozofije nauke je slepa." [10][57]. Možda najbitnija kritika logičkih pozitivista za metodologiju nauke (i svaki rad o metodologiji nauke) je ona koju upućuje, kako sebe naziva, anarhistički epistemolog i filozof nauke, Pol Fejerabend. On ide i dalje od Kuna i Lakatoša, do stava da u nauci uopšte i ne postoji opšti objektivni naučni metod saznanja. Ono najbolje što možemo da učinimo jeste da nauku ne načinimo dogmatskim sistemom [52]. Ne samo nauka kakvom je vide logički pozitivisti, već svaka paradigmatička slika nauke, preti da okošta i brzo predstavlja dogmu [18][53]. Svaka teorija, metafizički stav, pa čak i mit, po Fejerabendu mora biti osavremenjen i uključen u trku pri izboru objašnjenja novih fenomena [52]. Međutim, odsustvo opšteg naučnog metoda čini bilo koju metodologiju nauke ispraznom. Da bi ostali na pozitivnim osnovama, treba se vratiti barem do Kuna i priznati, recimo, trenutno paradigmatičko stanje nauke i metodologije nauke. U tom smislu, metodologija nauke danas još uvek je u velikoj meri metodologija pozitivnog (istinitog) znanja i s tim u vezi izuzetno mnogo duguje (barem kroz tehnike ako ne i ciljeve) metodologiji logičkih pozitivista.

1.2 Naučni metod

Naučna znanja kroz napredak tehnike i tehnologije savremenog sveta opravdavaju veru koju polažemo u njih. Međutim nije uvek lako pokazati na koji je to način naučno znanje epistemološki drugačije od drugih znanja. Ako bi pragmatički uslov bio jedini, da je opravdano ono znanje koje daje rezultate, ne bi ni bilo potrebe za ispitivanjem naučne prakse i traženjem specifičnih odlika naučnog puta do znanja - ne bi bilo potrebe za metodologijom. Ipak ni taj uslov ne bi isključio mogućnost metodologije kao što je anarhistički pristup, videli smo, isključuje. Metodologija je pre svega nauka o metodu, putu saznanja, o izgradnji naučnih teorija. Oko osnovnog zadatka metodologije vodi se najviše debata - postoji li jedan, samo nauci svojstven, metod nauke i koje su njegove etape.

Scientific Method i kritike

Kretanje znanja od pojedinačnih fenomena i zaključivanje o opštem, induktivno kretanje misli u procesu naučnog saznanja, osnova je svakog naučnog metoda, ako će nauka biti taj korpus znanja koji nam kaže kako stvari stoje, ako će nauka biti pozitivna disciplina. Aristotel govori o silogizmu koji objašnjava uzroke, kao o episteme, mada naučno znanje nije samo znanje o uzrocima pojedinačnih i posebnih fenomena. Znanje zakona, sigurnost da uzrok stalno dovodi do posledice Aristotel bazira na mogućnosti saznanja prvih principa, esencije stvari i pojava. Kada tvrdimo prvu premisu silogizma B (iz primera u prethodnom poglavlju) podrazumeva se da o svemu što jeste planeta, nabranjanjem, znamo da je blizu. U slučaju da je nemoguće izvršiti **induktivno zaključivanje nabranjanjem**, prvi principi su i dalje saznatljivi apstrakcijom uz pomoć intuicije. čime Aristotel zauzima stav empiriste - i kao takav priznaje induktivno kretanje mišljenja, od pojedinačnog i posebnog ka opštem, kao neophodno. Upravo je to mesto koje otvara put Okamu i ostalim skepticima po pitanju sigurnog znanja. Videli smo da Skotus smatra da prvi principi jesu saznajni sa sigurnošću samo na osnovu termina (tj logičkih zakona vezivanja termina) kojima ih formulišemo. Slično viđenje, iako već savremeno po tehnikama unutar metoda, ima i Galilej. On razlikuje logiku koja nas uči kako da zaključujemo iz premisa i matematiku koja dokazuje istinitost premisa. Matematičke teorije o kretanju koje Galilej postavlja su idealizacije i apstrakcije iskustva, čime je osnovni metod nauke ostao izdvajanje (eng. *extraction*) osnovnih osobina fenomena koji se mogu matematički formulisati (prvi principi intuicijom = izdvajanje suštine matematičkom idealizacijom). Veliki korak koji je Galilej načinio je pronalaženje mesta aktivnom eksperimentisanju u naučnom metodu.

Shvatanje naučnog metoda nije se suštinski promenilo sve do Frensis Bekona (*Francis Bacon, 1561-1626*), koji aristotelijanski naučnik o metodi u nauci naziva predviđanjem prirode (eng. *anticipation of nature*), i u svom delu *Novum organum* (naspram Aristotelovog *Organona*) obrazlaže novi pristup, objašnjenje prirode (eng. *interpretation of nature*). Sholastici su u aristotelovom duhu od naučnog metoda zahtevali da zadovolji određene epistemološke i metafizičke standarde[6]. Noviji koncepti naučnog metoda u XVII i XVIII veku su odricanje jednog ili oba standarda za koje se mislilo da usporavaju napredak nauke. Bekon, Dekart, pa i Njutn, postavljaju metod u središnji deo svojih sistema i raskidaju sa Aristotelovim vidom empirizma. Bekon indukciji nabranjanjem zamera uzimanje samo pozitivnih primera pojave i predlaže novi osnov naučnom metodi, **indukciju eliminacijom**. Bekonov metod prolazi kroz sledeće faze:

- Sakupljanje prirodnih fenomena i rezultata eksperimenata u kojima se javlja fenomen ili neki njegovi efekti. Eksperimente deli u dve grupe: one kojima prikupljamo podatke (prva faza) i one kojima testiramo hipoteze, generalizacije do kojih smo došli naučnim metodom (nakon treće faze).
- Formiranje tabele prisustva, odsustva i stepeni varijacije fenomena. Kao primer Bekonovog ispitivanja Psilos daje fenomen *toplote*[6]. U tabelu prisustva se popisuju svi slučajevi kada je primećen fenomen koji ispitujemo (npr. Toplota je prisutna u svetlosti). U tabelu odsustva se upisuju slučajevi iz tabele prisustva koji imaju izuzetke (Toplota nije prisutna u mesečevoj svetlosti). U tabelu stepena varijacije upisuje se zapažanje o promeni efekta kada se kvalitativno menja fenomen (Ako je toplota veća, svetlost je ili slabija ili jača).
- Treći korak je indukcija eliminacijom. Ključni proces je eliminacija slučajnih posledica ili kvazi-uzroka. Bekon ovim putem zaključuje o toploti kao o vrsti kretanja.

Dekart ide potpuno drugim putem, od metafizičkih a priori principa do fundamentalnih zakona o prirodi čiji je garant i dalje metafizička sigurnost. Ostali prirodni zakoni po Dekartu imaju osnovu u fundamentalnim, ali nisu saznatljivi bez postavljanja i testiranja hipoteza. Iskustvo ima ulogu i u određivanju primarnih karakteristika materijalnih tela, oblika, veličine, brzine, itd. Njutnovo ograničavanje po pitanju hipoteza već je objašnjeno. On ne samo da ne priznaje hipotetičko-deduktivni karakter naukama, već ne priznaje ni metafizičke osnove Dekarta, ni Bekonovo mukotržno sakupljanje evidencije. Put koji Njutn predlaže je galilejanski, u smislu da matematički modeli igraju veliku ulogu. Svoj metod Njutn naziva **dedukcija iz fenomena**, čiji je prvi stadijum donošenje matematičkih zakona o fenomenima (pr. Keplerovi zakoni), a onda matematičkim zaključivanjem uz pomoć fundamentalnijih zakona kretanja, dedukcija do novih zakona (univerzalnog zakona gravitacije u njegovom primeru). Jasno je da se i ovaj metod bazira na induktivnom zaključivanju u krajnjoj liniji, pa ga kritičari nazivaju **indukcija demonstracijom**, gde se misli na sigurnu matematičku demonstraciju. Njutn svoj sistem mehanike vidi kao aksiomatsko-deduktivnu teoriju iz koje matematičkom demonstracijom slede posebna znanja. Međutim, priroda aksioma kod Njutna nije ista kao kod starih Grka i recimo Euklida.

Njutnova mehanika je, u skladu sa njegovim metodološkim principima, izgrađena kao aksiomatski *matematički* model. Ta konstitutivna uloga matematike u naučnoj teoriji time je definitivno utvrđena. U tom smislu se sve kasnije metodološke rasprave vraćaju Njutnu i njegovoj fizici. U okviru naučne teorije, pri deduktivnom izvođenju stavova pozivamo se na druge stavove. Da ne bismo ušli u *circulus vitiosus*, dokazujući nedokazanim stavom, ili da ne bismo nanovo i nanovo formirali stavove i dodavali hipoteze, zapadajući u *regressus in infinitum*, moramo naučnu teoriju postaviti kao zatvoren sistem. Naučna teorija kao sistem mora biti izgrađena po određenim pravilima, pre svega da ne bi postala sistem protivrečnih stavova. Metod izgradnje ovakve teorije Tarski naziva deduktivni metod i naglašava da on datira još od Euklida [1]. Unutrašnji deduktivni metod teorije uz induktivni metod formiranja hipoteza teorija osnova su svakog naučnog metoda. Savremeno shvatanje naučnog metoda nije tako kruto kao Njutnov metod, jer nalazi mesta i intuiciji [2], mada uvek podrazumeva izgradnju teorije kao sistema - deduktivni metod, pored induktivnog pristupa pri formiranju generalizacija iz iskustva.

Velika uloga koju matematika dobija u izgradnji naučnih teorija povlači sa sobom neminovnu simbolizaciju nauke, prelazak na jezik simbola. Izgradnja aksiomatsko-deduktivnih (pa i hipotetičko-deduktivnih) sistema moguća je ali mukotrpa bez upotrebe simbola, dovoljno je samo setiti se Spinozinog (*Baruch de Spinoza, 1632—1677*) etičkog sistema. Prelazak na jezik simbola uz posebnu organizaciju termina i stavova teorije u deduktivni sistem²⁸ naziva se formalizacija u nauci (proces koji ne treba mešati sa upotrebom određenih formalizama u fizici na primer). Formalizacija bi bila proces zasnivanja neke teorije unutar logičkog ili matematičkog sistema, a formalizam upotreba posebno usvojenih pravila manipulacije simbolima - alat teorije. Formalizacija naučnih teorija jezikom matematike umnogome je drugačija od formalizacije do nivoa logike, što se često prepoznaje kao savremeni kriterijum strogosti pri zasnivanju teorija. Pokazaće se, međutim, da što se tiče naučnih teorija formalizam do nivoa logike nije uvek ostvariv niti poželjan.

²⁸ Ako je deduktivni sistem aksiomatsko-deduktivna teorija, tada kao ključne reči, koje zasad uzimamo bez potpunog određenja, imamo *aksiom, teorema, model*, itd. Slično je sa hipotetičko-deduktivnim sistemom, s tim da osnovu teorije tada čine *hipoteze*, čije teze jesu deduktivno izvedene teoreme teorije.

Osnove naučnih teorija. Logika. Teorija skupova

Logika je prvenstveno bila filozofska logika. Njen osnivač Aristotel je vidi kao oruđe filozofije - formalnu veštinu ispravnog zaključivanja, ali joj daje i filozofski karakter, jer logičke principe diže do statusa ontoloških principa [7]. Formalna logika je filozofski neutralna *nauka* o ispravnom zaključivanju, bez obaziranja na sadržaj termina ili stavova. Akcenat je na formi a ne sadržaju, mada se formalni karakter zasniva na korektnosti pravila povezivanja termina i stavova pa je zanemarivanje sadržaja posledica tog usmerenja pažnje. Srednjevekovni logičari su koristili uz Aristotelovu logiku termina i neke logičke zakone za koje se smatralo da su oblici ispravnog zaključivanja. Ti zakoni bili su izdvojeni i primenjivani kao metod dokaza. S novovekovnim napretkom nauka, logika dobija osnovu u smislu da ju je moguće aksiomatski-deduktivno izložiti.

U delu *Istraživanje zakona mišljenja*, Džordž Bul (*, 1815-1864*) postavlja logiku na temelje, daje njenu aksiomatizaciju u okviru matematike, zasniva logičku algebru. Bulov napor je bio direktno suprotan kasnijim naporima da se matematika izvede iz logike. Fregeov zadatak imao je slične motive, izvesti znanje samo na logičkim osnovama, preciznim jezikom logike. Ne čudi onda Karnapov zahtev za univerzalnim jezikom nauke, kada logika kao osnovni jezik traži svoje mesto i sto godina pre njegovog programa. Da budemo još precizniji, univerzalni jezik nauke i logika kao glavni pretendent, ideja su još i Lajbnica u XVII veku! Svi ovi naponi dovode do deduktivne nauke logike ili matematičke logike.

U periodu algebrizacije logike i kod logicista savremena logika dobija osnovne teorije - logiku stavova i logiku predikata. Tradicionalna Aristotelova logika je bila logika termina (ili pojma) u smislu da iako je istraživala ispravno povezivanje stavova (iskaza u vidu premisa) do zaključka, zapravo je istraživala samo stavove posebnog oblika, **S** (subjekat) je **P** (predikat), i s tim u vezi analizirala i same termine S i P. Stavovi mogu biti afirmativni ili negativni po kvalitetu, a po kvantitetu se razlikuju kao pojedinačni, partikularni (rezdeoba obima subjekta rečju NEKI) ili univerzalni (gde učestvuje ceo obim - SVI) u zavisnosti koliki obim subjekta je iskorišćen. Pored toga moguće je stavove povezivati u složene konjunktivne, disjunktivne, alternativne ili hipotetičke stavove. Ovim načinom tradicionalna logika delimično zahvata i logiku stavova (u kojoj se ne javljaju pojedinačni termini) i logiku predikata (koja kvantifikatorima uvodi partikularnost i univerzalnost). Savremene logičke teorije, za razliku od tradicionalne logike, potpuno su formalizovane kako bi se izbeglo bilo kakvo uplitanje intuicije, pozivanje na evidenciju ili samovolja pri dokazivanju [7].

Ono što na prvi pogled začudi nenaučnike, pa i naučnike nelogičare, je zašto postoje različiti logički sistemi, ako su zakoni mišljenja isti i univerzalni. Delimičan odgovor biće jasan nakon izlaganja logike predikata. Teorije prirodnih nauka pored logike (po čijim pravilima povezujemo termine i stavove) podrazumevaju i neke matematičke discipline (geometriju, aritmetiku ili račun verovatnoće - kod probabilističkih teorija gde je ishod neke pojave poznat samo kao verovatan). Sve dodatne discipline i same imaju svoja unutrašnja pravila, i same pretpostavljaju logiku, čime logika postaje osnova teorije, što nikako ne treba pomešati sa stavom da se neka teorija može svesti na logiku. Naučna teorija kao zatvoren sistem nije moguća bez svesne upotrebe logičkog jezika i pravila. Čak i pri kompleksnijem shvatanju naučne teorije, metodološki značaj logike, kao nauke o mogućim oblicima zaključivanja (ne uvek deduktivnog!) je nemali [38]. Veze među terminima i stavovima teorije su logičke veze. Logiku koristimo i kao jezik i kao sistem kojem pridodajemo aksiome teorije i tako teoriju "tumačimo" unutar logičkog sistema. Za analizu je filozofu nauke kao alat i tehnika neophodno potrebno poznavanje logike, koja predstavlja osnovni jezik i armaturu svake naučne teorije.

Logika stavova

Svaka logička teorija je formalna. To znači odvojena od sadržaja, simbolička teorija, najčešće izložena aksiomatski. Međutim, da bismo bili sigurni kako pri manipulaciji logičkim simbolima ne činimo greške, neku logičku teoriju još strože **formalizujemo**. Formalizacija je ime za proces, ali i krajnji stadijum. Formalizovanim, ili formalnim logičkim sistemom zovemo one sisteme kod kojih jasno prepoznajemo sledeće:

- **Simbole** sistema. Logički i van logički simboli mogu biti oznake promenljivih (koje mogu biti stavovi, termini, predikati...), oznake operatora (koji mogu biti unarni, binarni..., kvantifikatori), pomoćne oznake (oznake konstanti, zagrade...). Jasno se naglašava koji simboli su dozvoljeni i koriste se kao nedefinisani. Definicijama se mogu uvesti i izvedeni simboli.
- **Pravila formiranja formula**. Formula je smisljeni, konačni niz simbola i operatora, koji ako može biti opravdan (dokazan) iz aksioma i već dokazanih teorema, postaje logički zakon. Među formulama biramo zakone sistema - aksiome. Aksiome kao tautologije²⁹ i ostale izvedene logičke zakone (dokazane teoreme) nazivamo valjanim formulama i obeležavamo metalogičkim znakom \vdash .
- Inicijalne formule - **aksiome**. Ako postoji efektivan postupak (u konačnom broju koraka) za odlučivanje da li je neka formula sistema aksiom ili ne, formalni sistem zovemo **aksiomatski**.
- Pravila transformacije simbola - **pravila inferencije**. Inferencija podrazumeva dozvoljene korake pri izvođenju, dedukciji, tj. dokazivanju.
- **Teoreme** sistema.

²⁹Istinitost svake formule je funkcija istinitosti stavova koji u nju ulaze. Ako neka formula ima uvek istu istinitosnu vrednost onda je ili tautologija ili kontradikcija (čija negacija je tautologija). Tautologije imaju najveći značaj u logici, jer predstavljaju zakone ispravnog zaključivanja - logičke zakone, dok u prirodnim jezicima tautologija predstavlja samo trivijalnu, smešnu istinu [7].

Najjednostavnija i po moći izgradnje drugih formalnih sistema najslabija logička teorija je logika stavova. Jedine promenljive u logici stavova su stavne promenljive, bez ulaženja u njihovu strukturu i osobine termina koji čine stavove. Logika stavova je dvovalentna, što znači da svaki stav može biti istinit ili lažan, a svaka formula je funkcija istinitosne vrednosti stavova. Pored toga, logiku stavova karakterišu i operatori koji su dozvoljeni za formiranje složenijih formula: unarni operator **negacije** (\neg), binarni operatori **ili** (\vee), **i** (\wedge), **alternacija** (\uparrow), **implikacija** (\Rightarrow), **bikondicional** (\Leftrightarrow).

Kao aksiomatski formalni sistem, logiku stavova je moguće izgraditi na više ekvivalentnih načina. Samo uz pomoć \Rightarrow i \neg imamo sisteme Hilberta, Rasla, Lukašijevića, Tarskog, uz \Rightarrow , \neg i \vee Jaskovskog, itd. Preostale operatore uvek možemo dati preko definicija. Bilo koji formalni sistem logike stavova kao teoreme ima sva ostala tvrđenja logike stavova, odakle se i vidi lepota izlaganja neke teorije kao formalnog sistema. Primer aksiomatizovane logike stavova i izložene u vidu formalnog sistema je iz [7], a po Hilbertu iz 1928. god.:

- **Simboli:**

1. promenljive p, q, r, \dots
2. operatori \neg, \vee i \Rightarrow .
3. $(,)$.

- **Formule:** Promenljive p, q, r, \dots su formule. Ako su A i B formule, onda su formule i $\neg A, \neg B, A \wedge B, A \vee B, A \Rightarrow B, A \Leftrightarrow B$.

- **Aksiomi:**

- $$(\alpha_1) \vdash p \vee p \Rightarrow p$$
- $$(\alpha_2) \vdash p \Rightarrow q \vee p$$
- $$(\alpha_3) \vdash p \vee q \Rightarrow q \vee p$$
- $$(\alpha_4) \vdash (p \Rightarrow q) \Rightarrow (r \vee p \Rightarrow r \vee q)$$

- **Pravila inferencije:**

pZB *Pravilo zamene:* U valjanoj formuli $A(p_1, p_2, \dots, p_n)$, promenljivu p_i ($i = 1, 2, \dots, n$) možemo menjati proizvoljnom promenljivom B , tako da formula A i dalje bude valjana.

MP *Pravilo modus ponens:* Ako su valjane formule A i $A \Rightarrow B$, onda je valjana i formula B .

