

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФИЛОЗОФСКИ ФАКУЛТЕТ
ДС/ВМ 05/4-02 бр. 370/1-ХП/З
23.2.2017. године

ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ
ДРУШТВЕНО-ХУМАНИСТИЧКИХ НАУКА

Наставно-научно веће Филозофског факултета у Београду на својој Х редовној седници, одржаној 23.2.2017. године – на основу чл. 231. став 1. алинеја 15. и 16. и члана 278. Статута Факултета, прихватило је Извештај Комисије за докторске студије с предлогом теме за докторску дисертацију: ФИЛОЗОФСКИ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМА МАКСВЕЛОВОГ ДЕМОНА, докторанда Јелене Димитријевић.

За ментора је одређен проф. др Слободан Перовић.

Доставити:

1х Универзитету у Београду
1х Стручном сараднику за
докторске дисертације
1х Шефу Одсека за правне послове
1х Архиви

ПРЕДСЕДНИК ВЕЋА

Проф. др Војислав Јелић

Факултет <u>Филозофски</u>	УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ Веће научних области друштвено-хуманистичких наука (Назив већа научних области коме се захтев упућује)
04/1-2 бр. 6/237	
(број захтева)	
28.02.2017.	
(датум)	

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду («Гласник Универзитета», бр. 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

Филозофски аспекти проблема Максвеловог демона

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Филозофија

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

Јелена (Зоран) Димитријевић

Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање: Филозофски факултет
Универзитет у Београду
Чика Љубина 18-20

2013

Година дипломирања:

Назив мастер рада кандидата: Компјутерске симулације, модели и експеримент

Назив факултета на коме је мастер рад одбрањена: Филозофски факултет Универзитета у Београду

Година одбране мастер рада: 2014

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће

на седници одржаној 23.02.2017.

размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

	ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
	<u>Проф. др Војислав Јелић</u>

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Јелену Димитријевић

Име и презиме ментора: Проф. др Слободан Перовић

Звање: Ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. • "Experimenter's Regress Argument, Empiricism, And the Calibration of the Large Hadron Collider," *Synthese, forthcoming.* AHCI

2. • "Optimal Research Team Composition: Data Envelopment Analysis of Fermilab Experiments" (with S. Radovanovic, V. Sikimic and A. Berber), *Scientometrics*, Vol. 108, Issue 1, pp 83-111, 2016. SCI

3. • "Emergence of Complementarity and the Baconian Roots of Niels Bohr's Method," *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44 (3): 162-173, 2013. AHCI

4. • "Fine-Tuning Nativism: 'Nurtured Nature' and Innate Cognitive Structures" (with L. Radenovic), *Phenomenology and the Cognitive Sciences*, Vol, 10, Number 3, 399-417, 2011. AHCI

5. • “Gene’s Action and Reciprocal Causation” (with Paul-Antoine Miquel), *Foundations of Science*, Vol. 16, February 1, 31-46, 2011. *SCI*
-

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са *SCI*, *SSCI*, *АНЦИ* или *SCIE* листе, као и *Math-Net.Ru* листе.

Б У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата *SCI*, *SSCI*, *АНЦИ* и *SCIE* листе, као и *ERIH* листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као *M24* и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као *M11*, *M12*, *M13*, *M14*, *M41* и *M51*.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П.

проф. др Војислав Јелић

Filozofski fakultet
Univerzitet u Beogradu
Odeljenje za filozofiju

Obrazloženje predloga teme doktorske disertacije
Filozofski aspekti problema Maksvelovog demona

Kandidat: Jelena Dimitrijević **Mentor:** prof. dr Slobodan Perović
Decembar 2016. godine. 2

1. Predmet istraživanja

Još od samih početaka filozofija se susrela sa paradoksom (ne)znanja. Prvi koji nam je ukazao na ovo bio je Sokrat, koji je svojom tvrdnjom da je jedino što možemo znati zapravo to da ništa ne znamo kreirao sliku znanja kao kruga unutar mora neznanja, koji širenjem svoje površine povećava i obim, pa samim tim i dodir sa morem neznanja. Što više znamo, to smo svesniji onoga što ne znamo i toga koliko je malo naše znanje u odnosu na sve ono što nas okružuje a o čemu ne znamo ništa. Zapravo, tek tada uviđamo da je naše znanje toliko ograničeno da je ispravnije reći da zapravo ništa ni ne znamo. Ovaj stari filozofski paradoks nam se u Maksvelovom misaonom eksperimentu sa demonom javlja u novom ruhu, ovde se pokazuje da, čak i u strogo definisanom kontekstu klasičnog fizičkog sveta, ako bismo mogli znati sve o nekom sistemu, to bi značilo da je on potpuno deterministički. To što ne možemo nikada znati sve o sistemu samo ukazuje na to da on nije u potpunosti deterministički i da – u prigodnom uopštenju – ostavlja dosta prostora za slobodu.

Već u originalnoj Maksvelovoj formulaciji, ovaj misaoni eksperiment ima karakteristike paradoksa, što ga u startu čini interesantnim sa stanovišta filozofije fizike. Cilj ovog misaonog eksperimenta je da preispita domen važenja drugog zakona termodinamike. U ovom misaonom eksperimentu demon kontroliše na koju stranu kontejnera (podeljenog na dva odeljka) s gasom prolaze brzi, a na koju spori molekuli. Kao rezultat takvog delovanja, temperatura u jednom odeljku postaje niža, a u drugom viša, odnosno entropija se smanjuje, 3

što je naizgled u suprotnosti sa drugim zakonom termodinamike. Kasnijom analizom se dolazi do zaključka da smanjenje entropije koje se ovde javlja (ako se uopšte javlja), striktno govoreći, nije u suprotnosti sa drugim zakonom termodinamike, te da je paradoks samo prividan. Već u pokušaju da problem Maksvelovog demona adekvatno formulišemo, suočavamo se sa pojmovima i entitetima – kao što su entropija i informacija – oko čijeg značenja, kao i istorijske i praktične upotrebe, ne postoji konsenzus (npr. Brush 1986; Floridi 2004). U ovu kategoriju spada pitanje u kojoj meri zamišljena termodinamička situacija obuhvata sve istinski relevantne stepene slobode sistema predstavlja i do danas kontroverzno pitanje, koje je ne samo povezano sa epohalnim rezultatima Penrouza, Hokinga i drugih na termodinamici gravitacionih sistema, već i čitavom teorijskom orijentacijom ka objedinjenju interakcija u duhu teorije struna i sličnih projekata. Paralelno sa tim, elaboracija uloge informacije u fizičkim procesima je prerasla – sledeći rane intuicije velikana poput Poenkarea ili Fajnmena – u pokušaje izgradnje istinski “digitalne”, odnosno informatičke perspektive na fizičke sisteme (Poincaré 1902; Feynman 1982; Fredkin 2003). Ova perspektiva nije bila predmet značajnije filozofske analize do danas. Zasnivanje takve analize nužno je povezano sa adekvatnim pojmovnim razumevanjem entiteta na kojima se sam misaoni eksperiment i njegove brojne interpretacije zasnivaju. U kontekstu ovakve analize posmatra se i suštinsko pitanje u vezi sa istorijskim Maksvelovim demonom: možemo li ikada prikupiti dovoljno informacija o nekom sistemu ili oblasti prostorvremena kako bismo pomoću njih uspeali da smanjimo entropiju (“haos”) koji u njoj vlada? Da li je 4

kapacitet pamćenja (memorije bilo kakvog realističnog fizičkog sistema) dovoljno veliki da sakupimo toliko informacija, obzirom na veličinu faznog prostora u kojem sistem evoluira? Da li ćemo morati da izbrišemo informacije za koje vremenom uvidimo da su nepotrebne, da bismo oslobodili prostor za “nove” koje su nam neophodne, a koje proizvodi sam proces evolucije u faznom prostoru? Da li ćemo pri tom procesu morati da potrošimo isuviše energije? Da li samo merenje i ostale aktivnosti koje su potrebne da bismo došli do relevantnih informacija zahtevaju previše energije da bi bilo realistično očekivati postizanje cilja? Konačno, ukoliko je načelno moguće smanjiti entropiju pomoću informacija, da li ta apstraktna mogućnost ima relevantne praktične posledice (menjanje unutrašnjih stanja sistema)? Odnosno: koliko nam znanje o nekom sistemu povećava mogućnost da na njega delujemo?

Naravno, analogije znanja sa informacijom, kao ni entropije sa haosom nisu potpune analogije. Pod znanjem podrazumevamo mnogo više od informacije, a entropija nije haos u onom smislu u kom obično razumemo ovaj pojam, a još manje odražava definiciju haosa uobičajenu u nelinearnoj dinamici, naime osetljivost dinamičke evolucije sistema na početne uslove. Degeneracija koja se javlja prilikom korišćenja termina kao što su informacija i entropija može se prevazići samo pažljivom analizom, koja će u ovom radu biti preduzeta, i koja će rezultovati preciznijom klasifikacijom i taksonomijom njihovih značenja. Naravno, najveći naglasak biće stavljen na one kategorije informacija i entropije koje stoje u direktnoj korelaciji (pozitivnoj ili negativnoj) u konvencionalnim fizičkim 5

1.1. Klasična termodinamika i njeni zakoni

sistemima.