- **Definicije:**

- $$D_1 \quad p \Rightarrow q \stackrel{\text{def}}{\equiv} \neg p \vee q$$
- $$D_2 \quad p \wedge q \stackrel{\text{def}}{\equiv} \neg(\neg p \vee \neg q)$$
- $$D_3 \quad (p \Leftrightarrow q) \stackrel{\text{def}}{\equiv} (p \Rightarrow q) \wedge (q \Rightarrow p)$$

Ovaj formalni sistem možemo i još sažetije predstaviti kao uređenu četvorku $\mathcal{L} = (A, F, Ax, R)$ [8], gde je skup A neprazan skup simbola - alfabet, skup F neprazan skup koji je podskup skupa svih reči (reč je konačan niz slova, simbola) nad A (uz efektivan postupak za utvrđivanje da li je reč formula ili nije), Ax je neprazan podskup F čije elemente zovemo aksiomima i R skup pravila izvođenja. Da bi \mathcal{L} bio formalni sistem logike stavova svaki od skupova ima elemente koji imaju osobine kao u Hilbertovom primeru, ili ekvivalentne.

Logika je alat za ispitivanje naučnih teorija, jer postoji preslikavanje teorije u neki logički sistem. Tada osobine teorije, dokazi, odnosi među entitetima predstavljaju odnose među simbolima logičkog formalnog sistema. Pre nego bude pokazano koje to osobine teorije nam može logička analiza otkriti (u delu 1.3) i kako uopšte dolazi do predstavljanja teorije unutar logike (u delu 2.2 i 2.3), biće reči o drugom klasičnom, ali daleko složenijem logičkom sistemu - logici predikata.

Logika predikata

Pri predstavljanju teorija prirodnih nauka ili matematičkih teorija, kao formalnih sistema, tj. pri formalizaciji teorija retko kad nam je dovoljna logika stavova. Rečenice naučnih teorija nije najprikladnije tumačiti samo kao stavove u određenom odnosu kako se to radi u logici stavova. Često je suština načnog tvrđenja u strukturi unutar stava, u odnosima među terminima. Tako gledano logika termina (tradicionalna logika) šira je od logike stavova, ali ne podrazumeva sve moguće odnose, relacije među objektima. Zato se zasniva logika predikata, u kojoj promenljive mogu biti i stavne ali i pojedinačni termini, a povezivanje termina i pridavanje određenog svojstva terminima vrši se funkcijama i relacijama - predikatima i kvantifikatorima.

	Logika stavova	Logika predikata
Primer 1.1 Svaka centralna sila je konzervativna.	p	$(\forall x)(C(x) \Rightarrow K(x))$
Gravitaciona sila je centralna sila.	q	$C(g)$
Dakle, gravitaciona sila je konzervativna.	r	$K(g)$

Iz primera se vidi nemogućnost logike stavova da formalizuje određene vrste problema kod kojih su termini iz stavova u određenom odnosu. Ovaj problem bi mogla da tretira Aristotelova logika termina ali bilo koji drugi problem u kom je relacija drugačije prirode (tipa veće od, pre nego, itd.) izmakao bi i tradicionalnoj logici. Bilo koje svojstvo promenljivih i bilo kakva relacija među njima može se tumačiti kao operator koji nazivamo predikat (u značenju svojstvo, osobina, relacija, itd.). Logika predikata kao formalni sistem je svaka ona uređena četvorka $\mathcal{L} = (A, F, Ax, R)$, koja u skupu A ima predikate. Jedna od formalizacija je:

- A je skup simbola i to:
 - individualnih promenljivih $x_0, x_1, x_2, x_3, \dots$
 - individualnih konstanti $c_0, c_1, c_2, c_3, \dots$
 - stavnih promenljivih p, q, r, s, \dots
 - predikatskih promenljivih $F_1^n, F_2^n, \dots, G_1^n, G_2^n, \dots$, gde $n = (1, 2, \dots)$ predstavlja broj argumenata ili dužinu.
 - logičkih operatora \neg, \Rightarrow uz univerzalni kvantifikator \forall (čita se *svaki, svako*). Ostale operatore logike stavova kao i egzistencijalni kvantifikator \exists (u oznaci *postoji*) uvodimo definicijama.
 - i dodatnih pomoćnih simbola, npr. $(,)$

- F je skup svih formula nad A i to:
 - svaka stavna promenljiva je *elementarna* formula (promenljive su slobodne)
 - svaki izraz $F^n(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je *elementarna* formula (promenljive su slobodne)
 - izrazi $\forall xA$ i $\exists xA$, gde je A bilo koja formula koja sadrži slobodnu promenljivu x, takođe je formula ali koja vezuje promenljivu x kvantifikatorom.
 - svaki izraz $\neg A$, $A \wedge B$, $A \vee B$, $A \Rightarrow B$, ako su A i B formule koje nemaju u isto vreme iste promenljive vezane, takođe su formule.
- Ax je skup aksioma:
 - Ax1 $\vdash A \Rightarrow (B \Rightarrow A)$
 - Ax2 $\vdash (A \Rightarrow (B \Rightarrow C)) \Rightarrow ((A \Rightarrow B) \Rightarrow (A \Rightarrow C))$
 - Ax3 $\vdash (\neg A \Rightarrow \neg B) \Rightarrow (B \Rightarrow A)$
 - Ax4 $\vdash (\forall x)(A \Rightarrow B(x)) \Rightarrow (A \Rightarrow (\forall x)B(x))$, x je vezano u A.
 - Ax5 $\vdash (\forall x)A(x) \Rightarrow A(t)$, t je slobodno za x u A(x).
- R je skup pravila izvođenja i *generalizacija*:
 - (MP) : $\frac{A, A \Rightarrow B}{B}$ i (Gen) : $\frac{A}{(\forall x)A}$.

Alfabet logike predikata, skup A, se sastoji od a) nelogičkih i b) logičkih simbola. Postoje različite konvencije o načinu uvođenja ovih simbola:

- Praksa je dugo bila da se za zasnivanje formalnog logičkog sistema koristi beskonačan skup nelogičkih simbola (simboli predikata, funkcija i konstanti). Na taj način svaka teorija koja podrazumeva predikatsku logiku, ali prirodno ima konačan broj predikata, samo je njen deo i kaže se da je napisana jezikom logike predikata. Novija praksa je da se definiše jezik predikata, kao jezik teorije sa određenim predikatima. S obzirom da takav jezik ima iste osobine logike predikata ali ograničen broj simbola, često se za teoriju kaže da ima signaturu (potpis, eng. *signature*) u logici predikata, tj. jezik teorije je po novijoj konvenciji, samo jedan od mogućih jezika logike predikata sa fiksiranim simbolima. Signatura je u opštem slučaju skup $S = \{S_P, \cup S_F\}$, gde je S_P skup svih predikata određenih dužina i S_F skup svih funkcija³⁰ koje se koriste u teoriji. Uobičajeno je da se neka formalna teorija predstavi svojom signaturom unutar određene logike, na primer $\{0, 1, +, <\}$ ili $\{m, g, f^2, g^2, P^3, M^3\}$. Prvo se navode konstante (kao funkcije jedinične dužine), funkcije ostalih dužina, pa predikati.
- Logičke simbole čine logički operatori, kvantifikatori i promenljive (stavne ili individualne). Već smo videli da za zasnivanje nekog formalnog sistema (time i logičkog sistema) nije potrebno kao nedefinisane (primitivne) pojmove uzimati sve logičke operatore, jer je neke moguće definisati preko ostalih. Bitna je, međutim, upotreba znaka jednakosti kao logičkog simbola. Jednakost u aritmetici i drugde nije uvek moguće predstaviti bikondicionalom. Jednakost se kao binarna relacija (predikat dužine dva) definiše dodatnim aksiomima unutar logike: 1. $(\forall x)x = x$ i 2. $(\forall x, y)x = y \Rightarrow (P(\dots, x, \dots) \Rightarrow P(\dots, y, \dots))$ - Lajbnicov zakon. Logika predikata onda može biti logika predikata sa jednakošću (u kojoj postoje dodatni aksiomi) ili bez, pri čemu jednakost i dalje možemo definisati unutar neke teorije, kao binarnu relaciju.

Intuitivno je jasno kako logika predikata, budući šira od logike stavova, pre može služiti za formulaciju naučnih teorija. Ipak, teorije u fizici i drugim naukama mogu biti složene u smislu da zahtevaju da kvantifikatori prelaze preko predikata a ne samo preko individualnih promenljivih ili da predikati imaju u argumentu druge predikate. Logičke sisteme u kojima kvantifikatori i predikati prelaze samo preko individualnih promenljivih nazivamo **logika prvog reda**. Pri takvoj nomenklaturi logika stavova se može smatrati logikom nultog, a više logike od upravo prikazane, logikom drugog, trećeg i viših redova.

³⁰Funkcija nije dosad posebno definisan pojam. U formalnoj logici se u najširem značenju upotrebljava za predikate koji za određenu kombinaciju argumenata (kada argumenti uzimaju vrednost konstanti) daju uvek istu vrednost. Funkcija $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ je isto što i predikat $P(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$. Predikat "manje od", $<$, nije funkcije jer za " $0 < 1$ " i " $0 < 2$ " ne dodeljuje ništa treće (sem možda oznake tačno ili netačno), dok $+$ jeste jer za " $0 + 1$ " i " $0 + 2$ " dodeljuje treću konstantu koja je uvek različita za određenu kombinaciju. Konstante se definišu kao funkcije jedinične dužine.

Međutim, logički sistemi se ne razlikuju samo po hijerarhiji. Najslabije proširenje logike prvog reda je nestandardno proširenje - ne ka logici drugog reda, već ka nekom obliku infinitarne logike. Naime, standardna logika prvog reda (u oznaci $\mathcal{L}_{\omega\omega}$, [37]) dozvoljava samo formule konačne dužine, pa se jezik koji dozvoljava formule sa beskonačno mnogo veznika označava kao $\mathcal{L}_{\omega_1\omega}$ a onaj koji dozvoljava i beskonačno mnogo kvantifikatora je $\mathcal{L}_{\omega_1\omega_1}$. Uopšte $\mathcal{L}_{\alpha\beta}$ je predikatski jezik u kom je broj veznika uvek $< \alpha$, a broj kvantifikatora $< \beta$. Umesto α ili β može stajati bilo koji konačan ili beskonačan broj³¹ pa i oznaka za beskonačno, ∞ . Pritom je uvek $\beta \leq \alpha$ jer kvantifikatora mora biti manje nego promenljivih.

Pored infinitarnih logika postoji još nestandardnih proširenja (ili ograničenja!) logike predikata prvog reda (eng. *first-order logic*, nadalje **FOL**). Neka naučna teorija može imati iskaze koji imaju više istinitosnih vrednosti od dve, pa bi logika koja bi bila osnova takve teorije bila neka od polivalentnih logika, u kojoj su neki zakoni isti ali je potrebno dodati i neke druge ili drugačije aksiome (zakon isključenja trećeg ne bi važio, itd.). Kvantno-mehaničke teorije koncizno je i najlakše predstaviti jezikom kvantne logike. Ako iskaz može imati čitav spektar istinitosnih vrednosti koristimo logiku verovatnoće. Logika stavova sa mogućnošću istinitosti je modalna logika. Neki od ovih logičkih sistema se međusobno isključuju, pa je to jedan od razloga zbog čega ne postoji jedna opšta bogata logika kojom će se dati osnova bilo kojoj naučnoj teoriji.

Relacije. Teorija skupova

Jezikom predikata je moguće izraziti odnose unutar neke naučne teorije i što se istorijski pokazalo bitnijim, bilo koje matematičke teorije. Formalizacija geometrije jedan je od primera, mada je za istoriju nauke bitnije zasnivanje drugih oblasti matematike koje su često neophodan alat naučne teorije. Značajne oblasti matematike koje je moguće izgraditi u FOL su, pre svih, aritmetika i teorija skupova. Prvi je aritmetiku formalizovao Peano (*Giuseppe Peano, 1858-1932*) prvenstveno nad skupom celih brojeva, dok je druga oblast imala, usled problema koje sa sobom nosi, mnogo zanimljiviju istoriju.

³¹Beskonačni ili transfinitni brojevi se prvenstveno javljaju u Kantorovoj (*Georg Cantor, 1845-1918*) teoriji skupova. Pri brojanju u nekom beskonačnom skupu transfinitni brojevi su oni koji dolaze nakon se svi prirodni brojevi "istroše". Potreba za transfinitnim brojevima postaje očigledna čim se setimo skupova u kojima nužno dolazi do iskorišćenja svih prirodnih brojeva. Takav skup je npr. skup kvadrata prirodnih brojeva, čiji neki članovi moraju biti veći od najvećeg prirodnog broja - dakle, transfinitni brojevi. Beskonačni skup može biti prebrojiv (ako je svakom članu moguće naći sledbenika) ali i neprebrojiv (kao što je skup realnih brojeva). Najmanji transfinitni broj u prebrojivim skupovima označava se ω , tako da je $\mathcal{L}_{\omega\omega}$, s obzirom da je broj veznika i kvantifikatora *manji* od ω , logika konačnih formula. Kod neprebrojivih skupova se i svi prebrojivi transfinitni brojevi "istroše" (transfinitni brojevi isto mogu biti prebrojivi ili neprebrojivi) a prvi neprebrojivi broj je ω_1 . $\mathcal{L}_{\omega_1\omega_1}$ je logika beskonačnih formula ali sa prebrojivo mnogo promenljivih (broj veznika i kvantifikatora manji od ω_1), a svako $\mathcal{L}_{\alpha\beta}$ sa $\alpha, \beta \geq \omega_2$, logika neprebrojivih beskonačnih formula [37].

Teoriju skupova postavio je Kantor i to pri radu sa beskonačnim skupovima brojeva, krajem XIX veka. Skupovi su, naravno, bili poznati i ranije, ali se značaj neke teorije skupova nije mogao nazreti. Poznat je Galilejev paradoks [39] (iz 1638. god. u njegovom poslednjem delu *Dve nove nauke*), po kome su skup prirodnih brojeva i skup kvadrata prirodnih brojeva jednaki, jer ih je moguće staviti u uzajamno-jednoznačnu korespodenciju, ali i u odnosu celina-deo, jer je skup kvadrata (kao skup samo parnih brojeva) očito deo ukupnog skupa prirodnih brojeva. Upravo takvu vrstu problema tretirao je Kantor, tj. u pokušaju da pojmove *manje od*, *biti deo*, itd. prenese na beskonačne skupove došao je do pojmova koji čine modernu teoriju skupova. Neki od tih pojmova su kardinalni i ordinalni broj, transfinitni kardinali i ordinali, prebrojivi i neprebrojivi skupovi, moć skupa, itd.

Bez ulaženja u detalje bitno je napomenuti kako se teorijom skupova dalje mogu zasnovati svi **skupovi brojeva** (bez paradoksa Galilejevog tipa) i nad njima teorija relacija između elemenata skupova koja dalje služi za osnovu teorije funkcija. **Teorija relacija** se bavi opštim osobinama relacija između elemenata skupa kao što su simetričnost (S), refleksivnost (R), tranzitivnost (T), i dr. Poznato je npr. da je svaka relacija koja je istovremeno R, S, i T uvek neka relacija ekvivalencije i da vrši deobu (particiju) skupa na klase. Iz teorije relacija i teorije skupova, može se dalje ići ka algebarskim strukturama, algebri ili ka teoriji funkcija, itd. Uopšte, teorija skupova pokazala se kao fundamentalna matematička teorija, a kako ćemo videti i kao alternativa za FOL pri formulisanju i formalizaciji prirodno-naučnih teorija, konkretno u fizici. Jednom kada smo na terenu teorije skupova, čitava klasična matematika (skupovi brojeva-aritmetika i algebra, realna analiza, diferencijalni i integralni račun, itd.) sledi logički skladno. Međutim, pokazalo se, ne bez određene cene.

Na Kantorovoj teoriji skupova prvi je Frege pokušao izgradnju aritmetike (u *Grundgesetze der Arithmetik*, 1893. i 1903. god.) koja se hijerarhijski može smatrati narednom teorijom pri izgradnji matematike. Međutim, naivna Kantorova teorija skupova³² je sa sobom nosila paradokse drugog tipa. Raselov paradoks objavljen 1903. god. pred objavljivanje drugog dela Fregeovih *Osnivnih zakona aritmetike*, samo je jedan primer paradoksa koji postoje još od antičkih vremena. Istorijski kuriozitet je da je Raselova primedba Fregeu, udaljila Fregea od rada na traženju fundamentalne matematičke teorije, a samog Rasela odvela ka grandioznom projektu izgradnje čitave matematike, ka radu na *Principia mathematica*. Lakše razumljivi su antički analogon Raselovog paradoksa, paradoks *Lažov* i svakodnevni primer koji je dao sam Rasel, paradoks *Berberin*. U *Lažovu* do

³²Kantorova teorija se označava kao naivna jer nije bila formalni sistem i pojam skupa je prihvatila intuitivno

paradoksa dolazi kada se zapitamo da li Epimenid Krićanin laže kada kaže "Svi Krićani lažu", a u *Berberinu* kada se pitamo ko brije berberina u selu u kojem berberin brije samo one koji se ne briju sami. Prihvatanje bilo kojeg rešenja do vodi do kontradiktornosti i vraćanja na polazni stav. Ovo samo-pozivanje (eng. *self-referencing*), upućivanje nazad ka polaznom stavu, vodi uvek *ad infinitum* i u osnovi je paradoksa sa skupovima. Formalizacijom teorije skupova i ovakvi paradoksi se mogu izbeći, kao u poznatoj aksiomatizaciji Zermelo-Frenkela ili pri formalizaciji kao u sistemu *Principia* Rasela. Međutim, kada se izbegnu samo-pozivajući stavovi i Ruselov vid paradoksa, matematičke teorije nose drugačije nesavršenosti. Problemi su ubrzo isplivali opet, ovog puta kroz aritmetiku i samu logiku i pokazali se mnogo dubljim nego dotadašnji, otklonjivi paradoksi.

God. 1931. Gedel (*Kurt Gödel, 1906-1978*) je svojim metalogičkim teorema pokazao kako bilo koji formalni sistem koji je dovoljno jak (ekspresivan ili bogat) da izgradi aritmetiku, sadrži stavove koji su istiniti ali nedokazivi unutar sistema (Gedelova I teorema o nepotpunosti). Svaki dovoljno jak formalni sistem ako je konzistentan (dakle, bez paradoksa) nije i potpun (jer sadrži nedokazive stavove). Druga Gedelova teorema o nepotpunosti (ili nekompletnosti, eng. *incompleteness*) kaže da ako je neki sistem potpun, ne postoji način da unutar sistema dokažemo i njegovu konzistentnost. Uticaj Gedelovog rada na logici i metalogici na matematiku, nauku i filozofiju uopšte ogroman je [40]. Prosto nije istina da ljudi mogu konzistentno misliti skupa, sve svoje teorije o svetu (već samo konzistentno i nepotpuno *ili* manje poželjno, nekonzistentno a potpuno). I pored toga što teoreme o nepotpunosti donose negativne rezultate o formalnim sistemima, za samog Gedela i mnoge druge, ti rezultati su bili samo potvrda da se "živa i spontana misao, ne da mehanizovati u *računanje*" [7].

Ograničenja formalnih sistema povlače sa sobom i ograničenja teorija prirodnih nauka. Ta ograničenja su suštinska i neotklonjiva. I pored pomoći eksperimenata koji bi iznova menjali i dopunjavali nepotpunu teoriju, nije moguća teorija bez problema unutrašnje strukture, problema koje otkriva jedino formalizacija. Naučnim teorijama o objektivnoj stvarnosti tražimo osnovu u logičkim sistemima ili teoriji skupova (uz nadogradnju moćnijih matematičkih teorija i alata) jer jedino na taj način možemo znati o vrsti ograničenja nad nekom, na primer, fizičkom teorijom. Formalizacija nauke ima dvojak zadatak: da pruži sigurnu osnovu naučnih znanja i da, ako takva osnova nije do kraja moguća, kaže što više o vrstama ograničenja.