Ipak, ova analogija nam pomaže da klasična filozofska pitanja kao i pitanja koja se tiču epistemologije razmotrimo ponovo iz potpuno drugačije perspektive koje nam nude otkrića i rezultati u fizici, kao i računarskim naukama i kosmologiji. Na ovaj način dobijamo uvid u neke njihove komponente koje su ranije bile zanemarene, ali i mogućnost da uočimo nove filozofske probleme sa kojim nas napredak u nauci (ali u novije vreme i tehnologiji, naročito informatičkoj) suočava.

Za bliže razumevanje ove problematike neophodno je početi od klasično shvaćene termodinamike i njenih zakona, jer se u okrilju ovog polja pojavljuje tradicionalno kontrovezni drugi zakon termodinamike, a kasnije i Maksvelov misaoni eksperiment o demonu u kome se upravo preispituje validnost tog zakona.

Termodinamika je nauka koja se bavi radom i energijom sistema uključujući klasične toplotne sisteme, hemijske, kinetičke sisteme, elektromagnetne i kvantne sisteme. Razvoj klasične termodinamike započeo je sa Karnoom 1824-te godine, njegovim pokušajem da razume parne mašine. Odatle potiče i pojam mehaničkog rada, ciklusa, reverzibilnih procesa, rane verzije prvog i drugog zakona termodinamike. Klauzijus je poboljšao Karnoov rad tako što je formalizovao prvi i drugi zakon i pojam entropije. 6

1.2. Maksvelov demon

Prvi zakon potiče iz pokušaja da se razume veza između toplote i rada. Prvi zakon tvrdi da energija ne može biti stvorena ni uništena i da uprkos preobražajima kroz koje energija prolazi u prirodi, sveukupna energija u zatvorenim i izolovanim sistemima ostaje nepromenjena. Pored toga, iako kvantitet energije u zatvorenom sistemu ostaje nepromenjen, kvalitet energije u sistemu se može promeniti.

Drugi zakon tvrdi da, ako je bilo nekih fizičkih i hemijskih procesa u sistemu, sveukupni kvalitet energije u tom sistemu će se smanjiti. Drugi zakon termodinamike potiče iz Karnoovog eksperimenta sa parnim mašinama. On je uvideo da je nemoguće pretvoriti svu toplotu u sistemu u rad. Njegova tvrdnja u drugom zakonu termodinamike se može izraziti na sledeći način: u zatvorenom sistemu, sav rad se može pretvoriti u toplotu, dok se toplota ne može u potpunosti pretvoriti u rad, ovo nam ukazuje na postojanje ireverzibilnosti u prirodi (Schneider, Kay & Mathl, 1994). Bilo koji stvaran proces može ići samo u pravcu povećavanja entropije sve do termodinamičke ravnoteže, koja odgovara stanju maksimalne entropije. Ovo univerzalno povećanje entropije povlači strelu vremena u prirodi i predstavlja meru u kojoj priroda može da postane haotičnija.

Maksvel je pokušavao da razume toplotne fenomene u terminima atomske fizike. Ovo je bila refleksija opšteg stanja duha u fizici sredinom i u drugoj polovini 19. veka. Uporedo sa prihvatanjem neke od verzija atomističke hipoteze o strukturi materije, došlo je do potrebe da se termodinamičke, makroskopske osobine sistema kao što su temperatura, pritisak ili zapremina (odnosno gustina materije) redukuju na jednostavne mehaničke, njutnovske 7

interakcije među mikroskopskim sastavnim delovima sistema (odnosno podsistemima). Ideja da se realni termodinamički sistemi – kao što je bila u to doba iz očiglednih razloga veoma prisutna i u svakodnevnom životu parna mašina – objasne kroz osobine mikroskopskih sastavnih delova (atoma, odnosno molekula), te osobine njihovih interakcija modeliranih kao njutnovske mehaničke interakcije, bila je ključna za uspon najpre statističke mehanike, a zatim i drugih oblasti fizičkih nauka koje se zasnivaju na velikim (“statistički značajnim”) ansamblima podsistema (Brush 1986).