1.3 Metodologija nauke

Prirodne nauke i često po uzoru na njih neke društvene discipline (pedagogija, sociologija ili psihologija), razlikuju se od drugih praktičnih delatnosti po svesnoj upotrebi naučnog metoda pri sticanju i obradi znanja. Šta sve može podrazumevati naučni metod videli smo u prethodnom delu. Dakle, već smo se dotakli osnovnog zadatka metodologije nauke. Razmatranja o metodima posebnih nauka ali i kritika puteva saznanja u estetici recimo, ili etici, ili bilo kojoj drugoj ne-naučnoj disciplini, idu pod naziv *metodologije*. Metodologija nauke ipak, usled specifičnog statusa naučnih znanja, može biti i često jeste, više naučnoj teoriji nego je metodologija estetike estetici. Na koji se način metodologija neke naučne discipline, možda nauke uopšte (budući da uzimamo da postoji opšti naučni metod) izdiže do opšte kritike, nauke o nauci, zavisi od toga kako vidimo samu nauku:

1. Nauka po logičkim pozitivistima → Metodologija deduktivnih teorija
2. Kritičari logičkog pozitivizma (Kun, Lakatos i dr.) → Normativne metodologije nauke
3. Savremeni odnos prema naučnoj teoriji (Supes (*Patrick Suppes, 1922-*)) → Naučna metodologija

1. Zajednički cilj **logičkih pozitivista** bio je postizanje jezika nauke koji bi bio nedvosmislen i univerzalan. Pod uticajem logicističkih shvatanja u matematici, javljaju se ideje da se fizička teorija može svesti na logiku, ili bar da se logička analiza može široko primenjivati u svim naukama. Karnapov metod logičke analize jezika nauke je početak metodologije logičkih pozitivista kakvom je Tarski pokazuje [1]. Njihov osnovni zadatak je razdvajanje teorijske komponente naučne teorije koja će biti aksiomatski-deduktivno izgrađena i podložna analizi i empirijske komponente nad kojom će moći da se primeni princip verifikacije. Teorijski deo se formalizuje, zasniva unutar logike, pa je dalje zadatak metodologije da da nazad nedvosmisleni interpretaciju formalizovanog teorijskog dela teorije unutar empirijskog korpusa. Tada teorijski deo, iako nastao usled uopštavanja iz iskustava, predstavlja deduktivni sistem u kome teoreme nužno dedukcijom slede iz postulata. Takav sistem se može učiniti podložnim logičkoj analizi koja se dodaje zadacima metodologije. **Metodologija deduktivnih nauka** u širem smislu postaje ne samo nauka o putu i principima izgradnje deduktivnih sistema. Ona je i oruđe za konceptualnu analizu (pojašnjenje koncepata i načina upotrebe termina, provera nedvosmislenosti termina) kao i normativna disciplina podele empirijskog i teorijskog dela teorije, ali i tehnika pronalaženja interpretacije sistema u empirijskom korpusu znanja i pronalaženja puta verifikacije. Ispitivanje potpunosti i neprotivrečnosti teorije, nezavisnosti nedefinisanih termina, itd. isto je zadatak

metodologije koja je time oruđe preciznog dokazivanje mnogih osobina sistema koji teoriju čine poželjnijom. Metodologija postaje osnovna nauka o deduktivnim sistemima. "Metodologija deduktivnih nauka postala je opšta teorija deduktivnih nauka u smislu u kojem je aritmetika teorija o brojevima, a geometrija teorija o geometrijskim figurama." [1]. Tarski još napominje kako ova korisna i mlada nauka podrazumeva logiku, čijim se produžetkom smatra. Rečnik metodologije je metajezik u odnosu na logiku. Tako relaciji "ili" u logici, u metodologiji pripada termin "disjunkcija" kao termin za iskaze vezane logičkim operatorom "ili". Metodologija deduktivnih nauka naziva se i metamatematika, metalogika, ili često sintaksa i semantika deduktivnih nauka, iz razloga o kojima će još biti reči.

2. **Kritičari logičko-pozitivističke slike** nauke odriču toliki značaj metodologiji deduktivnih teorija. Struktura teorija, njihova izgradnja, potvrda ili smena ne tumači se uprošćeno, po programu Bečkog kruga, pa se ni metodološki rezultati ne mogu interpretirati na isti način kao i kod logičkih pozitivista. Teorije često podrazumevaju različite, drugačije logike (od neke univerzalne koja bi bila rezultat programa pozitivista) čime se gube neke poželjne metalogičke osobine teorija. U fizici, na primer, teorija pored logike može podrazumevati matematičke discipline i tako postati izuzetno složena za formalizaciju. Logicizam i Hilbertov formalizam nisu ostvareni u potpunosti ni u matematici, tako da je u fizici ili kod drugih manje formalnih sistema metodologija deduktivnih teorija mnogo manje učinkovita nego što su to pozitivisti očekivali. Usled otežane realizacije metodologije deduktivnih teorija, teško se dolazi do opšteg stava po pitanju potrebe formalizacije u fizici. Može se čuti kako teorije u prirodnim naukama treba da teže saglasnosti sa eksperimentima, a ne nekom dokazu unutrašnje saglasnosti. Iako su težili i jednom i drugom, logički pozitivisti su veću pažnju poklanjali unutrašnjoj saglasnosti - logičkom sledu znanja iz činjenica. Naivni stavovi po pitanju odnosa teorije i objektivne stvarnosti, metodologiju logičkih pozitivista čine praznom (jer su metodološki zahtevi bili prestrogi) i usled toga neplodnom.

U XVII i XVIII veku se pod metodologijom podrazumevala potraga za mehaničkim skupom pravila za rešavanje problema [10], potraga za preciznim putem ka sigurnim naučnim znanjima. Savremena metodologija nauke po Lakatošu je naziv za neku od *normativnih* teorija filozofije nauke, gde "normativno više ne označava pravila za dolaženje do rešenja, nego samo one pravce za ocjenu već ponuđenih rešenja" [10]. Metodologija nauke je samo jedna od istorijski rivalskih disciplina za vrednovanje već artikulisanih naučnih teorija. Odnos filozofije, metodologije i istorije nauke on tumači poznatom (para)frazom, dok praktičnu vezu vidi kao niz međusobnih uticaja: (a) Filozofija nauke daje **normativne metodologije** u skladu sa kojima istoričar nauke rekonstruira "unutrašnju istoriju" nauke (normativno-unutrašnje je ono znanje i historiografija znanja koje je u skladu

sa normativnom, izabranom metodologijom. Lakatoš razlikuje još i empirijski-spoljašnje znanje); (b) Dve suparničke metodologije se mogu vrednovati u odnosu na unutrašnju istoriju; (c) Bilo koja unutrašnja istorija (racionalna rekonstrukcija istorije nauke kako je on takođe naziva) može biti dopunjena "spoljašnjom istorijom" (spoljašnjom za normativno postavljene metodologiju i istoriju nauke) [10]. Kod Lakatoša opšta nauka o nauci pre je istorija nauke nego neka od normativnih metodologija.

Lakatoš razlikuje uticajne normativne metodologije: (a) induktivizam (često povezan sa logičkim pozitivistima), (b) konvencionalizam (npr. Dijem), (c) falsifikacionizam (Poper), (d) metodologija naučnih istraživačkih programa (Kun, Lakatoš). Ono što je bitno za dalju raspravu je da Lakatoš uočava razliku između ovako shvaćene, normativne metodologije nauke i heuristike³³. Normativna metodologija izriče sudove o gotovim teorijama, a heuristika sudove tipa "treba da" [10]. Primer razlike bi bio: 1. Termin "masa mirovanja" u relativističkoj fizici označava... naspram 2. Termin "masa mirovanja" *treba* koristiti isključivo u slučajevima... . Metodologija, kao normativna teorija u oslabljenom, Lakatoševom smislu, ima zadatke da oceni već oformljene teorije. Međutim, naučna metodologija kakvu ćemo predstaviti (u odnosu na proizvoljnu normativnu metodologiju nauke) teži još većoj objektivnosti i nezavisnosti od bilo kojih normi koje nameće šira filozofija nauke.

3. Metodološki principi i tehnike logičkih pozitivista primenjivi su i na širu klasu teorija (na one teorije koje nisu u skladu sa strukturom teorija kod pozitivista, na drugačije i kompleksnije shvaćene teorije). I pored nedovoljnog uspeha metodologije deduktivnih teorija, pozitivna posledica je podstrek na razvijanje logičkih sistema, teorije skupova, metodologije kao dela logike³⁴. Takođe, aksiomatizacija i formalizacija prirodnih nauka nije bez povoda i neproduktivna, a drugo je pitanje kakve će se vrednosti pripisati rezultatima formalizacije. Napredak posebnih disciplina metodologije (naročito teorije dokaza i teorije modela) vraća veru u nauku o nauci, ali ne u službi određenja i norme nauke. Sama metodologija ostaje stroga naučna disciplina o naučnim teorijama, ali ne više metodologija deduktivnih teorija kao deo Karnapovog programa (ili programa Tarskog, tj. deo logičkog pozitivizma), niti normativna disciplina i tako u službi bilo kakvog šireg filozofskog programa. Metodologija kao deo logike postaje formalno deduktivno zasnovana i u velikoj meri filozofski neutralna. U tom smislu filozofi pojedinačnih nauka ili teorija postaju naučni-filozofi, metalogičari, koji ne spekulišu o implikacijama rezultata svojih metodoloških istraživanja. Savremeno metodološko istraživanje je objektivno u toj meri da daje rezultate čiju vrednost

³³gr. *εὕρισκω* - otkriti, pronaći.

³⁴Delovi metodologije koji se često nazivaju teorija dokaza i teorija modela, teorije su nad i unutar logike.

može tumačiti svaki dalji teoretičar nauke. Čitava plejada logičara, programera, teoretičara modela, itd. metodolozi su nauke, jer se bave naučnom teorijom i njenim osobinama. Novo-shvaćena metodologija obuhvata i analizu koncepata, razjašnjavanje upotrebe termina i još mnoga pitanja i probleme nauke, kao i kod logičkih pozitivista ali ne sa istim ciljem. Jedan od značajnijih ciljeva metodologije logičkih pozitivista bilo je pronalaženje principa verifikacije. Umesto ispunjenja tog programskog zadatka, metodologija nauke danas ima drugačiji odnos prema eksperimentu, samo kao nauka o eksperimentalnim metodama i tehnikama, ili nauka o statističkim tehnikama obrade podataka. Savremena opšta nauka o nauci mogla bi se zvati **naučna metodologija**³⁵, iako često ne postoji svest o koherentnoj disciplini, već samo o skupu savremenih metodoloških tehnika. Zadatke i domete takve discipline nisu uvek lako odrediti. Od logičkih pozitivista nasledila je strogost, od Lakatoša i dr. svest o uslovljenošću širom filozofijom, da bi uz napredak logike i matematike težila neutralnosti i objektivnosti. Glavna karakteristika, osnov njene naučnosti, kao i ranije ostaje upotreba logike i matematike. Pored ovako široko shvaćene metodologije filozofu nauke može zatrebati još, na primer, sociologija nauke, istorija nauke, metafizika, mada sve ove oblasti nisu direktno nauka o nauci u smislu u kom to naučna metodologija jeste.

Savremena filozofija fizike prvenstveno je filozofija prostorvremena (ili filozofija prostora i vremena), onda filozofija kvantne mehanike (ispitivanje metafizičkih osnova indeterminizma, tj. različite interpretacije kvantno-mehaničkih pojava), filozofija kosmologije (filozofija zakona razvoja ranog svemira kao i zakona koji rukovode krajnjom sudbinom svemira), itd. Iako pokreće mnoga metafizička ili epistemološka pitanja, filozofija fizike i još konkretnije filozofska razmatranja fizičke teorije, uvek počinju metodološkom analizom fizičke teorije. Pojašnjenje koncepata, definisanje upotrebe termina i njihovog značenja, otklanjanje problema do kojih dolazi usled neadekvatne primene koncepata, itd., prvi su stadijum bilo kog dubljeg ispitivanja. U prvoj aproksimaciji, sva pitanja filozofije fizike danas su pitanja metodološkog karaktera. Svi čisto fizički problemi (oni problemi koji ne zahtevaju filozofsku raspravu, kao što je većina problema sa Ginzburgove (*Виталий Лазаревич Гинзбург*, 1916-2009) liste³⁶, [47]) problemi su ili tehničke prirode (nemogućnosti trenutne tehnike) ili eksperimentalne (traganje za novim oblicima eksperimenata). S obzirom da je naučna metodologija i nauka o eksperimentalnom metodu i tehnikama, tada i sva takva pitanja jesu u nekom smislu metodološka.

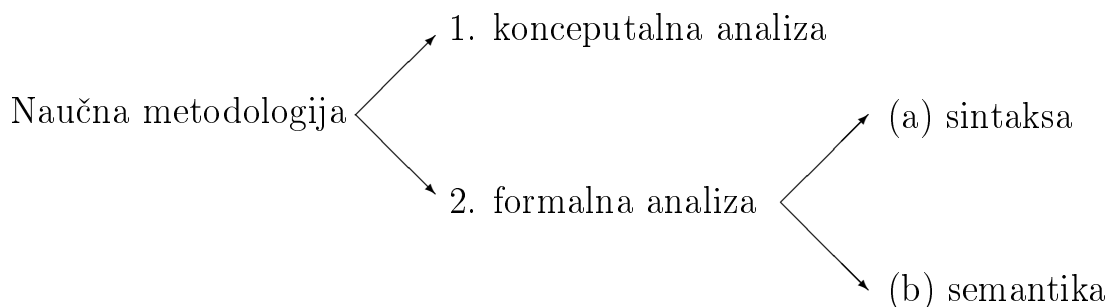
³⁵Termini kojima se označava ovako definisana disciplina jako su raznovrsni. Predmet naučne metodologije ne iscrpljuju komplementarne: teorija modela i teorija dokaza, jer se bave formalizovanim teorijama. I dalje se sreće termin metalogika, pa čak i metanauka, eng. *metascience*.

³⁶Dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 2003. god. Ginzburg po ugledu na Hilbertove probleme matematike početkom XX veka, daje listu bitnijih problema fizike na početku XXI veka.

Zadaci naučne metodologije

Težnja za objektivnošću i nezavisnošću od filozofskih programa nužno sužava domen ali povećava naučnost metodologije. Primetno je da problem ispraznosti metodologije (kao u programu logičkih pozitivista), opstaje na prvi pogled i u naučnoj metodologiji. Međutim, napredak logike i matematičkih disciplina (zasnivanje teorije skupova, geometrije, razvoj statističkih metoda) daje novu osnovu za aksiomatizaciju i formalizaciju naučnih teorija, posebno u fizici. Taj napredak je osnov za razliku između Karnapovog programa (tj. metodologije deduktivnih teorija po Tarskom) koji je težio strogo logičkom zasnivanju nauke i Supesovog programa zasnivanja teorija prirodnih nauka novijim, razvijenim tehnikama logike i matematike [34]. Karnapovi metodološki zahtevi (da sva nauka treba da sledi iz aksioma, unutar logike prvod reda) bili su prestrogi verovatno usled nepostojanja alternativnih načina stroge formalizacije teorija. Alternativa dolazi tek sa formalnom teorijom skupova. Supes ne deli sa Karnapom viđenje strukture naučne teorije, ali deli njegov optimizam u vezi mogućnosti zasnivanja naučnih znanja [33], što je razumljivo usled pomenutog napretka matematike i logike. Fizičke teorije mogu biti podvrgnute metodološkoj analizi iako nisu zasnovane samo na logici, već slede iz aksioma nad npr. teorijom skupova, tj. zasnovane su nad matematičkim teorijama. Analiza osobina tako zasnovanih teorija nije logička analiza, ali jeste i dalje formalna. Bilo da naučnu metodologiju shvatimo kao Supesov program ili kao niz programski neutralnih tehnika ispitivanja teorija, uskoro će postati očigledno kako je savremena metodologija izuzetno plodna nauka.

Svaki istraživač skladno svom cilju primenjuje tehnike naučne metodologije - formalnu analizu (sintaksu i semantiku) i konceptualnu analizu (putem eksplikacije termina npr.). Ako sve ostale filozofske discipline (metafiziku naučnog znanja, epistemologiju u širem smislu, istoriju nauke, sociologiju nauke, i dr.) ostavimo po strani (ili stavimo probleme koje one dotiču "u zagrade", u smislu: smatramo ih rešenim pitanjima, da bi mogli pozitivno da pristupimo drugim problemima), onda zadatke naučne metodologije možemo prikazati kroz njene tehnike:



1. Konceptualna analiza podrazumeva rastavljanje ideja i pojmova (konceptata) neke teorije na delove, otkrivanje elemenata od kojih se neka ideja ili pojam sastoji i ispitivanje međudnosa tih elemenata. Analiza pojma a priori (u delu 1.1) primer je konceptualne analize u filozofiji, kao i analiza različitih značenja termina revolucija u astronomiji i u društvenim naukama. Unutar određene naučne teorije bitno je jasno razlučiti šta se podrazumeva pod određenim pojmovima. Kako često neki pojam iz života dobija određene značenje unutar teorije - postaje termin naučne teorije, neophodno je to značenje pojasniti (konceptualna analiza je time u službi eksplicacije). Upravo zbog neujednačene upotrebe termina dolazi do mnogih nerazumevanja i problema. Pre konceptualne analize treba jasno istaći koji se *viši* problemi smatraju rešenim i kako, tj. istaći šta se sve ne dovodi u pitanje (npr. pri analizi termina atom u fizici, ne dovodi se u pitanje postojanje čestica (ontološko pitanje) ili saznavne mogućnosti o objektu (epistemološko pitanje), pa analiza koncepta ima da precizira pojam atoma kada su ova pitanja *stavljena u zagrade*).
2. Da bi se formalna analiza sprovela teorija se mora adekvatno *oblikovati*. Formalizacija od teorija pravi formalni sistem, koji podrazumeva eksplicitno zasnivanje teorije - aksiomatizaciju, kao i odvajanje od predmeta uvođenjem simbola za svaki stav i termin. Na ovako potpuno ogoljenu teoriju primenjujemo **sintaksu**³⁷ i **semantiku**³⁸. Pre formalne analize treba razdvojiti druge teorije koje prethode teoriji koju formalizujemo (mehanika fluida, na primer, podrazumeva mehaniku materijalne tačke, još dalje i matematičku analizu koja podrazumeva druge matematičke teorije, koje mogu biti izložene preko logike ali i složene, itd.) i odlučiti na kom nivou se vrši formalizacija (fizička teorija se retko kad može zasnovati samo na zakonima logike - zato se često polazi od izgrađenih matematičkih aparata i gradi deduktivno na njima uz definisanje fizičkih aksioma).
 - (a) Sintaksa formalnih ili formalizovanih sistema je ona disciplina koja proučava operisanje simbolima. Naime, formalizacijom smo od polazne hipotetičko-deduktivne teorije došli do teorije napisane nekim formalnim jezikom. Pravila tog jezika, kako se formiraju teoreme teorije i šta znači dati dokaz unutar određene teorije, određuje sintaksa.
 - (b) Semantika je donekle obrnuta formalizaciji, jer se bavi primenom formalizovanog sistema u nekoj predmetnoj oblasti [7]. Semantika, kao teorija značenja, pokazuje kako nekom formalnom sistemu odgovara polazna teorija, ali i koje osobine teorija kao sistem ima, s obzirom na ponuđenu interpretaciju u području stvarnosti.

Naučni metod, videli smo ranije, teorije isporučuje kao hipotetičko-deduktivne sisteme. Čisto empirijske generalizacije u vidu hipoteza mesto u teoriji nalaze kao neproveri stavovi teorije - postulati ili kao neka od teorema teorije koju treba dokazati. Učiniti neku teoriju **formalnom** praktično bi značilo urediti termine (osnovne i izvedene) i stavove (hipoteze i teze) u sled, takav koji otkriva jezik kojim je teorija "pisana" i omogućuje uvid u metode dokaza unutar teorije. Zapravo, epitet formalna tu je samo da ukaže kako je teorija izražena u obliku-formi koja je pogodna za njenu konceptualnu (ili drugi vid analize sadržaja) ili formalnu analizu³⁹. Treba naglasiti da, budući je aksiomatizovana teorija deduktivni sistem, teorijom se često naziva samo skup aksioma, a sve logičke posledice smatraju se teoremama. Teoreme mogu biti valjano zasnovane formule unutar nekog formalnog sistema ili jednostavno dedukovani stavovi iz polaznih aksioma, ako smo teoriju formalizovali na matematičkim, a ne logičkim osnovama. Da bi se uvidela moguća razlika, proces formalizacije naučne teorije može se prikazati sledećim koracima:

³⁷gr. *σύνταξις* - uređenje. Sintaktičke osobine se ispituju u teoriji dokaza, što je samo matematičko ime za sintaksu formalnih sistema, kada je i sama sintaksa deduktivno zasnovana teorija.

³⁸gr. *σημαντικός* - značajno, označiti. Semantičkim osobinama formalnih sistema bavi se teorija modela

³⁹Koji vid organizacije termina i stavova teorije je najbolji za analizu, koju ćemo jednom rečju zvati metodološkom, pokazaće se u delu o aksiomatizaciji i formalizaciji teorija u fizici (deo 2.2)

1. Polazi se od **teorije** koja se prepoznaje kao skup tvrdjenja o stvarnosti.
2. Od polaznog skupa tvrdjenja formira se **aksiomatizovana teorija** - izgrađen sistem tvrdjenja na konačnom broju početnih nedefinisanih termina i neproverivih rečenica (nedefinisane termine zovemo primitivni pojmovi, a polazne rečenice - aksiomima).
 - (a) Termini i odnosi među terminima specifični za teoriju, prepoznaju se kao konstante, promenljive (individualne ili stavne), operatori (određene dužine), osobine - predikati (određene dužine) i zamenjuju se simbolima. Time je zadat alfabet i pravila formiranja formula - dakle formalni jezik teorije. **Formalni jezik** teorije je uvek formalni jezik neke logike sa konkretnim simbolima. Uz dodatak pravila izvođenja (pravila formiranja teorema imamo samom definicijom jezika) teorija je kompletan formalni sistem - **formalna teorija**. I sama logika, videli smo, se izlaže kao formalni sistem, s tim da su simboli formalnih logičkih teorija proizvoljni. **Svaki formalni sistem je (formalna) logička teorija sa konkretnim simbolima - konkretizovan logički sistem.**
 - (b) Međutim, ako je teorija dovoljno kompleksna i podrazumeva više matematičke discipline, neuporedivo je lakše formalizovati je nad već strogim formalnim sistemom neke od matematičkih disciplina. U fizici je uobičajeno da se formalizacija vrši u okviru teorije skupova (eng. *set-theoretic framework*), čime je omogućena lakša implementacija matematičkih aparata. Budući da se formalizacija vrši nad vanlogičkim sistemom, svaki formalni sistem će izgledati nešto drugačije u zavisnosti nad kojim delom matematike se zasniva. Često se pod formalizacijom nad (i aksiomatizacijom u) teoriji skupova podrazumeva teorija skupova ali i unutar te teorije zasnovan skup realnih brojeva, funkcije realnih promenljivih, izvodi i integrali funkcija, itd. Međutim, kako Supes naglašava [25], isti principi strogosti i jasnoće se primenjuju pri formalizaciji složenijih teorija nad nekim delom matematike, kao i pri formalizaciji prostijih teorija direktno nad logikom predikata. Oba načina ((a) i (b)) biće detaljno objašnjena u delu 2.2 - formalizacija fizičkih teorija. Treba još napomenuti kako je često istu teoriju moguće formalizovati na oba načina, mada ne uz iste rezultate, a sigurno ne sa istom lakoćom.

Formalizacija unutar logike prvog reda moguća je za mnoge matematičke teorije. Time se sama teorija "spušta" na nivo logike, čime je strogo zasnovana i još bitnije, podložna metalogičkoj, metodološkoj analizi. Kao primer ilustrativna je formalizacija dela aritmetike celih brojeva, po Prezburgeru (*Mojżesz Presburger, 1904-1943*) [35][36]. Prezburgerovom aritmetikom nazivamo aritmetiku prirodnih brojeva bez množenja (za razliku od mnogo šire Peanove aritmetike):

Teorije koje podrazumevaju matematički aparat mnogo je intuitivnije, lakše i smislenije formalizovati predikatima nad teorijom skupova. Time je obezbeđena upotreba klasične matematike za formulisanje teorije, bez da je potrebno i samu klasičnu matematiku formalizovati uz fizičku teoriju. Jedna od jednostavnijih formalizacija teorije u fizici je klasične mehanike materijalne tačke, po MekKinsiju (*J. McKinsey, 1908 - 1953*), Supesu i dr. [25][32]:

Primer 1.2

Formalizacija je unutar logike prvog reda sa jednakošću (aksiomi jednakosti su onda aksiomi logike, a ne teorije nad logikom), uz korišćenje operacije sabiranja kao funkcionalne konstante (definiše se aksiomima teorije). Formalna teorija Prezburgerove aritmetike je četvorka $\mathcal{A} = (A, F, Ax, R)$, gde je A skup logičkih i nelogičkih simbola (alfabet teorije), čiji je podskup nelogičkih simbola σ - signatura teorije, nad logikom prvog reda sa jednakošću. Dakle, $\sigma = (0, 1, +)$, '+' je pomenuta funkcionalna konstanta sabiranja, '0' i '1' su konstante promenljivih x, y, z, \dots koje su iz skupa prirodnih brojeva. Skup F je skup formula nad A , pri čemu važe pravila formiranja formula kao u logici predikata. R je skup nizova formula - pravila izvođenja, mogu biti recimo MP i Gen (videti deo 1.2 - logika predikata). Ax je skup aksioma:

Formalna teorija mehanike materijalne tačke je teorija $\mathcal{P} = (A, F, Ax, R)$, kao i pri svakoj formalizaciji, mada je, s obzirom da glavnu ulogu igraju predikati nad teorijom skupova, često lakše formulirati teoriju samo skupom tih predikata: $\mathcal{P} = (P, T, s, m, f, g)$, dok se pravila formiranja formula (skup F) i pravila izvođenja (skup R) podrazumevaju. \mathcal{P} ima ulogu signatur nad teorijom skupova, tj. skup je primitivnih pojmova: P i T su skupovi, s binarna funkcija, m unarna, f ternarna i g binarna funkcija, čija je fizička interpretacija: P je skup materijalnih tačaka, T skup realnih brojeva, kao skup trenutaka, za $p, q \in P$ i $t \in T$, $s(p, t)$ je vektor položaja u trenutku t , $m(p)$ je masa, a $f(p, q, t)$ sila između materijalnih tačaka. Funkcija $g(p, t)$ je ukupna spoljašnja sila na p . Skup aksioma koji definiše MekKinsijevu mehaniku je:

Ax1. $\vdash (\forall x) \neg(x + 1 = 0)$	P1. P je konačan, neprazan skup.
Ax2. $\vdash (\forall x, y) (x + 1 = y + 1 \Rightarrow x = y)$	P2. T je interval skupa realnih brojeva.
Ax3. $\vdash (P(0) \wedge (\forall x)(P(x) \Rightarrow P(x + 1))) \Rightarrow (\forall x)P(x)$, induktivni aksiom, važi za svaki predikat P .	P3. $(\forall p \in P) s(p)$ je dvaput diferencijabilno nad T .
Ax4. $\vdash (\forall x) (x + 0 = x)$	P4. $(\forall p \in P) m(p)$ je iz skupa \mathcal{R}^+ .
Ax5. $\vdash (\forall x, y) (x + (y + 1) = (x + y) + 1)$	P5. $(\forall p, q \in P)(\forall t \in T) f(p, q, t) = -f(q, p, t)$.
	P6. $(\forall p, q \in P)(\forall t \in T)$ $s(p, t) \times f(p, q, t) = -s(q, t) \times f(q, p, t)$.
	P7. $(\forall p \in P)(\forall t \in T)$ $m(p) \frac{d^2 s(p, t)}{dt^2} = \sum_{q \in P} f(p, q, t) + g(p, t)$.

Prethodni primer ilustruje proces(e) formalizacije, uslove za formalnu analizu, nakon odrađene elementarne konceptualne analize (recimo, proces izbora primitivnih pojmova i određivanje njihove vrste). Sintaksa i semantika, kroz teoriju dokaza i teoriju modela, kao matematičke (ili logičke) teorije, predstavljaju skup alata čije ćemo rezultate i neke korake predstaviti na opštim primerima.

Sintaksa i semantika formalnih sistema - osnovni pojmovi

Po Tarskom, koji je pionir u oblasti sintakse i semantike, formalni sistem (deduktivna teorija) je **saglasan, neprotivrečan ili konzistentan** "ako nikoja dva asertorička stava te teorije ne protivreče jedan drugom" [1], drugačije rečeno - da nije moguće dokazati neki stav teorije i njegovu negaciju. Dalje, bitna osobina je **potpunost** teorije, osobina da se "svaka dva protivrečna iskaza formulisana isključivo u terminima teorije, bar jedan iskaz može dokazati u toj teoriji." [1].

Značaj dokaza ovih osobina je očigledan: "Neprotivrečnost i potpunost aksiomatskog sistema sada nam jemče da se svaki problem unutar teorije može zaista rešiti na samo jedan način; neprotivrečnost isključuje mogućnost da se neki problem može rešiti na dva načina, to jest i potvrdno i odrično, a potpunost nam osigurava da se on može rešiti bar na jedan način." [1].

Bitno je shvatiti da dokaz neprotivrečnosti, potpunosti i drugih osobina teorije tražimo nad skupom aksioma te teorije, a u okviru pretpostavljene logike ili teorije skupova. Nije svejedno da li je (A) teorija formalni sistem unutar pretpostavljene logike ili (B) formalni matematički sistem (nadogradnja teorije skupova), jer do dokaza metateorijskih osobina ne dolazimo jednako ni jednako lako. I jedan i drugi pristup kao bitan element imaju **model** [8]:

Definicija 1.1 *Struktura koja daje značenje rečenicama formalnog jezika zove se model. Ako model jezika zadovoljava određenu rečenicu ili teoriju (skup rečenica) tada ga nazivamo model rečenice ili model teorije. Formalno: i) Interpretacijom formule F , nazivamo uređenu dvojku $I = (D, \varphi)$, gde je D neprazan skup (domen interpretacije), a φ preslikavanje čiji je domen skup konstanti, operacijskih i relacijskih simbola formule F . ii) Ako je formula F tačna u strukturi \mathcal{M} (čiji je domen D u kom F ima interpretaciju), tada pišemo⁴⁰ $\mathcal{M} \models F$ i strukturu \mathcal{M} zovemo modelom formule F .*

⁴⁰Metalogički simbol \models čitamo \mathcal{M} zadovoljava F ili F je tačno u \mathcal{M} . Termin model i simbol \models semantički su pojmovi jer govore o značenju simbola.

Primer 1.3 Neka je data predikatska formula $R_1^2(f_1^1(f_1^2(x, y)), f_2^2(f_1^1(x), f_1^1(y)))$ [8]. Moguće su brojne interpretacije, npr.:

1. $I = (D, \varphi)$, uzimamo da je $D = \mathcal{R}$, a φ preslikavanje predikata i to: $\varphi(f_1^1) = | \cdot |$ (moduo), $\varphi(f_1^2) = \varphi(f_2^2) = +$ i $\varphi(R_1^2) = \leq$. Tada imamo interpretaciju: $|x + y| \leq |x| + |y|$. S obzirom da je za bilo koje x i y formula u ovoj interpretaciji tačna u strukturi $(\mathcal{R}, | \cdot |, +, \leq)$, ta struktura jeste model polazne formule.

2. $I = (D, \varphi)$, uzimamo da je $D = \mathcal{R}^+ \cup \{0\}$ i $\varphi(f_1^1) = \sqrt{\cdot}$, $\varphi(f_1^2) = \cdot$, $\varphi(f_2^2) = +$, a $R_1^2 = =$. Tada je formula u datoj interpretaciji $\sqrt{x \cdot y} = \sqrt{x} + \sqrt{y}$, što nije tačno za svako x i y iz domena, tako da struktura $(\mathcal{R}, \sqrt{\cdot}, +, =)$ nije model polazne formule.

Model se, kao struktura, sastoji od jednog ili više skupova sa određenim zakonima unutrašnje ili spoljašnje kompozicije ili određenim relacijama⁴¹. Bitno je ispitati u kakvim odnosima mogu biti razni modeli istog sistema formula (npr. aksiomatskog sistema).

Definicija 1.2 Homomorfizam struktura (recimo sa po jednim skupom i jednim zakonom unutrašnje kompozicije: homomorfizam $(E, *)$ u (F, \times)) je ono preslikavanje⁴² $f : E \rightarrow F$ takvo da

$$(\forall x \in E)(\forall y \in E) f(x * y) = f(x) \times f(y).$$

Ako je homomorfizam surjektivna⁴³ funkcija naziva se epimorfizam, a ako je bijekcija⁴⁴ izomorfizam.

Ako su dva modela u bijektivnom homomorfnom odnosu (dakle izomorfni su) onda postoji uzajamno-jednoznačna korespodencija između elemenata njihove strukture. Formalni sistem aksioma neke teorije može imati više modela, pa je poželjno da bar u tom slučaju svi modeli budu u izomorfnoj relaciji, jer na taj način možemo reći kako formalni sistem **kategorički** definiše teoriju. Ako su svi modeli u izomorfnom odnosu često se kaže kako teorija ima tačno jedan model do na izomorfizam.

Nemoguće je dovoljno naglasiti značaj modela za ispitivanje metateorijskih osobina teorija. Pri izlaganju mogućih osnova naučnih teorija (deo o predikatskoj logici i teoriji skupova) neformalno smo govorili kako naučna teorija kada je zasnovana formalno ima interpretaciju u formalnom sistemu logike ili teorije skupova. Ovo upravo znači da naša teorija onda jeste model u kome logičke ili matematičke teoreme dobijaju istinito značenje za određenu interpretaciju simbola. Tako su metateorijske osobine polazne teorije nužno povezane sa metateorijskim osobinama formalnih sistema čija su konkretizacija (ili drugačije: u okviru koje su zasnovane, ili na čijem su jeziku zasnovane, itd.). Štaviše, Gedel je 1929. pokazao kako teorija ima model ako i samo ako je konzistentna, čime i počinje teorija modela kao matematička disciplina koja se prvenstveno bavi metateorijskim osobinama, dakle semantikom, formalnih teorija.

⁴¹ Matematika - opšta enciklopedija Larousse, Beograd 1973. Definicija morfizama takođe je iz ove enciklopedije.

⁴² Preslikavanjem ili funkcijom se naziva relacija koja svakom elementu skupa E dodeljuje najviše jednu sliku iz skupa F , drugačije $(\forall x \in E)(\exists! y \in F) y = f(x)$. Funkcija može biti injektivna, kada svako različito x iz E ima različite slike, $(\forall x_1, x_2 \in E) (f(x_1) = f(x_2) \Rightarrow x_1 = x_2)$, onda surjektivna i na kraju bijektivna.

⁴³ Surjektivna podrazumeva iskorišćenost celog skupa slika, $(\forall y \in F)(\exists x \in E) y = f(x)$.

⁴⁴ Bijektivna je funkcija koja je u isto vreme i surjektivna i injektivna.

Ostaje da vidimo koje metateorijske osobine imaju **1.** logika predikata prvog reda (FOL), **2.** predikatske logike višeg reda i **3.** teorija skupova, kako bismo znali koje pogodnosti ili manjkavosti mogu imati formalizacije teorija na ovim osnovama.

1. Godine 1929. u svojoj doktorskoj tezi Gedel je pronašao dokaz potpunosti FOL. Nakon teorema o nepotpunosti 1931. postalo je jasno da neprotivrečne i potpune mogu biti samo teorije proste logičke strukture [1]. Neprotivrečnost FOL je dokazao Levenhajm (*Leopold Löwenheim, 1878-1957*) 1915. god. za slučaj kada FOL ima samo predikate dužine jedan (monadička FOL) i Hilbert 1928. u opštem slučaju (sa konačno mnogo predikata konačnih dužina - sistem FOL kako je prikazan u delu 1.2). Levenhajm je 1915. pokazao i kako za monadičku FOL postoji procedura za utvrđivanje da li je određena formula teorema teorije, tj. sistema aksioma, i tu osobinu naziva odlučivost (eng. *decidability*) teorije. Godine 1936. Čerč (*Alonzo Church, 1903-1995*) daje dokaz neodlučivosti opšte FOL. Čuvena Levenhajm-Skolem teorema daje još negativnih rezultata, jer pokazuje kako svaka (konačna) formalna teorija u FOL koja ima beskonačan model kardinalnosti λ ima i sve modele kardinalnosti veće od λ . Nijedna formalna teorija u FOL nema samo jedan model do na izomorfizam, tj. FOL ne može kategorički⁴⁵ da karakteriše svoje teorije.

FOL je: **neprotivrečan**, **potpun**, ali **neodlučiv** (iako poluodlučiv) i **nekategoričan** sistem.

2. Dokaz konzistentnosti svake jače logike od logike prvog reda nije moguć u slučaju da je logički sistem potpun (II teorema o nepotpunosti), a uz to, iz I Gedelove teoreme, za jače logike od FOL sledi da, ako konzistentne, nisu potpune. Pored toga se i pitanje odlučivosti samo usložnjava sa višim logikama. U FOL je moguće za formulu koja logički sledi iz neke utvrđene formule pronaći dokaz, ali ako formula nije logička posledica dokazane formule ne postoji efektivni postupak dokazivanja, tako da iako je FOL neodlučiva teorija, u isto vreme je i poluodlučiva (eng. *semidecidable*), u upravo opisanom smislu. Jedina pozitivna osobina logičkih sistema višeg reda, pored veće ekspresivnosti koju sa sobom nose (mogućnost predikata i kvantifikatora da prelaze preko viših promenljivih) je što se unutar logika višeg reda može nešto pozitivnije zaključiti o njihovoj kategoričnosti.
3. Teorija skupova može biti aksiomatizovana jezikom prvog reda, ali svaka matematička disciplina koja se gradi na teoriji skupova i relacija, nužno usložnjava strukturu. Mnoge metateorijske osobine formalnih teorija nad teorijom skupova nisu povoljne. Minimalni zahtev racionalnosti doduše, naime uslov konzistentnosti teorije, relativno je lako dokazati iz Gedelove teoreme o potpunosti (1929. godine u disertaciji). Svaka teorija koja ima model, konzistentna je. Ako smo spremni da prihvatimo taj minimalni uslov, uz odricanje drugih poželjnih osobina, onda uz teoriju skupova dolazi i ogromna ekspresivna moć, moć cele klasične matematike.

(A) Sintaksa i semantika teorija prvog reda

Naučne teorije je poželjno, ukoliko je moguće, zasnovati na što elementarnijem nivou (na osnovi koja je potpuna i konzistentna). Ako se formalizacija vrši do logike predikata prvog reda, formalna teorija postaje logički sistem. Prvi metodološki zakon, kojim se dočarava moć formalizacije, zove se teorema⁴⁶ ili zakon dedukcije [1]:

Teorema 1.1 (Zakon dedukcije) *Svaku teoremu formalnog sistema zadovoljava bilo koji model aksiomatskog sistema te teorije, štaviše svakoj teoremi formalnog sistema odgovara stav koji se može dokazati unutar logike. Time se dokazi unutar bilo kog modela teorije svode na formalne dokaze logike u kojoj je formulisana teorija.*

⁴⁵eng. *categoricity* - kategoričnost, osobina sistema da su svi njegovi modeli izomorfni.

⁴⁶Većina daljih teorema su metodološke ili metalogičke teoreme, formulisane meta-jezikom u odnosu na formalni jezik i sistem.

Formalni jezik teorije nastaje povezivanjem nelogičkih simbola pravilima za formiranje formula unutar odgovarajuće logike. Nelogičke simbole biramo tako da budu primereni teoriji, koristimo ih onako kako razumemo da se koriste u teorijskom sistemu, znači određujemo jesu li termini konstante ili promenljive i kog tipa (određujemo signaturu S teorije). Neka L bude jezik prvog reda unutar $L_{\omega\omega}$ (a nad signaturom S), što znači da koristeći simbole iz S , reči jezika slede po pravilima formulisanja formula iz $L_{\omega\omega}$. Formula unutar $L_{\omega\omega}$ koja nema slobodnih promenljivih naziva se zatvorena formula ili *rečenica*. Teoriju Δ , skup rečenica u L , zovemo formalna teorija prvog reda.