Tokom rada na raspodeli klasičnih molekula po brzini u gasu (onome što će kasnije biti nazvano Maksvel-Bolcmanovom raspodelom), Maksvel shvata da ako je termodinamika utemeljena na teoriji atoma, onda drugi zakon termodinamike važi samo statistički (Maroney & Owen, 2009). U ovu svrhu, on razvija misaoni eksperiment koji će kasnije postati poznat pod nazivom Maksvelov demon. U ovom misaonom eksperimentu, on pretpostavlja postojanje nekakvog bića ili sprave, “demona” (po uzoru na ranije Laplasovog demona) koji je sposoban da stvori razliku u temperaturi u gasu, bez utrošenog rada.

Pretpostavimo da je gas u jednoj posudi, podeljenoj na dva dela. U sredini postoji rupa dovoljno velika da bi jedan molekul mogao da prođe, ali ne znatno veća od toga. Gas dolazi u ravnotežu do neke dobro definisane temperature, kao rezultat toga prosečna kinetička energija dostiže $(3/2)kT$ za svaki molekul, gde je k Bolcmanova konstanta, a T apsolutna temperatura.

Demon je u mogućnosti da blokira rupu pomoću pregrade ili je ostavi otvorenom. Ako se molekul kreće brže od proseka i dolazi do rupe sa leve strane, demon će blokirati rupu i molekul

će se odbiti nazad na levu stranu. Ako se molekul koji dolazi sa leve strane kreće sporije od proseka demon će ostaviti rupu otvorenu i molekul će preći na desnu stranu. Kada se molekul približava sa desne strane, procedura će biti obrnuta: zaustavljaće sporije a propuštati brže. Ovaj proces rezultovaće time da će se sa desne strane akumulirati sporiji molekuli, a sa leve brži.

Dalji sudari među molekulima će distribuirati kinetičku energiju sa svake strane pregrade (ovo je posledica tzv. nultog zakona termodinamike), pa će gas na levoj strani biti topliji, a gas na desnoj hladniji. Kako je kolizija sa zatvaračem, kao i sa zidovima suda, elastična, nema trenja. Maksvel je takođe zapazio da ako postoji relativno mali broj molekula u sudu, onda neravnoteža može da se pojavi usled čisto statističke fluktuacije bez ikakvog demona. Temperaturna razlika koja se javlja može biti iskorišćena za vršenje rada, tako da se javlja nesklad sa drugim zakonom termodinamike. U terminima Klauzijusove i Kelvinove formulacije drugog zakona, jedan sistem u termodinamičkoj ravnoteži spontano je izašao iz nje tako što je deo sistema postao topliji, a drugi deo hladniji iako su i dalje u kontaktu. U modernijim formulacijama, od Bolcmana nadalje, prinuđeni smo da zaključimo da se entropija gasa u rezervoaru smanjila.

Ovaj misaoni eksperiment je trebalo da demonstrira mogućnost gasa da evoluirao iz stanja veće entropije (uključujući i stanje maksimalne entropije, odnosno termodinamičku ravnotežu) u neko stanje niže entropije. Ovo se ponekad naziva i „anti-termodinamičkim“ ponašanjem, upravo da bi se naglasilo kako u realnoj termodinamici uvek očekujemo povećanje entropije. Ovo dovodi do mogućnosti tzv. *perpetuum mobile*-a druge vrste, kod kojeg ne dolazi do narušenja zakona održanja energije (prvog zakona termodinamike), jer se ne stvara nikakva nova energija, već se samo postojeća energija neograničeno pretvara iz jednog oblika u drugi. 9

U čuvenoj studiji iz 1929. godine, Leo Silard identifikuje rasipanje energije inteligentnog demona sa rastom uređenosti u sudovima. Odnosno, Silard pokazuje da drugi zakon termodinamike može biti spašen samo ako demon plati cenu za informaciju pomoću koje je uspeo da smanji entropiju. Ovo plaćanje rezultuje time što se entropija povećava negde drugde. Ako je informaciju dobio putem merenja (položaja i brzina, odnosno faznih promenljivih čestica u sistemu), cena je plaćena. Ovaj znameniti Silardov model predstavlja prvu indikaciju da demon zapravo transformiše informacije u negativnu entropiju. Iz entropije dobija informacije, a pomoću informacija on pravi negativnu entropiju. Ovde se informacija po prvi put pojavljuje kao ključni aspekt fizičke realnosti, a ne kao nešto subjektivno i arbitrarno, kao što je do tada bio slučaj.