Na osnovu zakona 1.1 dokaz teoreme formalne teorije znači dokaz po pravilima izvođenja određene logike. Neka je $L_{\omega\omega}$ logika predikata prvog reda kakvom smo je definisali ranije. *Dokazom* formule φ iz premisa $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ nazivamo niz formula ψ_1, \dots, ψ_m takav da je $\psi_m = \varphi$, a svako ψ_i je ili (a) aksiom u $L_{\omega\omega}$, (b) jedna od premisa, ili (c) formula izvedena iz ranijih dokazanih formula pravilima izvođenja u $L_{\omega\omega}$. Ovako definisanim dokazom, možemo definisati pojam dokaza teoreme unutar formalnog sistema:

Definicija 1.3 *Neka je Δ teorija prvog reda i ϕ formula iz Δ . Pišemo⁴⁷ $\Delta \vdash \phi$, u značenju ϕ je dokazivo u Δ ili ϕ je izvodivo iz Δ , ako postoji $L_{\omega\omega}$ -dokaz iz premisa $\delta_1, \dots, \delta_n \in \Delta$. Često se piše $\Delta \vdash_{L_{\omega\omega}} \phi$, a ϕ naziva sintaktička posledica Δ .*

Pod ime teorema dedukcije ide i značajna teorema teorije dokaza:

Teorema 1.2 (Teorema dedukcije) *Neka su $\Delta \cup \{A, B\}$ formulu u L , tada*

$$\Delta \cup \{A\} \vdash B \text{ akko } \Delta \vdash A \Rightarrow B.$$

Sintaktički je često veoma teško dokazati neku metateorijsku osobinu. Npr. konzistentnost se sintaktički uvodi kao nemogućnost izvođenja kontradikcije, Δ je **konzistentna** ako i samo ako (skraćeno akko) je $\Delta \not\vdash \perp$. Međutim upravo je kontradikciju teško definisati bez pozivanja na značenje (nesemantički, dakle samo sintaktičkim sredstvima). Formalno, kontradikcija je ϕ za koje važi $\emptyset \vdash \neg\phi$ i često se za proizvoljnu kontradikciju piše \perp , mada treba imati na umu da ništa ne znamo o značenju stava ϕ . Da bi pokazali na koji način možemo Δ smatrati konzistentnim i potpunim sistemom aksioma neke teorije, potrebno je uvesti još par definicija:

Definicija 1.4 *Δ je deduktivno zatvorena teorija akko: $\Delta \vdash \varphi \Rightarrow \varphi \in \Delta$. Sve što se može izvesti iz Δ je već u Δ .*

Definicija 1.5 *Δ je maksimalno konzistentna akko je Δ konzistentna i nema takve Δ' za koju važi: $\Delta \subseteq \Delta'$ i $\Delta \neq \Delta'$ a da je pritom Δ' konzistentna.*

⁴⁷Simbol \vdash je metalogički simbol čisto sintaktičke prirode, jer ne govori ništa o značenju i istinitosti teoreme.

Definicija 1.6 Skup svih φ takvih da $\{\varphi : \Delta \vdash \varphi\}$ zovemo **deduktivno zatvoren skup**, Δ^c . Δ^c je dakle rezultat dodavanja skupu Δ svih rečenica koje se mogu izvesti iz Δ .

Teorema 1.3 Teorija Δ je (sintaktički) **potpuna** teorija akko je Δ^c maksimalno konzistentna. Drugačije: Δ je potpuna teorija akko za svaku rečenicu φ ili sledi $\Delta \vdash \varphi$ ili $\Delta \vdash \neg\varphi$.

Definicija 1.7 Δ je **skup aksioma** za neko Γ akko $\Delta^c = \Gamma^c$. Γ je konačno aksiomska (eng. *finitely axiomatizable*) akko postoji konačan skup aksioma za Γ .

U naučnoj metodologiji, odvojiti samo sintaktičke osobine od semantičkih razmatranja besmisleno je. Svaka prirodna nauka pre svega je o prirodnim objektima i odnosima među objektima, sintaksa nam ne govori ništa o istinitim tvrdnjama o objektivnoj stvarnosti. Već je rečeno kako upravo zato, kao komplementarna analiza formalističkom pristupu, postoji semantički pristup, pronalaženje modela za teoriju kao formalni sistem. Iz Gedelove teoreme o potpunosti izvodi se opšti semantički metod dokaza metateorijskih osobina teorija - **dokaz interpretacijom** [1]. Metod dokaza interpretacijom nezamenjiv je pri dokazivanju nezavisnosti aksioma ili nezavisnosti primitivnih pojmova. Ako postoji model teorije koji zadovoljava aksiomatski sistem bez jednog aksioma, ali ne i pun sistem aksioma, tada je izdvojena aksioma nezavisna, tj. ne može se izvesti iz preostalih aksioma [1].

Nakon analize sintaktičkih osobina teorije, formalnom sistemu tražimo model i interpretaciju. Specifični status među modelima ima **intendirani**, željeni model. Dalja semantička analiza pokazuje je da li postoji još modela koji zadovoljavaju formu i jesu li u izomorfnom odnosu sa intendiranim modelom. Semantičkom analizom se dokazuju i potvrđuju metateorijske osobine formalnih sistema. Najbitnije teoreme pri semantičkom prilazu su:

Teorema 1.4 Za svaki skup formula Δ i svaku formulu ϕ važi: akko je ϕ semantička posledica Δ , onda je ϕ sintaktička posledica Δ tj.

$$\Delta \models \phi \Rightarrow \Delta \vdash \phi$$

Teorema 1.5 (Gedelova teorema potpunosti) Za svaki skup formula prvog reda, Δ i svaku formulu ϕ važi: ϕ je semantička posledica skupa Δ akko je sintaktička posledica skupa Δ tj.

$$\Delta \models \phi \Leftrightarrow \Delta \vdash \phi$$

Teorema potpunosti za teorije prvog reda često se formuliše kao: Teorija ima model akko je (semantički) konzistentna. Ako se sintaktički i semantički pojam konzistentnosti poklapaju (kao u slučaju FOL), teorija je potpuna (tj. za nju važi Gedelova teorema potpunosti). Teorije u FOL karakteriše još jedna bitna teorema:

Teorema 1.6 (Teorema kompaktnosti) Skup formula Δ ima model akko svaki konačan podskup od Δ ima model.

(B) Sintaksa i semantika vanlogičkih formalizacija

Aksiomatizacija (uz formalizovanje termina i stavova) unutar teorije skupova, donekle je drugačija od strogog logičkog zasnivanja u FOL. Kao što će se videti, formalizacija nad teorijom skupova je za složene fizičke teorije nekada jedini način formalizacije. Veliki zagovornik formalizacije fizike, ali i nekih društvenih disciplina, na ovaj način je Supes [28][26][30].

Dati formalizaciju teorije unutar teorije skupova znači definisati predikate unutar teorije skupova (eng. *set-theoretic predicates*) [26][31]. Obično predikat unutar teorije skupova ima delovanje nad uređenom n -torkom, koja predstavlja sistem koji gradimo (kao u slučaju MekKinsijeve mehanike). Tako posmatrano, formalizacija teorije nije potpuna jer deduktivni sistem koji formalno predstavlja teoriju jeste i njen intendirani model. Ova činjenica je izuzetno važna, jer usled toga se formalizacija unutar teorije skupova čini prirodnijom za zasnivanje fizičkih i drugih prirodno-matematičkih teorija (Supes često naglašava kako ovaj vid aksiomatizacije plodnu primenu nalazi i u ekonomiji i psihologiji [28]). Otuda i stalno naglašavanje Supesa o značaju koji matematika treba da ima za aksiomatski metod, naspram metamatematike.

Aksiomatizacija predikatima unutar teorije skupova može sadržati sve one termine, i primitivne i definisane, koji su dozvoljeni u nekoj od aksiomatizacija same teorije skupova. Pored toga, ovakva aksiomatizacija dozvoljava i termine tipa *realni broj*, *kontinualna funkcija*, *konvrgentan niz*, *uređen par*, itd. Svi ovi termini definisani su u nekoj nadgradnji matematike nad teorijom skupova.

Treba ipak pojasniti na koji način ovaj pristup zadržava strogost formalizacije, iako ne predstavlja potpunu, logičku formalizaciju, već samo formalizaciju do matematike [23]. Pre svega, treba imati na umu da je teoriju skupova moguće zasnovati u FOL, koja je, setimo se, konzistentna i potpuna teorija. Iz Gedelove teoreme o potpunosti, uz činjenicu da teoriju zasnivamo klasom njenih modela, sledi kako je svaka teorija koja je formalno aksiomatski zasnovana predikatima unutar teorije skupova **konzistentna**.

Izomorfizam modela, tj. kategoričnost naučnih teorija koje su ovako formalizovane, direktnije i intuitivnije sledi jer intendirani model nije daleko od formalnog sistema (kod MekKinsijeve mehanike model je isto što i formalni sistem, s tim da ima matematičko-formalno značenje i fizičko značenje termina).

Iako se o odlučivosti i potpunosti ovakvih teorija ne može reći ništa pozitivnije u odnosu na teorije u FOL, dokaz interpretacijom i njegov specijalni slučaj **metod Padoa** mogu nam bliže okarakterisati teoriju. Koristeći dokaz interpretacijom možemo dokazati nezavisnost aksioma dok nam metod Padoa

(po matematičaru Alesandru Padoa (*Alessandro Padoa, 1868-1937*)) služi za dokazivanje nezavisnosti primitivnih pojmova teorije. Ovaj metod podrazumeva pronalaženje dva modela sistema aksioma koji imaju istu interpretaciju svih primitivnih pojmova sem jednog. Primitivni pojam koji ima dve različite interpretacije u dva takva modela nezavistan je od ostalih, tj. ne može se preko njih definisati unutar formalnog sistema. Ovaj metod npr. može pokazati kako u MekKinsijevoj formalizaciji mehanike vreme predstavlja zavistan pojam [65] i moguće ga je eliminisati, što se i poklapa sa Njutnovom koncepcijom apsolutnog vremena, tj. vremena kao parametra.

Glava 2

Metodologija fizičke teorije

2.1 Određenje fizičke teorije

U prethodnom poglavlju se termin nauka paralelno, a u istom značenju, koristi sa terminom naučno znanje ili naučna teorija. Naučnu i još preciznije fizičku teoriju, kao osnovnu jedinicu znanja fizike, moramo bliže odrediti - upoznati moguće oblike, sastav, kako bi mogli kasnije sprovesti analizu nad njom.

Sistem znanja podrazumeva uređen i povezan skup naučnih teorija, naučnih zakona i naučnih činjenica zasnovan na određenim principima [2]. **Naučna teorija** osnovna je jedinica sistema znanja. Etimološki, pojam *teorija* sledi iz grčkog¹ za misao o posmatranom. Međutim, ako je naučnu teoriju lako odrediti u širem kontekstu, do različitih stanovišta dolazi kada se u razmatranje uzme sama struktura teorije - ono čime baratamo kada kažemo da imamo teoriju o nečemu. U tom smislu, bitno je odrediti *naučnu* teoriju i njen sastav i tako napraviti razliku od svakodnevnog upotrebe termina.

Za Hajzenberga [42], naučna teorija se u prvoj aproksimaciji može smatrati relativno celovitim sistemom *pojmovi, zakona i konstanti*. Obradović [2] pobraja i ostale relevantne stavove o tome šta je naučna teorija po svom sastavu i koja je uloga naučne teorije u sistemu znanja. Saznajemo da je po Šešiću (*Bogdan Šešić, 1909-1999*) teorija sistem više *pojmovi i teorema* o određenoj vrsti predmeta ili pojava. Kuraev (*Вячеслав Иванович Купаев, 1939*) daje aktivniju ulogu teoriji, jer je po njemu teorija sistem uzajamno povezanih *pojmovi i iskaza* o objektima koji se pomoću nje *proučavaju*. Za određene autore osnovna odlika teorije je oslikavanje objektivnih procesa. Herc (*Herbert Hörz, 1933*) podrazumeva pod teorijom objašnjenje objektivno-realnih procesa pomoću unutrašnje-uzajamno-povezanog izlaganja saznatih suštinskih odnosa i zakona, u nekom sistemu zakona. Međutim, Herc ide i dalje i kaže kako u teoriji mora postojati i unutrašnja povezanost sa uslovima realizacije saznatih zakona.

¹gr. θεωρία - gledanje, posmatranje, suprotno od prakse, gr. πράξις, pa stoga u značenju kontemplacije, spekulacije.

Provera mora biti cilj naučne teorije, pa Obradović ističe [2]: "Svaka konkretna teorija predstavlja jedinstvo odraza i konstrukcije, jedinstvo prikazivanja saznatih veza i tvoračkog formiranja struktura idealnih objekata, čiji smisao pre svega zahteva proveru." I Nejgel (*Ernest Nagel, 1901-1985*) pored funkcije teorije da objedinjuje i povezuje naučne činjenice ističe kako naučna teorija predstavlja i sisteme objašnjenja i predviđanja [2]. Značajno je stanovište koje zauzima Bunge (*Mario Bunge, 1919*) [43], po kome je naučna teorija *beskonačni skup formula*. Bunge teorije vidi kao hipotetičko-deduktivne sisteme, s tim da usled mogućnosti transformacija koje pružaju logika i matematika unutar tog deduktivnog sistema iz početnih pretpostavki, svaka teorija praktično predstavlja beskonačan skup formula. Po Sačkovu (*B. Сачков*), teorije su skupovi teorijskog znanja o istraživanim procesima, ali pri čemu logičke veze ne moraju postojati među posebnim komponentama unutar sistema [2]. Određeniji po pitanju jezika kojim teorija govori o stvarnosti je Deling (*E. Dölling*), koji ističe i ulogu naučnih zakona u strukturi teorije. Brodbek (*M. Brodbeck*) piše (preuzeto iz [2], str. 22): "Teorija je... deduktivno povezan skup empirijskih generalizacija. Ove generalizacije, bez obzira koliko dobro uspostavljene, uvek su objekt mogućeg opovrgavanja budućim iskustvom, pa su dakle hipotetičke."

Svaki pokušaj određenja naučne teorije mora početi od određenja njene **strukture**. Neka od pobrojanih gledišta predstavljaju nestandardna tumačenja strukture. Standardnim ili ortodoksnim shvatanjem strukture naučne teorije smatra se ono logičkih pozitivista, pre svih Karnapa [13][41], Franka [11][12] i Hempela [14]. Standardno shvatanje je razvijeno pod snažnim uticajem Kembela (*Norman R. Campbell, 1880-1949*) i podrazumeva dvojezički model (distinkciju između teorijskog i empirijskog jezika). Strukturu teorije po standardnom tumačenju čine *hipoteze, vokabulari i modeli*, čija će uloga biti razjašnjena na primeru teorija u fizici (deo Standardno shvatanje strukture teorije u fizici).

Pri određenju i tumačenju strukture naučnih teorija, posebno mesto zauzimaju fundamentalne teorije fizike. Fizika svojim predmetom zauzima fundamentalno mesto među prirodnim naukama, iako nisu sve fizičke teorije fundamentalne. Fundamentalne teorije karakteriše relativna logička potpunost, zatvorenost i neprotivrečnost [2]. Takve teorije, kaže se kod Obradovića, za predmet imaju "ogromne oblasti pojava", tj. u njima se "u najpotpunijoj i najopštijoj formi, odražavaju objektivni procesi prirode". Za svaku od fundamentalnih teorija može se reći da sadrži, pored fizičkih veličina koje opisuju objekte, karakteristične veličine koje opisuju stanje sistema, kao i jednačine koje opisuju evoluciju stanja sistema. Time se, kod Mjakiševa (*Г. Я. Мякишев*) na primer, pojam stanja sistema diže do osnovnog elementa fundamentalnih teorija i može se posmatrati kao filozofska kategorija [2].

Širenje domena važenja fundamentalnih teorija, kao i unifikacije interakcija, glavni su pokretači filozofske težnje naučnika ka jedinstvenoj naučnoj teoriji. Kritika, ali i zagovaranje takve *teorije svega*, uvek podrazumeva određenje uloge koju redukcija ima u nauci. Unifikacija je moguća jedino kroz redukciju užih teorija na šire, ali i svih teorija na određen minimalni broj osnovnih principa. Dovoljno je samo reći da je do objedinjene fizičke slike moguće doći u okviru metodološkog monofundamentalizma (kao kod Kulakova (*Юрий Иванович Кулаков*, 1927), u okviru njegove *teorije fizičkih struktura*) ili polifundamentalizma (*Algebarska teorija fizičkih teorija* prema programu Zajceva (*Г. А. Зајцев*)) [2]. Oba pristupa baziraju na određenim apstraktnim pojmovima simetrije.

Tumačenje strukture fizičke teorije govori nam o osnovnim elementima teorija i njihovoj međuzavisnosti. Kao i na mnogo mesta i ovde se može napraviti razlika između strukture i sastava (npr. kod minerala ili atmosfere - govorimo o strukturi minerala, koji može imati različite sastave). Ta razlika nužno znači razliku u principu podele, pa kada govorimo o sastavu teorije misli se na podelu prema vrsti komponenata teorije u odnosu na predmetnu usmerenost tih komponenata. Fizička teorija ima **višekomponentni sastav**, jer ima svoju empirijsku, formalnu, filozofsku i profizičku komponentu [2]:

- **Empirijska** komponenta igra posebnu ulogu kod standardnog tumačenja strukture teorija u fizici, jer se pri tom tumačenju pravi oštra razlika između teorijskog jezika i empirijskog jezika opažljivih odnosa u prirodi. Interpretacija teorijskog jezika se putem pravila prevodenja (pravila korespodencije) traži u empirijskom korpusu znanja, u skupu onoga što se obično naziva, naučna činjenica (izvedena iz sirove činjenice)². Ovaj pristup, jasnog razdvajanja empirijskog dela i teorijskog dela znanja karakterističan je za logičke pozitiviste. Kritikom se uglavnom odlazi ka drugom ekstremu, ka instrumentalizmu u nauci, kao kod Dijema [16], mada je delimična i pozitivnija kritika moguća, kao kod Poenkarea [17]. Neosporno je, doduše, da fizička teorija ne sme nikada postati previše udaljena od iskustva (i svoje empirijske osnove), kao što je primer sa popularnom teorijom struna. "Da mišljenje ne bi postalo metafizičko, neophodno je da dovoljan broj stavova pojmovnog sistema bude pouzdano povezan sa čulnim doživljajima." [2]
- **Formalna** komponenta podrazumeva formalne (logičke i matematičke) pretpostavke neke fizičke teorije. Ulogu logike već smo dovoljno istakli (kao i matematičke teorije skupova, u delu Tehnike filozofije nauke). U vezi sa izgradnjom aksiomatskih sistema u fizici treba još istaći kako upravo zbog višekomponentnog sastava fizičkih teorija, pojam aksiom u fizici nije jednoznačno određen [3]. Uloga matematike pri fundiranju teorija nije jedina, jer matematičke alate koristimo i kod izgrađenih fizičkih teorija, kao jezik i tehniku predviđanja - a time i način osmišljanja novih eksperimenata. Upravo ta, heuristička uloga matematike (pri matematičkom modeliranju, npr.) vredna je istraživanja [4][2].
- **Filozofska** pitanja nisu predmet nauke, ali prihvaćeni ontološki ili gnoseološki stavovi deo su filozofske komponente fizičke teorije. Osnovni metafizički stav u fizičkoj teoriji je da realnost postoji i da je na određeni način dostupna fizičkom istraživanju.
- Mnoge teorije u fizici oslanjaju se na fundamentalnije, klasične fizičke teorije. Pojmovi prostora, vremena, onda zakoni održanja, itd. čine ono što u nekoj fizičkoj teoriji nazivamo **profizička** komponenta njenog sastava. Profizička komponenta fundamentalnih teorija takođe su pojmovi prostora i vremena, ali kao pojmovi koje ta fundamentalna teorija ima da uobliči i odredi im značenje.

²Naučna činjenica se po Poenkareu od sirove činjenice razlikuje samo po jeziku kojim se formuliše. Jezik sirovih činjenica svakodnevni je jezik zdravog razuma, a njena interpretacija u nauci je naučna činjenica.

U vezi sa višekomponentnim sastavom fizičkih teorija mogu se javiti sledeći epistemološki problemi: *a)* uloga indukcije na empirijskom i na teorijskom nivou znanja, *b)* sticanje novih znanja u deduktivnom sistemu, *c)* heuristička uloga matematike, *d)* status metafizičkih stavova, *e)* gnoseološki status teorije, *f)* moguće koncepcije prostora i vremena, itd.

Standardno tumačenje strukture fizičke teorije podrazumeva razlikovanje teorijskog i empirijskog jezika teorije, onda hipoteze, vokabulare i modele kao elemente teorije i aksiomatsko-deduktivni ili hipotetičko-deduktivni način organizacije tih elementa (konkretno hipoteza). Sa ortodoksnim određenjem strukture teorije u fizici Obradović kao moguće epistemološke probleme navodi: *a)* nejednoznačnost pojma aksiom, *b)* moguće vrste i karakteristike aksiomatskih sistema, *c)* priroda fizičkih pojmova, *d)* delimična interpretacija teorijskog jezika, *e)* oštra distinkcija teorijskog i empirijskog jezika i status pravila korespodencije, *f)* karakter definicija u fizici, *g)* karakteristike fizičkih zakona, itd. [2].

Rešenje nekih problema u vezi sa aksiomatizacijom fizičkih teorija dao je Supes, svojom kritikom standardnog tumačenja strukture teorije. Baveći se prvenstveno problemom delimične interpretacije deduktivnog dela teorije dolazi do semantičkog pristupa strukturi fizičke teorije [27], izraženog poznatim sloganom "ispravno oruđe za filozofiju nauke jeste matematika, a ne metamatematika" [27]. Ovo treba tumačiti kao zahtev da se teorije zasnivaju direktno putem svojih modela (time se u prvi plan stavlja semantički karakter primitivnih pojmova i aksioma) i tako izbegne problem interpretacije. Primer bi bio: umesto aksiomima u FOL, Euklidsku geometriju zasnivamo definicijom Euklidovog prostora. Supesov program i semantički pristup strukturi fizičke teorije imaju velik odjek pri aksiomatizaciji u fizici.

Za dalje izlaganje bitni su problemi vezani za aksiomatizaciju fizičkih teorija, kao i problem formalizacije aksiomatizovanih sistema, pa je neophodno bliže se upoznati sa standardnim shvatanjem fizičke teorije (i konkretno ulogom koju aksiomatizacija u tom shvatanju zauzima).

Standardno shvatanje strukture teorije u fizici

Standardno tumačenje strukture naučne teorije, sa fizičkom teorijom kao osnovnim primerom, razvili su u određenim varijacijama rani logički pozitivisti. Po njima fizička teorija sadrži hipoteze, vokabulare i modele:

a) **Hipoteze** su *teorijske* formulacije kojima se utvrđuju odnosi među entitetima iz stvarnosti na koje se teorija odnosi [2]. Ovako shvaćena uloga hipoteze u teoriji, po Kempbelu i kasnije Karnapu i dr., nužno zahteva postojanje posrednika između teorijskih formulacija i empirijske osnove teorije. Hipoteza, naglašava Kempbel, je stav o čijoj se istinitosti ne može suditi i koji je time povezan sa sumnjom. To je osnova za negativnu konotaciju koju pojam hipoteze sa sobom nosi. Međutim, dalje se tvrdi kako se ta sumnja pre odnosi na uzdržavanje od suđenja nego na neverovanje. Hipoteza ima značenje, i o njemu je moguće suditi, ali tek kada joj se dodaju neki drugi stavovi (iz skupa vokabulara), pa je onda jasno kako na samom startu standardna koncepcija fizičkih teorija podrazumeva dvokomponentnu strukturu, dvojezični sistem stavova.

Za neke modifikacije standardne koncepcije, kakva je Poenkareova konvencionalistička slika naučne teorije, hipotezom se naziva svaka vrsta generalizacije. Nastanak empirijskih generalizacija je onda postavljanje hipoteza uz dodate stavove koji joj određuju značenje, stvaranje naučne od sirove činjenice [17].

U standardnoj koncepciji uobičajeno je tvrditi kako je jezik eksperimenta nedvosmislen i kako značenje teorijskih formulacija mora jednoznačno zavisiti od empirijskog jezika, od eksperimentalnih svedočanstava. Međutim, naučna hipoteza kao generalizacija, nije uvek generalizacija pojedinačnih empirijskih izraza. Tako u fizičkim teorijama možemo razlikovati opštost koju određeni stav nosi. Teorija nije nepovezan skup rečenica, već po standardnoj koncepciji strukture, među hipotezama teorije biramo opšte stavove iz kojih ostale hipoteze mogu slediti dedukcijom. Hipoteze možemo posmatrati kao skup stavova čiju jednu klasu čine aksiomi. Druga klasa, videćemo, predstavlja teoreme teorije bilo da je teorija aksiomatsko-deduktivni, ili hipotetičko-deduktivni sistem.

1) **Aksiomi** kod fizičkih teorija nisu jednoznačno određeni pojmovi. Aksiomi su osnova teorije i u okviru nje se smatraju istinitim, bez potrebe za proverom. Potreba za prihvatanjem određenih stavova bez dokaza javlja se pri izbegavanju cirkularnih definicija ili beskonačnog regresa u izgradnji nekog sistema stavova. Aksiomatski metod je osnova za bilo koji, u bilo kojoj meri formalan, matematički dokaz, pa se opravdano smatra da je dokaz uz pomoć nedefinisanih termina i samoočiglednih stavova koristio još Tales. Empirijski dokaz u matematici nije dovoljan, ako uopšte moguć, pa je Tales pribegao dedukciji - izvođenju iz opštih

principa. Za stare Grke aksiom je bio istina očigledna po sebi. Pritom se, kod Euklida pri izlaganju geometrije, pravila razlika između aksioma i postulata, gde postulat predstavlja, za određeno uže razmatranje, nametnut i ne tako očigledan stav koji se uzima kao istinit. Pri izgradnji, ili izlaganju neke fizičke teorije, određeni stavovi uzimaju se bez dokaza. U njima figurišu najopštiji pojmovi, koji se takođe uzimaju kao intuitivno jasni i njih nazivamo primitivnim pojmovima.

U fizici osnovne stavove možemo prepoznati kao principe, samoočigledne aksiome ili date postulate. Ako polazne osnove teorije nisu očigledne istine (kao kod Grka, ili pri izgradnji matematičkih disciplina), onda generalizacijom iz iskustva dolazimo do pogodnih postulata teorije - opštih hipoteza sa bogatim logičkim posledicama. Na prvoj osnovi izgrađen teorijski sistem zovemo aksiomatsko-deduktivan, pri drugom načinu izgradnje, hipotetičko-deduktivan, što dakle ukazuje jedino na poreklo i način izbora osnove teorije. Višeznačnost pojma aksiom u fizici dolazi usled višekomponentnog sastava fizičke teorije. Fizika je i empirijska i formalna i teorijska nauka. Pojmovi unutar osnovnih stavova fizike nemaju fizičko značenje, ali neki aksiomi fizike nužno su i generalizacije iz iskustva, pored toga što fizički aksiom može biti čisto određenje formalnih odnosa entiteta teorije (formalni aksiom).

2) **Teoreme** su hipoteze teorije koje mogu biti proverene. Pri proveru se značenje teoreme određuje pomoću dodatnih stavova iz skupa vokabulara. Međutim, teorema je u isto vreme i deduktivna, logička posledica sistema aksioma, ako se može dokazati unutar teorije. Na taj način, teorema je predviđanje teorije koje, ako se pokaže ispravnim, ide u prilog istinitosti odabranog aksiomatskog sistema. Provera teoreme je posredna provera polaznih postavki teorije i ako omane imamo znak kako nešto nije u redu sa aksiomima teorije. Lepota aksiomatskog metoda je u tome što se "krivac" unutar sistema često može lako pronaći i izdvojiti.

b) **Vokabulari**. Povezivanje hipoteza kao teorijskih formulacija, sa iskustvenom osnovom, ostvaruje se "koordinativnim definicijama ili pravilima korespondencije" [2]. Značenje empirijskih izraza određeno je operacionalno (u odnosu na tehnike, aparaturu, uslove eksperimenta). Po ortodoksnom shvatanju empirijski jezik je potpuno razumljiv jer se odnosi na neposredno iskustvo. Teorijski izrazi su delimično razumljivi pomoću aksioma (iz kojih slede deduktivno), pravila korespondencije (između neke pojave i teorijskog tumačenja) i operacionalnih definicija. Neko pravilo korespondencije iskazuje potreban i dovoljan uslov da se eksperimentalnoj situaciji pripiše određen teorijski pojam: $T(x) \Leftrightarrow E(y)$, gde je T teorijski, a E eksperimentalni predikat. Često pravila korespondencije imaju drugačiju strukturu (predstavljaju samo potreban ili samo dovoljan uslov korespondencije, povezuju više eksperimentalnih predikata sa jednim teorijskim, itd.).

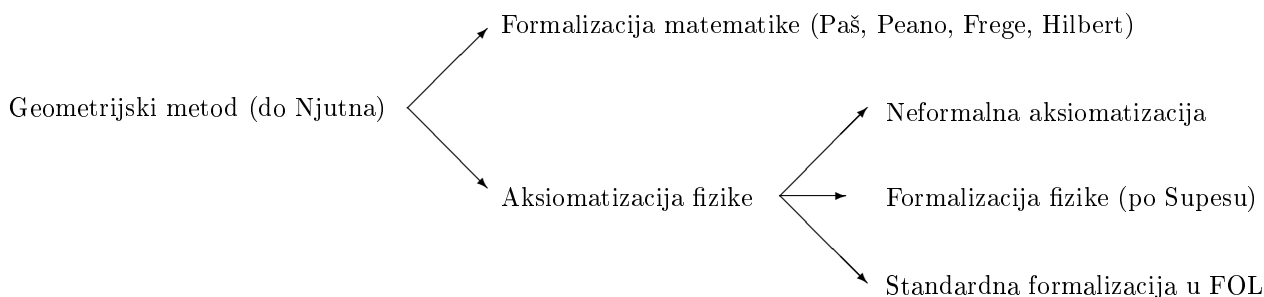
Teorija teži da objasni što veći skup fenomena i što veći broj eksperimenata, pa je nužno bez eksperimentalnih pojmova. Fundamentalne fizičke teorije npr. izražavaju opšte odnose koji su nepromenjeni u velikom broju eksperimenata, čime osiromašuje njena primena u posebnim područjima osim ako se u teoriju ne uvode dodatne restriktivne pretpostavke u različitim eksperimentalnim kontekstima. Time se dalje komplikuje odnos teorijskog i empirijskog jezika, kao i status vokabulara.

Bitno je shvatiti kako teorijski jezik ne mora biti, i nije u većini slučajeva, potpuno interpretiran u iskustvu. Delimična interpretacija teorijskog jezika još jedan je od indikatora neadekvatnosti dvojezičkog pristupa. Za neke autore, prvenstveno kod Dijema, posmatrački jezik nema smisla van okvira teorije i uvek je vođen teorijskim pretpostavkama (eng. *theory-laden*). Posledica Kvajn-Dijemove hipoteze (videti deo Kritike logičkog pozitivizma) je mrežni model teorija Meri Hese (*Mary B. Hesse, 1924*).

c) **Modeli.** Treću komponentu u standardnoj strukturi čine analogije po Kempbelu ili modeli po Nejgelu i dr. Po Hageru (*N. Hager*) model je misaoni ili realizovani sistem koji adekvatno odražava objekt istraživanja ili analogno reprodukuje specifična svojstva i odnose [2]. Model je i kompjuterski model neke pojave i misaoni eksperiment neke teorije. Upoznali smo se već sa značenjem modela u analizi formalnih teorija (deo 1.3, Sintaksa i semantika). Model kao interpretaciju teorijskih pojmova treba razlikovati od interpretacije u iskustvu uz pomoć vokabulara. Jasno je da termin model može imati više značenja i više uloga u izgradnji teorije (kao misaoni eksperiment, kao "radna hipoteza", kao vrsta provere-simulacije teorijskih pretpostavki, itd.). Od značaja je i upotreba termina model za interpretaciju neinterpretiranih (aksiomatizovanih i formalizovanih) sistema aksioma.

2.2 Aksiomatizacija teorija u fizici

Aksiomatizacija fizičke teorije podrazumeva izbor osnovnih stavova iz kojih će ostatak teorije deduktivno slediti. Prema Ajnštajnu [45] organizacija koncepata i osnovnih zakona kojima povezujemo koncepte, kao i izvođenje logičkih posledica, osnova je metoda teorijske fizike. Supes ipak naglašava kako je deduktivni metod matematike i fizike, po ugledu na Euklida nazivan i geometrijski metod, išao paralelno sve do Njutna i njegovih *Principia*, ali kako se već tri veka aksiomatizacija fizike ne vrši adekvatno ili bar ne po standardima strogosti matematike [26]. Supesov poziv na aksiomatizaciju fizike u okviru teorije skupova poznat je kao Supesov program, koji bi trebao da zadovolji standarde strogosti matematike i u isto vreme uvaži razlike koje su neminovne pri aksiomatizaciji naučne teorije u odnosu na matematičku. Do uvođenja modernih standarda strogosti dolazi postepeno (sa traženjem osnova analizi kod Vajerštrasa (*Karl Weierstraß, 1815-1897*), Dedekinda (*Richard Dedekind, 1831-1916*) ili pri aksiomatizaciji geometrije Paša (*Moritz Pasch, 1843-1930*) ili Peana), mada se ocem moderne aksiomatizacije smatra Hilbert (delom *Grundlagen der Geometrie*). Uopšte, istorijski se razvoj aksiomatskog metoda može predstaviti razgranato:



Ipak, i matematika i fizika imaju iste osnovne principe³ pri izgradnji teorija aksiomatskim metodom:

1. Bira se određeni skup termina koji se upotrebljavaju bez objašnjenja i koje nazivamo primitivni pojmovi.
2. Bira se određeni skup tvrđenja čija se istinitost ne dovodi u pitanje i koje nazivamo aksiomi teorije.
3. Ne upotrebljava se nijedan termin čije značenje nije prethodno određeno pomoću primitivnih pojmova ili pomoću termina čije je značenje ranije određeno. Stav koji određuje značenje termina naziva se definicija.
4. Neki stav teorije se prihvata ako je utvrđena njegova valjanost samo uz pomoć aksioma, definicija i onih stavova čije je valjanost već potvrđena. Postupci utvrđivanja valjanosti stavova moraju biti unapred propisani. Stav čiju valjanost pokažemo naziva se teorema, a postupak dokaz, izvođenje ili dedukcija.
5. Svi stavovi i termini teorija koje prethode datoj teoriji upotrebljavaju se kao aksiomi ili kao primitivni pojmovi. Prilikom izgradnje teorije običaj je da se teorije koje prethode nabrajaju.

³Osnovni principi daju neophodan uslov da bi se izbegao *circulus vitiosus*, definisanje polaznim pojmom, i *regressus ad infinitum*, definisanje nedefinisanim pojmom.

Višekomponentni sastav fizičke teorije otežava izbor aksioma u fizici. Aksiomi u fizici određuju matematički status primitivnih pojmova ali i skiciraju njihov fizički sadržaj. Svaki dobro izgrađeni sistem aksioma treba da sadrži formalne ili matematičke aksiome, onda semantičke aksiome koji dodeljuju terminima značenje i fizičke aksiome kojima se govori o samom fizičkom sistemu. Formalni aksiom uvodi matematičke objekte koji sa semantičkim aksiomima dobijaju značenje. Većinu fizičkih teorija nije moguće zasnovati samo na formalnim i semantičkim aksiomima. Na primer, ako uzmemo 1. \mathbf{F} je vektorska funkcija realne promenljive ili $\mathbf{F} : \mathcal{R}^3 \rightarrow \mathcal{R}^3$ kao matematički aksiom i 2. Funkcija \mathbf{F} predstavlja fizičku veličinu - silu, koja telima daje ubrzanje kao semantički, za karakterizaciju fizičkog sistema dodajemo i "čisto" fizičke aksiome, npr. 3. $\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$. Fizički aksiom je često u formi fizičkog zakona. Međutim, termine je moguće uvoditi i bez potpune interpretacije, što je praksa uspešno ostvarivana još od Faradejeve (*M. Faraday, 1791-1867*) teorije elektromagnetnog polja ili Meksvelove (*J. C. Maxwell, 1831-1879*) kinetičke teorije gasova [2].

Svaki dobro formirani sistem aksioma u fizici treba da ima sledeće osobine [2][43]:

- **Formalna neprotivrečnost aksioma** garantuje da iz sistema aksioma neće slediti bilo koje moguće tvrdjenje. Neprotivrečnost osnovnih stavova je osnovni zahtev racionalnosti [2].
- **Deduktivna potpunost aksioma** podrazumeva sistem koji je dovoljno bogat da kao teoreme ima sva tvrdjenja unutar oblasti koju aksiomatizuje.
- **Potpunost primitivnih pojmova** znači potreban i dovoljan uslov za definisanje svih termina teorije.
- **Nezavisnost primitivnih pojmova** obezbeđuje da se pri definisanju ne upadne u cirkularne definicije i beskonačni regres. U sistemima u kojima je neki primitivni pojam moguće definisati preko drugih (kao što se pokazalo za vreme u MekKinsijevoj mehanici materijalne tačke) treba dodatno voditi računa pri definisanju novih pojmova.
- **Nezavisnost aksioma** pored nekog estetskog kriterijuma, jer se njime postiže elementarna, "atomska" struktura sistema aksioma, predstavlja i preventivnu meru, jer u slučaju da je moguće izvesti pogrešne teoreme, zamena elementarnih aksioma je lakša nego nekih složenijih. Često se naglašava kako je upravo potraga za nezavisnosti petog Euklidovog postulata dovela do neeuklidskih geometrija.

Međutim, fizička teorija, prema Gedelovim rezultatima, ne može biti formalno neprotivrečna i potpuna. Bunge naglašava [44] da deduktivna potpunost aksioma, kao i potpunost primitivnih pojmova jeste poželjna u fizici, ali samo do određene mere. Npr. u nekoj fizičkoj teoriji primitivni pojam može biti konstanta brzine svetlosti, a aksiomi koji je određuju: matematički (da je iz skupa \mathcal{R}), semantički (da ima dimenziju brzine) i fizički (da je brzina prostiranja elektromagnetnih talasa). Ono što ne želimo da određujemo, a čime bi sistem bio potpun (u smislu potpunosti pojmova), je vrednost konstante, jer to određenje treba ostaviti eksperimentu. Na isti način i deduktivna potpunost nije uvek neophodna u fizici, jer čini teoriju krutom.

Aksiomatizacija se u fizici može dvojako odvijati: *a)* Kroz aksiomatski metod pri izgradnji novih teorija i *b)* Kao aksiomatizacija već izgrađenih teorija.

- a)* Fizičku teoriju je moguće od samog početka aksiomatski razvijati. Pri tom se kao polazni stavovi biraju opšti principi generalizovani iz iskustva. Aksiomatizacija na samom startu izgradnje teorije uvek ima hipotetičko-deduktivni karakter, jer opšti principi nisu ništa drugo do "radne" hipoteze. U fizici se usled ovog došlo do uopštavanja pojma aksiom [3], ali što olakšava neformalnu aksiomatizaciju fizičkih teorija. Primer aksiomatizacije pri samoj izgradnji teorije je naravno Ajnštajnova specijalna teorija relativnosti (nadalje STR).
- b)* Naknadna aksiomatizacija teorija uvek dolazi kao težnja za strožim zasnivanjem ili usled potrebe razgraničenja termina, itd. Aksiomatizacija već postojećih teorija uglavnom podrazumeva neki vid formalizacije, tj. teorija se zasniva ili jezikom predikata ukoliko je to moguće ili nad nekim delom matematike. Po Andreki i dr. [46] svaka aksiomatizacija prolazi kroz tri faze: 1. neformalna aksiomatizacija, 2. formalna, logička aksiomatizacija i 3. aksiomatizacija u FOL, do elementarne teorije⁴. Specijalna teorija relativnosti može poslužiti i ovde kao primer, s tim da se tad imaju u vidu neke od strogih, naknadnih aksiomatizacija STR.

Mnogo bitnija podela po mogućnosti aksiomatizacije u fizici je u vezi sa formalizacijom teorija. Formalizacija podrazumeva odvajanje od sadržaja. Simbolički jezik matematike odvajaju fizički sadržaj (koji se uvodi semantičkim ili fizičkim aksiomima), pa aksiomatizacija fizičke teorije bez potpune fizičke interpretacije termina jeste vid formalizacije. Dalje odvajanje od sadržaja značilo bi formulisanje termina i stavova na nekom potpuno formalizovanom jeziku, recimo do FOL. Aksiomatizacija je moguća i bez formalizacije, dok formalizacija bez aksiomatizacije nema puno smisla:

- a)* **Neformalna** aksiomatizacija po savremenim standardima strogog zasnivanja bila bi i Euklidova aksiomatizacija i Njutnov originalni sistem, pa i Ajnštajnova STR. Formalizacija aksiomatskih sistema fizike i matematike posle Njutna nije napredovala jednako [26]. U matematici teži se ka sve većoj formalizaciji, po mogućstvu do FOL, dok je opšti stav kako formalizacija fizike ne donosi ništa novo. Kontra ovog stava ima prostora i vredi argumentovati (deo Formalizacija fizike).
- b)* Kada se aksiomatizacija vrši naknadno, nad već formiranim teorijama, teorijski stavovi uglavnom ostaju neinterpretirani [2], pa takva aksiomatizacija podrazumeva manje ili više strogu **formalizaciju**, čiji je intendirani model teorija od koje polazimo. Adekvatna aksiomatizacija može onda pokazati kako isti sistem aksioma u formalnom obliku ima različite, u opštem slučaju i neizomorfne, modele. Takva (formalna semantička) analiza govori nam onda o povezanosti teorije sa drugim teorijama. U fizici se samo takvim analizama može doći do stava da je neku teoriju moguće redukovati na neku drugu. Aksiomatizacija uz formalizaciju ima mnoge prednosti, od kojih je preciznost upotrebe termina najočiglednija.

Aksiomatizacije u fizici su s jedne strane brojne, a opet s druge, nedovoljno ih je. Takva situacija je moguća kad se uzmu u obzir različiti načini aksiomatizacije fizičke teorije. Neformalne aksiomatizacije su sve one koje izdvajaju neke opšte principe za datu teoriju, ali ne ističu sve primitivne pojmove niti daju potpun, konačan broj aksioma. U ovu prvu grupu aksiomatizacija spadaju sve teorije po ugledu na euklidovsku aksiomatizaciju geometrije. Razlika između geometrije

⁴Elementarna teorija je po Tarskom ona formalna teorija koja je zasnovana jezikom prvog reda. Tako se u [46] navodi Euklidova aksiomatizacija kao ne potpuno formalna, Hilbertova aksiomatizacija Euklidske geometrije kao 2. faza i aksiomatizacija elementarne geometrije u FOL koju je dao Tarski kao poslednja faza razvoja ove teorije.

i mehanike po pitanju aksiomatizacije nije pravljena sve do posle Njutna [26]. Istorijski razvoj aksiomatizacija ovim *geometrijskim* metodom daje Supes [28][30], a neke od viđenijih teorija su Euklidovi *Elementi*, Arhimedov aksiomatski sistem poluga, Euklidova *Optika*, Ptolomejev *Almagest*, srednjevekovna teorija težine Pariskog matematičara Jordana (*Jordanus de Nemore, XIII vek*), srednjevekovni Orezmov sistem mehanike, Hajgensov (*Christiaan Huygens, 1629-1695*) *Pendulum Clock* i pomenuta Njutnova *Principia*. Takva je međutim i Ajnštajnova postavka STR, ali i aksiomatizacije termostatike koju daje Karateodori (*Constantine Carathéodory, 1873-1950*) 1909. god. ili kvantna mehanika fon Nojmana (*John von Neumann, 1903-1957*).

Formalnih aksiomatizacija ima daleko manje. Formalizacija fizike po modernim standardima strogosti smatra se neplodnom ili čak nemogućom i u odbranu takvog stava se uvek pozivaju radovi Gedela o manjkavostima formalnih sistema. Međutim, kako je već naglašeno, strogost se može mnogo lakše postići i u nešto drugačijoj aksiomatizaciji nad teorijom skupova [28][26], uz napomenu kako manjkavosti formalnih sistema i nemaju veliku ulogu u fizici [44], a mogu se čak uzeti i kao prednost fizičkih teorija (Bungeov stav o potrebi nepotpunosti fizike). Bunge nam kaže kako je opravdano zašto još uvek nemamo metateorijska tumačenja formalizovanih aksiomatskih sistema u fizici (jer je metateorijska-metodološka analiza fizičkih teorija teška), ali kako je neopravdan tako mali broj formalizacija [44]. Mehaniku materijalne tačke je u ovom stilu formalizovao MekKinsi 1953., Nol (*Walter Noll, 1925*) 1955. daje aksiomatizaciju mehanike neprekidnih sredina, Edelen (*D. G. B. Edelen*) 1962. teoriju polja, itd. [2]. Nešto drugačiji je slučaj aksiomatizacije STR, jer se pokazuje kako je ovu teoriju moguće aksiomatizovati na oba načina (uz formalizaciju u FOL ili manje strogo iz malog broja postulata) podjednako lako [46]. Poseban osvrt na aksiomatizacije STR dat je poslednjim delom ovog rada.

Hilbertov program. Nivoi aksiomatizacije

Na svetskom matematičkom kongresu 1900. godine, Dejvid Hilbert je iskoristio svoju reputaciju kako bi ukazao na probleme koje treba smatrati najbitnijim problemima u matematici na početku veka [54]. Radom na osnovama geometrije on je već postavio nove standarde strogosti u matematici, a zapažene rezultate kasnije je dao i u vezi osnova drugih matematičkih pa i fizičkih disciplina. Hilbertov rad bio je u velikoj meri usmeren ka osnovama matematičkih i naučnih znanja. Njegov spisak sadrži 23 problema od kojih se 6. problem direktno bavi fizikom [55][56]. Jedna od formulacija 6. Hilbertovog problema je sledeća: "Ispitati osnove fizičkih teorija u kojima matematika igra važnu ulogu, pre svih teorije verovatnoće i mehanike. Osnove fizičkih teorija istražiti na isti način kao pri zasnivanju geometrije". Hilbert smatra da fizičke teorije koje imaju matematički osnovu treba jednako strogo aksiomatizovati kao geometrijske sisteme.

Filozofska pozadina Hilbertove potrage za osnovama bila je vera u konzistentnu i potpunu bazu matematike i fizike. Redukcija koju Hilbert zahteva ne poklapa se potpuno sa logicizmom i svođenjem matematike na logiku. Hilbert zagovara upotrebu formalnih sistema u matematici i logici ali bez potrebe da svaki simbol formalnog sistema ima interpretaciju. Neinterpretirani delovi formalnih sistema po Hilbertu bi imali samo svrhu pomoćnih alata zarad lakšeg dokazivanja teorema koje imaju interpretaciju i smisao. Ovaj vid formalizacije u matematici se naziva formalističkim. I logicizam i Hilbertov program, jednom rečju finitiističke tendencije u filozofiji nauke i matematike, srušeni su Gedelovim teoremama o nepotpunosti.

Sistem aksioma neke fizičke teorije, pokazano je ranije, mora sadržati matematičke, semantičke i fizičke aksiome. Pored toga, aksioma ne sme biti previše jer bi tada bilo moguće neki izvesti iz drugih (što se pokazuje sintaktički), tj. sistem aksioma ne bi bio i minimalni sistem osnovnih pretpostavki. Broj aksioma ne sme biti ni premali u odnosu na intendirani model, a što predstavlja semantičko pitanje [49]. Bitna činjenica na koju Hilbert ukazuje je da je, pored svega, aksiomatizacija neke teorije nedovršen posao, u smislu da su uvek moguće sve strože aksiomatizacije na sve dubljem nivou [2], sve većeg stepena formalnosti. Pritom neka formalna teorija može biti konačno aksiomatizovana, u značenju - određena konačnim brojem aksioma, ali ne i na konačno dubokom nivou. Osnovni nivo aksiomatizacije ne postoji ili drugačije rečeno: potpuno formalizovan sistem nije moguć⁵.

⁵U ovom slučaju očigledno je kako aksiomatizacija na sve osnovnijim nivoima podrazumeva veći stepen formalizacije. Aksiomatizacija podrazumeva formalizaciju, ali ne i obratno.

Supesov program. Formalizacija fizike

Zasnivanje fizičkih teorija po Supesu, a nakon razilaženja matematike i fizike po pitanju strogosti, ide dvojako. Malobrojni su pokušaji da se i fizičke teorije zasnuju u FOL a takve aksiomatizacije, usled široke primene u matematici, Supes naziva **standardne** aksiomatizacije. Međutim, taj način pokazao se izuzetno teško primenjiv u fizici [28] koja svoje teorije, ako uopšte u aksiomatskom obliku, izlaže **neformalizovano** (ili neformalno). Donekle drugačija situacija je u matematičkoj fizici. Bitno je, kako naglašava Supes [26], primetiti kako se upravo po strogosti izdvajaju nove discipline, pored matematičke fizike, manje formalizovana teorijska fizika. Matematička fizika je sve formalizovanija matematička disciplina, teorijska fizika je sve deskriptivnija fizička disciplina. Most koji bi ponovo povezao matematičku strogost i fizičku teoriju Supes gradi novim načinom aksiomatizacije fizičkih teorija. Ta aksiomatizacija podrazumeva formalizaciju fizike, relativno i privremeno odvajanje od sadržaja, zasnivanje fizike nad matematikom, ali unutar intendiranog modela teorije.

Standardna aksiomatizacija podrazumeva potpunu formalizaciju, koja fizičaru mora delovati nepotrebno, čak i štetno. Pri standardnoj aksiomatizaciji termini se uvode neinterpretirani, pa je za "vraćanje" teorije do njenih prirodnih domena neophodna metamatematika - semantika. Pri formalizaciji fizike nad teorijom skupova definišu se predikati nad matematičkim disciplinama, koja čini strukturalni deo fizičke teorije. U tom smislu Supesova formalizacija nije potpuno odvajanje od sadržaja iako fizičke veličine uvodi neinterpretirane. "Ispravno oruđe za filozofiju nauke jeste matematika, a ne metamatematika" [27] upravo izražava stav kako nauku pri formalizaciji ne smemo previše odvajati od intendiranih modela, što se ostvaruje zasnivanjem na matematici. Poziv na zasnivanje fizike unutar teorije skupova (i proizvoljnih teorija nad teorijom sklopova, tj. u *set-theoretic framework-u*) ono je što se naziva **Supesov program formalizacije**.

Neki metodološki zahtevi koji idu u odbranu formalizacije fizike su [26]: (a) zahtev očiglednosti, (b) standardizacija, (c) opštost, (d) objektivnost, (e) samodovoljnost pretpostavki (eng. *self-contained assumptions*), (f) minimalnost osnovnih pretpostavki.

- (a) Formalizacija povezanog skupa koncepata je jedan način isticanja njihovog značenja na **očigledan** način.
- (b) Konceptualna analiza nalaže preciznu i jasnu upotrebu termina i koncepata, ali i standardizaciju istih termina. Jasno je kako formalizacija olakšava standardizaciju i kako kao prirodnu posledicu ima uvođenje **standardnih** relacija, pojmova, itd.
- (c) Formalizacijom se postiže odvajanje nebitnih posebnih i pojedinačnih karakteristika teorije i otkriva njena **opšta** struktura.

- (d) Formalizovana teorija po Supesu može ispoljiti veću objektivnost od neformalne u slučajevima suprotstavljenih koncepata, kada formalizacija može dati prednost nekom od koncepata ili pokazati njihovu izomorfnost.
- (e) Možda najveća prednost formalnih i formalizovanih teorija jeste u činjenici da nikakve pretpostavke nisu ostavljene implicitnim.
- (f) Određivanje **minimalnih** uslova neke teorije takođe je moguće jedino putem formalizacije.

Svaki pristup formalizaciji naučne teorije koji podrazumeva predstavljanje teorije klasom njenih modela naziva se semantičkim. Supesov program, kao semantički pristup formalizaciji fizike, nije bez mana i osnovanih kritika [64]. Prvenstveno nije jasno kako je teorija potpuno okarakterisana klasom svojih modela, jer velik broj teorija nije kategoričan, tj. ne postoji izomorfizam svih njenih modela. Postavlja se pitanje apsolutnosti nekog pojma u teoriji [64]. Naime, teorijski pojam može biti apsolutan ako ima isto značenje u svim modelima ili relativan ako mu se značenje menja. Primer iz fizike je van Frazenova (*Bas van Fraassen, 1941*) modalna interpretacija kvantne mehanike u kojoj koncept identičnih čestica predstavlja relativan pojam. Direktniji i istorijski prvi primer je neodređenost beskonačnih skupova unutar neke teorije realnih brojeva u FOL, jer FOL nije kategorična teorija. Skup realnih brojeva je tada u nekom modelu teorije neke kardinalnosti λ a u drugom modelu $\kappa \neq \lambda$. Ovaj paradoks je poznat kao Skolemov i osnova je Levenhajm-Skolem teoreme. U fizičkim teorijama formalizovanim po Supesovom programu koncepti mogu biti relativni na isti način na koji je skup realnih brojeva unutar neke formalne FOL teorije brojeva.

2.3 Metodološka analiza fizičkih teorija. Primer STR

Metodološka analiza u fizici dobija svoju najširu primenu. Razlika koja ne sme biti i najčešće nije oštra, može se napraviti između metodologije fizičke teorije i metodologije fizičkog eksperimenta. Usled fundamentalnog karaktera fizičkih zakona, metodologija fizičke teorije značajan je teorijski deo opšteg naučnog tumačenja prirode. Pored toga, bogata i zanimljiva, a ovim radom zapostavljena, metodologija eksperimenta primenjiva je pri fizičkom eksperimentu više nego igde drugde. Fizički eksperiment u kvantnoj mehanici ali i u teoriji gravitacije umnogome se odvija po kontraintuitivnim principima, što usložnjava metodologiju fizičkog eksperimenta (i u odnosu na metodologiju eksperimentalnog istraživanja u biologiji, hemiji i još više u odnosu na sociologiju ili psihologiju). Bitnija pitanja su: Šta znači meriti u kvantnoj mehanici, a šta u teoriji gravitacije (direktno merenje intervala dužine i vremena, osnova svih merenja u fizici, unutar domena ovih teorija nisu tako jednoznačna)?; Koja je uloga statistike i računa verovatnoće u tretiranju merenja?; Jesu li fizički eksperimenti nezavisni od teorijskih okvira?; Kako se eksperimentalne tehnike uklapaju u opšti naučni metod?

Metodologija fizičke teorije jednako je razrađena i zanimljiva disciplina. Neka njena pitanja su: Koji način predstavljanja fizičkih činjenica je adekvatan određenim fizičkim pojavama (tj. kako tumačiti fenomene recimo kvantne mehanike - kao suštinski probabilističke ili deterministički uz postuliranje dodatnih hipoteza)?; Koje metateorijske osobine ima konkretna fizička teorija i šta nam te osobine kazuju?; Kako koncepti, ideje i pojmovi fizičke teorije odgovaraju stvarnosti ili bar sirovim činjenicama eksperimenata? Jedan način podele zadataka i moguća usmerenja pažnje metodologije, primenjivi na metodologiju fizičke teorije, pokazani su u delu 1.3 Zadaci naučne metodologije. **Konceptualna analiza** se u fizici često primenjuje i nikad nije jako daleko od rada samih fizičara. Drugačiji je slučaj sa **formalnom analizom** fizičke teorije koja pretežno postaje okupacija matematičara, logičara, metalogičara - metodologa nauke u smislu među oblasti nauke i filozofije, kako je opisano ranije.

Konceptualnom analizom u fizici bave se i fizičari-teoretičari i filozofi fizike. Iza konceptualne analize u fizici leže, čini se, dva različita zadatka: 1. učiniti fizičke pojmove jasnim i preciznim, uz razjašnjenje odnosa termina i pojava, a putem metode eksplikacije i 2. ispitati osnovne principe na kojima baziraju različite teorije u cilju pronalaženja sve fundamentalnijih zakona prirode. Jasno je kako prvi zadatak najprirodnije mogu obavljati sami fizičari, jer poseduju najintuitivniji i najdirektniji uvid u odnos pojave i fizičkog pojma koji sledi iz pojava. Drugi zadatak podrazumeva aksiomatizaciju teorijskih gledišta i ispitivanje uslova

redukcije uže teorije na širu. Ovaj zadatak, iako predstavlja opštu težnju fizičara ka unifikaciji, ide uporedo sa formalnom analizom, koja je prirodnija matematičaru jer teorije tretira kao formalne sisteme. Konceptualna analiza otvara vrata i širem filozofskom uplitanju u naučnu teoriju.

Od svog osnivanja 1905. godine specijalna teorija relativnosti Alberta Ajnštajna pokrenula je mnoga konceptualna pitanja. Pojmom istovremenosti, mase mirovanja i ostalim koje STR postulira ili *relativizuje* bavili su se mnogi teoretičari, filozofi fizike, Rajhenbah [48], Supes [29], ali i mnogi "čisti" fizičari. Metodološka zanimljivost u vezi STR je upotreba misaonih eksperimenata (nem. *Gedankenexperiment*), koji u eksplikaciji mnogih koncepata teorije, od trenutka same formulacije nadalje, igraju bitnu ulogu. Široko poznat paradoks bližanaca je misaoni eksperiment koji ne prestaje da budi pažnju i pokreće debate oko konceptualnog razjašnjenja. Pažnju na ovaj paradoks usmerio je Lanževen (*Paul Langevin, 1872-1946*) 1911. godine i od tad su se među ostalima, intenzivno njime bavili Laue (*Max von Laue, 1879-1960*), Rajhenbah, Bom (*David Bohm, 1917-1992*), Tolman (*Richard Tolman, 1881-1948*), Fejnman (*Richard Feynman, 1918-1988*), Arsenijević (*Miloš Arsenijević, 1950*) [49].

Formalna analiza fizičke teorije podrazumeva neki oblik aksiomatizacije i formalizacije fizičke teorije (prethodni deo), kao i primenu tehnika metalogičke analize manje ili više formalnih sistema, kao u delu 1.3 Sintaksa i semantika. Formalna analiza može podrazumevati logičku analizu (ako je aksiomatizacija do FOL) ili formalnu analizu u širem smislu. Kako bilo, pokazalo se kako je formalna naliza često uslov za dodatnu analizu koncepata, onda tehnika upoređivanja teorija, itd. Ispitati metateorijske osobine fizičke teorije podjednako je važno kao i testirati teoriju na "spoljne" nekonzistentnosti. Primer značaja koji se pridaje aksiomatizaciji, formalizaciji, tj. formalnoj analizi fizike uopšte, jeste uvrštavanje problema zasnovanosti fizike kod Hilberta i pritom se često naglašava i visoka rangiranost 6. Hilbertovog problema. Još jedan, skorašnji primer je kratak spisak problema Klej Instituta (eng. *Clay Mathematical Institute*), za rešenje svakog od kojih je ponudena nagrada od milion dolara. Na tom spisku je i problem fizičke teorije Yang-Mills. Uočljivo je iz oba primera kako formalne osobine fizičkih teorija predstavljaju probleme matematičke prirode.

Fizičke teorije je moguće formalizovati u skladu sa Supesovim programom, mada ima primera kada fizička teorija može dobiti i standardnu aksiomatizaciju unutar FOL. Jezikom prvog reda moguće je izraziti svaku čisto kinematičku teoriju iz razloga što zakoni kinematike direktno odgovaraju geometrijskim stavovima prostora u kojem se teorija formuliše. Na taj način je i kinematika STR geometrijska teorija. Ajnštajnova originalna formulacija STR počiva na dva postulata i

predstavlja onu vrstu aksiomatizacije koju Supes naziva neformalnom [29]. U proteklih 105 godina formalizacija STR je prošla dug razvoj, i možda došla najdalje u odnosu na ostale fizičke teorije. Andreka (*Hajnal Andréka*) ukazuje na povezanost razvoja teorije relativnosti i logike [46]. Ne retko je napredak u formalizaciji STR izazivao proboje u logici i logičkoj analizi formalnih sistema. Međutim, u fizici aksiomatizacija i formalizacija nisu cilj, već često samo alat naredne konceptualne analize. Najznačajnije doprinose formalnoj analizi STR dali su Rob (*Alfred A. Robb, 1873-1936*), Šuc (*John Schutz*), Aleksandrov, Goldblat (*Robert Goldblatt*), Supes, u novije vreme Belnap (*Nuel Belnap, 1930*) i grupa oko Andreke (Madaras (*Judit X. Madarász*), Nemeti (*István Németi*)).

Značajni rezultati metodologije STR

Formalna analiza aksiomatskih sistema STR, bilo da se aksiomatizacija vrši u FOL ili nad teorijom skupova, plodotvorna je usled prirode same teorije i fenomena teorije. Vanlogičke aksiomatizacije sa poželjnim metateorijskim osobinama mogu se naći kod Aleksandrova i njegove škole, čije temeljan pregled daje Guts (*Александр Константинович Гутц*). Prvu formalnu, logičku aksiomatizaciju daje Rob, još 1914. godine [59]. Izuzetno jasnim uvidom Rob otvara put svim kasnijim aksiomatizacijama. Binarna relacija koju Rob koristi kao primitivni pojam osnova je svake aksiomatizacije do danas, čak i ne geometrijskim (ne metričkim) aksiomatizacijama Belnapa. Sistem od 21-og aksioma Rob razvija po ugledu na geometrijske teorije.

U svojim ranim radovima Rajhenbah pored konceptualne analize STR naglašava kako je potrebno izgraditi aksiomatski sistem STR koji će imati aksiome koji su iskustveno intuitivni (eng. *observation-oriented*). Prvi takav sistem unutar FOL dao je Aks (*James Ax, 1937-2006*) koristeći dva primitivna pojma, *čestica* i *signal* i dve primitivne binarne relacije, *odašiljanje signala* i *prijem signala*. Supesov sistem iz 1959. god. je u jeziku drugog reda, mada 1972. Supes precizira način kako se njegov sistem može preformulisati ne bi li predstavljao formalnu teoriju prvog reda. Goldblatov sistem aksioma je unutar FOL, odlučiv, konzistentan ali nekategoričan i bez nezavisnosti aksioma. Goldblat kao primitivne relacije koristi jednu kvaternarnu i jednu ternarnu relaciju koje mogu da se izvedu iz Robove binarne relacije. Šuc razvija sistem koji je kategoričan i nezavisnih aksioma ali drugog reda i neodlučiv. Šuc koristi jednu ternarnu relaciju na osnovu koje uvodi delimično temporalno uređenje događaja. Svaka od aksiomatizacija STR mora definisati sličnu vrstu kauzalnog uređenja koja po pravilu sledi iz izbora primitivne relacije.

Međutim, metodološka analiza STR ima i fundamentalnije rezultate, pored pojedinačnih aksiomatizacija koje su pomenute. Rezultati koji se izdvajaju slede direktno iz geometrije Minkovskog, tj. iz pokušaja da se što bolje aksiomatizuje prostorvreme kao osnova za kinematiku i dinamiku STR. Prvi je Tarskijev dokaz nesvodljivosti geometrije Euklida na binarne relacije, uz Robovu uspešnu aksiomatizaciju geometrije Minkovskog primitivnom binarnom relacijom - dokaz elementarne prirode prostorvremena naspram euklidskog prostora [24]. Drugi pozitivan rezultat je Aleksandrov-Ziman teorema, po kojoj Lorencove transformacije slede iz aksioma uvek kada kao primitivni pojam imamo neku binarnu relaciju ekvivalentnu onoj koju Rob koristi za aksiomatizaciju prostorvremena.

1. **Tarskijev dokaz** nesvodljivosti euklidske geometrije na bilo koji konačni skup binarnih relacija samo je jedan, pored mnogih pozitivnih rezultata, koje je Tarski ostavio za sobom kao rezultat dugogodišnjeg rada na geometriji i logici, matematici uopšte. Pre Tarskog neki aksiomatski sistem Euklidske geometrije je bazirao na različitim mogućim primitivnim pojmovima, nedefinisanim relacijama. Radovima Paša, Pjerija (*Mario Pieri, 1860-1913*), Padoa, Veblena (*Oswald Veblen, 1880-1960*), Hilberta i dr. euklidska geometrija dobija strogu formulaciju, mada se tek sa Tarskim pokazuje koji od sistema precizno definiše Euklidov prostor. Tarski uvodi kriterijum *definisanja* unutar aksiomatskog sistema, kojim se može dokazati kako određene primitivne relacije ne mogu služiti za definisanje svih relacija među primitivnim pojmovima. Godine 1935. dokazuje kako ternarna relacija *između* (eng. *betweenness*) ne može služiti kao jedina primitivna relacija i kako je Pjerijev izbor ternarne relacije, *ekvidistance* (eng. *equidistance*), optimalan [60][24]. Pitanju, da li je moguć neki skup binarnih relacija koje bi precizno odredile euklidsku geometriju, tada je bilo moguće pozitivno pristupiti. Takve relacije bi morale pri bilo kojim transformacijama očuvavati već potvrđeno dovoljnu relaciju *ekvidistance*. Pokušajmo da poluformalno rekonstruišemo Tarskijev dokaz [60]:

Teorema 2.1 *Nikakav skup binarnih relacija, koliko god velik, ne može dati osnovu kao skup primitivnih relacija pri aksiomatizaciji euklidske geometrije.*

Dokaz 2.1 *Euklidska geometrija može se precizno aksiomatizovati primitivnim pojmom tačke i primitivnom relacijom ekvidistance, a svaka drugačija aksiomatizacija mora podrazumevati primitivnu relaciju koja očuvava ekvidistancu kao ternarnu relaciju među tačkama, $PQ = QR$. Neka je Φ skup binarnih relacija koje pri transformacijama očuvavaju relaciju ekvidistance. Neka je neka binarna relacija ρ među tačkama različita od trivijalnih relacija: prazno, jednako, nejednako i univerzalne relacije. Za takvo ρ važi da iako može uspostaviti relaciju između tačaka, u opštem slučaju se ta relacija ne održava pri transformacijama sličnosti:*

$$(\exists P, Q)[\rho(P, P) \wedge \neg\rho(Q, Q)] \vee (\exists P, Q, R, S)[P \neq Q \wedge R \neq S \wedge \rho(P, Q) \wedge \neg\rho(R, S)]$$

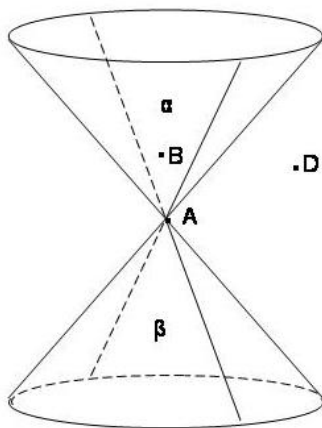
tj. moguće su transformacije tačaka koje čine da binarne relacije među tačkama ne očuvavaju relaciju ekvidistance. Jedine binarne relacije koje su invarijantne na sve transformacije su trivijalne, pa Φ sadrži samo četiri pomenute binarne relacije. Međutim, trivijalne binarne relacije ne mogu ni uspostaviti relaciju ekvidistance.
Q.E.D.

Još pre ovih rezultata Rob je pokazao kako kao jedini primitivan pojam pri izgradnji geometrije Minkovskog može služiti binarna relacija koju on naziva **after** (eng. *after* - nakon, posle). Time je četvorodimenziono prostorvreme elementarnije i prostije strukture od euklidskog prostora proizvoljnog broja dimenzija⁶.

2. **Aleksandrov-Ziman teorema** relaciji *after* daje njeno pravo fizičko značenje unutar STR. Aleksandrov (*Алекса́ндр Дани́лович Алекса́ндров*, 1912-1999) i Ziman (*Erik Christopher Zeeman*, 1925) su 1950. i 1964. godine pokazali kako svaki aksiomatski sistem koji kao primitivnu relaciju ima *after* može uspostaviti Lorencove transformacije među objektima [61]. Rob relaciji *after* između tačaka prostorvremena (drugim rečima - između događaja) pripisuje sledeće osobine [59]:

1. Ako je događaj B *after* događaja A, tada događaj A nije *after* događaja B i kaže se da je A *before* B (eng. *before* - pre, ispred)(inverzna relacija relaciji *after* je *before*).
2. Za neki događaj A postoji bar jedan događaj koji je u relaciji *after* i bar jedan događaj koji je u relaciji *before* sa A.
3. Za neki događaj B koji je u relaciji *after* sa A postoji bar jedan događaj koji je u relaciji *after* sa A i u relaciji *before* sa B.
4. Ako je događaj B *after* A i događaj C *after* B, tada je događaj C *after* A.
5. Za neki događaj A postoji bar jedan događaj različit od A koji nije ni *after* ni *before*.

Za bilo koju kauzalnu relaciju između događaja intuitivno je da ako A nije ni pre ni posle B, onda je $A = B$. Relacija *after* je drugačija, pa umesto 5. osobine može stajati i: **Nije istina** da ako neki događaj A nije ni *after* ni *before* u odnosu na B, onda je A isto što i B.



Slika 2.1: *Conical order*

⁶Euklidski je prostor u kome važi euklidska metrika $ds^2 = \sum_{i=1}^n (dx^i)^2$ a može se definisati za proizvoljan broj n , broj dimenzija prostora. Prostor Minkovskog se definiše i kao pseudo-euklidski, jer metrika prostorvremena $ds^2 = c^2 dt^2 - \sum_{i=1}^{n-1} (dx^i)^2$ nije realnim transformacijama svodiva na sumu kvadrata iako je prostor ravan i realan.

Do razmimoilaženja sa tradicionalnim shvatanjem kauzalnih odnosa (relacija *after* se može nazvati i kauzalnom relacijom) dolazi sa 5. osobinom. Da bi intuitivno približio značenje ove binarne relacije, Rob uvodi uređenje među primitivnim pojmovima (tačkama prostorvremena) koje ova relacija stvara i koje naziva konusno uređenje (eng. *conical order*) [Slika 2.1] [59]. Intendirano značenje je očigledno⁷. Konus deli intervale na one prostornog tipa (van konusa) i vremenskog tipa (unutar konusa), tj. na regione dostupne događaju A (prošlost β i budućnost α) i regione koji nisu u relaciji sa događajem A.

Za ovakvu relaciju *after* onda važi teorema [61][46]:

Teorema 2.2 (Teorema Aleksandrov-Zimana) *Neka je $n > 2$. Ako bijekcija $f : \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}^n$ slika prave koeficijenta pravca 1 na prave koeficijenta pravca 1, tj. očuvava **konusno uređenje**, tada f predstavlja Lorencove transformacije (do na vremensku i prostornu translaciju i automorfizam realnog polja [46]).*

⁷U prostoru Minkovskog ekvivalentno se konstruiše *svetlosni konus* u *svetu događaja*.

Literatura

- [1] Alfred Tarski, **Uvod u matematičku logiku i metodologiju matematike**, Rad, Beograd 1973.
- [2] Dr Stojan Obradović, **Savremena epistemologija fizike**, Zadužbina Andrejević, Beograd 2004.
- [3] Stojan Obradović, **The nature of axioms of physical theory**, European Journal of Physics 23, 2002.
- [4] Stojan Obradović, Slobodan Ninković, **The Heuristic Function of Mathematics in Physics and Astronomy**, Foundations of Science, 2009.
- [5] Dejvid V. Hemlin, **Teorija saznanja**, Jasen, Nikšić 2001.
- [6] Stathis Psillos, **Philosophy of Science, History of**, Encyclopedia of philosophy, 2005.
- [7] Dr Milan Kovačević, **Formalna logika**, Filozofski fakultet, Novi Sad 1987.
- [8] Svetozar Milić, **Elementi matematičke logike i teorije skupova**, A-Š Delo, Beograd 2001.
- [9] Ernst Mach, **Ekonomična priroda fizikalnog istraživanja**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [10] Imre Lakatos, **Historija nauke i njezine racionalne rekonstrukcije**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [11] Philipp Frank, **Lanac koji povezuje znanost s filozofijom**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [12] Philipp Frank, **Prekidanje lanca**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [13] Rudolf Carnap, **Metodološka narav teorijskih pojmova**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [14] C. G. Hempel, **O "standardnoj koncepciji" naučnih teorija**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [15] H. Feigl, **"Ortodokсно" gledanje na teorije**, Filozofija nauke - Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [16] P. Duhem, **Fizikalna teorija i eksperiment**, Filozofija nauke - Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [17] H. Poincaré, **Je li znanost umjetna?**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [18] P. Feyerabend, **Kako zaštititi društvo od nauke**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [19] K. Popper, **Cilj nauke**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [20] T. Kuhn, **Naknadna razmišljanja o paradigmatama**, Filozofija nauke - priredio Neven Sesardić, Nolit, Beograd 1984.
- [21] W. V. Quine, **O onome što jest**, Novija filozofija matematike - priredio Zvonimir Šikić, Nolit, Beograd 1987.
- [22] R. Carnap, **Logicističko zasnivanje matematike**, Novija filozofija matematike - priredio Zvonimir Šikić, Nolit, Beograd 1987.
- [23] G. Kreisel, **Neformalna strogost i dokazi potpunosti**, Novija filozofija matematike - priredio Zvonimir Šikić, Nolit, Beograd 1987.
- [24] P. Suppes, **Philosophical implications of tarski's work**, The Journal Of Symbolic Logic Volume 53, Number 1, 1988.
- [25] Patrick Suppes, **Set-theoretical foundations of the axiomatic method**, Introduction to logic, reprinted in New York 1999.
- [26] Patrick Suppes, **The desirability of formalization in science**, APA Symposium on Formalization in Science, 1968.
- [27] P. Suppes, **The structure of theories and the analysis of data**, The structure of scientific theories, Urbana 1974.
- [28] Patrick Suppes, **Axiomatic Theories**, International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences, Oxford 2001.
- [29] Patrick Suppes, **Some open problems in the philosophy of space and time**, Synthese 24, 1972.
- [30] Patrick Suppes, **Representation and invariance of scientific structures**, Center for the study of language and information, 2002.

- [31] J. C. C. McKinsey, Patrick Suppes, **Philosophy and the axiomatic foundations of physics**, 11th International Congress of Philosophy, 1953.
- [32] J. C. C. McKinsey, A. C. Sugar, P. Suppes, **Axiomatic foundations of classical particle mechanics**, Journal of Rational Mechanics and Analyses, vol. 2, 1953.
- [33] Patrick Suppes, **What is a scientific theory?**, Philosophy of science today, edited by Sidney Morgenbesser, New York 1967.
- [34] C. Moulines, J. D. Sneed, **Suppes' Philosophy of Physics**, edited by Radu J. Bogdan, 1979.
- [35] Mojżesz Presburger, **Über die Vollständigkeit eines gewissen Systems der Arithmetik**, Warszawa 1929.
- [36] Ryan Stansifer, **Presburger's Article on Integer Airthmetic: Remarks and Translation**, Cornell University 1984.
- [37] H. J. Keisler, J. F. Knight, **Barwise: infinitary logic and admissible sets**, Bulletin of symbolic logic, Vol. 10 issue 1, 2004.
- [38] Diderik Batens, **The role of logic in philosophy of science**, The Routledge Companion to Philosophy of Science, edited by Stathis Psillos and Martin Curd, London and New York 2008.
- [39] M. Parker, **Philosophical method and galileo's paradox of infinity**, WSPC - Proceedings 2008.
- [40] Solomon Feferman, **The impact of the incompleteness theorems on mathematics**, Notices Amer. Math. Soc. 53, 2006.
- [41] Rudolf Carnap, **Filosofija i logička sintaksa**, Jasen, Nikšić 1999.
- [42] Werner Heisenberg, **Physics and Philosophy**, Harper Perennial Modern Classics, 2007.
- [43] Mario Bunge, **Философия физики**, Progres, Moskva 1975.
- [44] Mario Bunge, **Physical Axiomatics**, Reviews of modern physics, Vol. 39, No. 2, 1967.
- [45] Albert Einstein, **On the method of theoretical physics**, Philosophy of science, Vol. 1, No. 2, 1934.
- [46] Hajnal Andréka, Judit X. Madarász, István Németi, **Logical axiomatizations of space-time. Samples from the literature**, Non-Euclidean Geometries (János Bolyai Memorial Volume) 2005.
- [47] V. L. Ginzburg, **What problems of physics and astrophysics seem now to be especially important and interesting (thirty years later, already on the verge of XXI century)?**, Physics of our days, 1999.
- [48] Hans Rajhenbah, **Radanje naučne filozofije**, Nolit, Beograd 1965.
- [49] Miloš Arsenijević, **Vreme i vremena**, Dereta, Beograd 2003.
- [50] Karl Popper, **Objektivno saznanje**, Paideia, Beograd 2002.
- [51] Rene Dekart, **Pravila za usmjeravanje duha**, Oktoih, Podgorica 1997.
- [52] Paul Feyerabend, **Protiv metode**, Veselin Masleša, Sarajevo 1987.
- [53] Paul Feyerabend, **Nauka kao umetnost**, Matica srpska, Novi Sad 1994.
- [54] Žarko Mijajlović, Zoran Marković, Kosta Došen, **Hilbertovi problemi i logika**, Zavod za izdavanje udžbenika, Beograd 1986.
- [55] Tilman Sauer, **The relativity of discovery: Hilbert's first note on the foundations of physics**, Archive for History of Exact Sciences, 1998.
- [56] Leo Corry, **David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1894-1905)**, Archive for History of Exact Sciences, 51 (1997).
- [57] Friedrich Stadler, **History of the philosophy of science: from Wissenschaftslogic (logic of science) to philosophy of science: Europe and America, 1930-1960**, Handbook of the philosophy of science, Volume editor Theo Kuipers, 2007.
- [58] Theo A. F. Kuipers, **Introduction. Explication in philosophy of science**, Handbook of the philosophy of science, Volume editor Theo Kuipers, 2007.
- [59] Alfred A. Robb, **The absolute relations of time and space**, Cambridge University Press, 1921.
- [60] James T. Smith, **Definitions and Nondefinability in geometry: Pieri and the Tarski school**, congress on Guiseppe Peano, Turin 2008.
- [61] E. C. Zeeman, **Causality implies the Lorentz group**, Journal of mathematical physics Vol. 5, 1964.
- [62] Michael Silberstein, **Reduction, emergence and explanation**, The Blackwell Guide to the Philosophy of Science, 2002.
- [63] Thomas Hofweber, **Proof-theoretic reduction as a philosopher's tool**, Erkenntnis 53, 2000.
- [64] Décio Krause, Otávio Bueno, **Scientific Theories, Models, And The Semantic Approach**, Principia, 11(2) (2007), pp. 187–201.
- [65] N. C. A. da Costa, Adonai S. Sant'Anna, **The Mathematical Role of Time and Space-Time in Classical Physics**, Foundations of Physics Letters Volume 14, Number 6, 2001.

Kratka biografija



Dušan Ranđelović, rođen 04.02.1985. god. u Knjaževcu. Osnovnu školu i Knjaževačku Gimnaziju završio sam u Knjaževcu. Školske godine 2004/05 upisao sam PMF u Novom Sadu, Departman za fiziku - smer Astronomija (sa astrofizikom). Interesujem se za probleme filozofije vremena (relaciona i supstancijalna priroda vremena; metričke i topološke osobine; strela vremena), kao i za probleme odnosa celina-deo u matematičkim i fizičkim teorijama i u filozofiji. Aktivno se interesujem za probleme relativističke mehanike, tačnije za tumačenje filozofskih preduslova fizike prostorvremena.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

TD

Monografska dokumentacija

Tip zapisa:

TZ

Tekstualni štampani materijal

Vrsta rada:

VR

Diplomski rad

Autor:

AU

Dušan Randelović

Mentor:

MN

Dr Milan Pantić

Naslov rada:

NR

Metodološko ispitivanje fizičkih teorija

Jezik publikacije:

JP

srpski (latinica)

Jezik izvoda:

JI

srpski/engleski

Zemlja publikovanja:

ZP

Srbija

Uže geografsko područje:

UGP

Vojvodina

Godina:

GO

2010

Izdavač:

IZ

Autorski reprint

Mesto i adresa:

MA

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Fizički opis rada:

FO

(2/70/65/0/1/0/0)

Naučna oblast:

NO

Filozofija fizike

Naučna disciplina:

ND

Sintaksa i semantika formalnih teorija

Predmetna odrednica/ ključne reči:

PO

Metodologija, sintaksa, semantika, aksiomatizacija, formalizacija

UDK

Čuva se:

ČU

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

Važna napomena:

VN

Nema

Izvod:

IZ

Ovim radom je dat pregled sintaktičkih i semantičkih osobina formalnih teorija, kao i primena metodološke analize na teorije u fizici. Takođe, ispitan je značaj aksiomatizacije i formalizacije fizičkih teorija.

Datum prihvatanja teme od NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik:

Dr Milica Pavkov-Hrvojević, vanredni profesor

član:

Dr Miodrag Krmar, vanredni profesor

član:

Dr Milan Pantić, redovni profesor

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

DT

Monograph publication

Type of record:

TR

Textual printed material

Content code:

CC

Final paper

Author:

AU

Dušan Randelović

Mentor/comentor:

MN

Dr Milan Pantić

Title:

TI

Methodological investigations of physical theories

Language of text:

LT

Serbian (Latin)

Language of abstract:

LA

Serbian/English

Country of publication:

CP

Serbia

Locality of publication:

LP

Vojvodina

Publication year:

PY

2010

Publisher:

PU

Author's reprint

Publication place:

PP

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

PD

(2/70/65/0/1/0/0)

Scientific field:

SF

Philosophy of physics

Scientific discipline:

SD

Syntax and semantics of formal theories

Subject/ Key words:

SKW

UC

Methodology, syntax, semantics, axiomatization, formalization

Holding data:

HD

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

Note:

N

None

Abstract:

AB

An overview of syntactic and semantic characteristics of formal theories is given, as well as application of methodological analyses on theories in physics. Also, significance of axiomatization and formalization of physical theories is examined.

Accepted by the Scientific Board:

ASB

Defended on:

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Dr Milica Pavkov-Hrvojević, associated professor

Member:

Dr Miodrag Krmar, associated professor

Member:

Dr Milan Pantić, full professor