U skladu sa Silardovim zaključkom, *perpetuum mobile* druge vrste bi bio moguć ako bi inteligentno biće intervenisalo u termodinamičkom sistemu, odnosno ako bi postojao mehanizam za “besplatno” sakupljanje i procesiranje informacija. Od podjednako epohalnog značaja je inverzni rezultat Silardovog modela, naime da, ako pretpostavimo da *perpetuum mobile* nijedne vrste nije moguć, tada svaki sistem za procesiranje informacija (“računar” u dovoljno uopštenom smislu) mora rasipati energiju, odnosno povećavati entropiju u zavisnosti od svoje nenulte radne temperature.

Ovim započinje serija ideja o prirodi informacija, brisanju memorije, teorije izračunavanja, dovodi do čitave oblasti termodinamike računanja a skorije i do kvantnog računanja (Krakauer, 2011). To je dovelo i do pokušaja da se formuliše drugi zakon termodinamike u terminima informacija: nikada ne možemo proizvoljno povećati količinu informacija o nekom zatvorenom sistemu (Rothstein, 1951). 10

1.3. Pojam informacije

Silardov model, međutim, nije bio dovoljno opšteg karaktera, jer nije ukazivao ni na kakvu analogiju Maksvelovog demona sa realističnim sistemima. Sledeći ključni korak preduzeo je Rolf Landauer u svom epohalnom radu iz 1961. Landauer je argumentovao da fizički sistem koji je dizajniran da implementira bilo koju logičku operaciju mora imati fizička stanja koja odgovaraju logičkim stanjima. On razlikuje logički reverzibilne od logički ireverzibilnih operacija: operacija je logički ireverzibilna ako stanje inputa može biti jednoznačno identifikovano iz stanja outputa.

Landauerov princip se može formulisati na sledeći način: operacija procesuiranja podataka ima nesmanjivu termodinamičku cenu ako i samo ako je logički ireverzibilna (Landauer, 1961). Ono što uvek jeste termodinamički skupo jeste brisanje informacija radi oslobađanja memorije, obzirom da je svaki memorijski registar konačnog kapaciteta, kao i da je količina informacija neophodnih da bi se specifikovale fazne promenljive realnih, statistički relevantnih sistema ogromna. Stoga je broj pojedinačnih akata brisanja informacija iz registra (savremenim terminima „radne memorije“ ili RAM-a) nužno ogroman. Ovaj trošak sprečava demona da prekrši drugi zakon.

Šenonov epohalni rad „Matematička teorija komunikacija“ objavljen 1948, zasnovao je čitavu oblast teorije informacija, ali je istovremeno i omogućivao njeno povezivanje sa 11

fizikom računanja. Šenonova (informatička) entropija je merilo nepredvidljivosti sadržaja nekog skupa informacija, odnosno nekompletnost znanja koje imamo o nekom sistemu. Da je to znanje kompletno, evolucija sistema bi bila deterministička (de Beauregard & Tribus, 1974). Ovo se može povezati i sa odnosom mikroskopske (engl. fine-grained) i makroskopske (engl. coarse-grained) entropije: mikroskopska entropija je u klasičnoj fizici konstantna, pošto je evolucija sistema na mikroskopskom nivou deterministička; ali ona ne mora biti jednaka nuli, pošto mi kao posmatrači nemamo potpuni uvid u sistem (za razliku od, recimo, Laplasovog demona). Makroskopska entropija je uvek veća od nule i raste u izolovanim sistemima, zato što smo tokom procesa ogrubljanja faznog prostora izgubili veliku količinu informacija (recimo fazne promenljive svih čestica u odeljku koji reprezentuje sva makroskopski nerazličiva stanja).

Šenon poredi informacije sa pozitivnom entropijom, procedurom koju je teško opravdati budući da se informacija gubi tokom procesa transmisije dok se entropija povećava. Sve što Maksvelov demon može da uradi je da iskoristi mali deo entropije da dobije informaciju (da je transformiše u informaciju) i onda iskoristi informaciju da smanji degeneraciju energije. Da bi se informacija uopšte dobila mora doći do porasta entropije (to je u skladu sa Karnoovim principom). Šenon meri nekompletnost znanja koje predstavlja E. Komunikacija se može vršiti i pomoću logički i fizički reverzibilnih informacija. Nema ograničenja što se tiče gustine informacije. 12

Savremeni teorijski fizičar Set Lojd sugerše uzajamnu informaciju (engl. mutual information) kao pogodnu meru koja nam omogućava da izmerimo količinu informacija koje jedan sistem dobije o drugom sistemu tokom bilo koje interakcije (Lloyd, 1989). Za ovu svrhu i merenje se takođe može posmatrati kao interakcija, što je posebno relevantno za pitanje odnosa klasičnog i kvantnog sveta (setimo se da je za klasičnog fizičara pre Silarda bilo nepojmljivo da merenje položaja i impulsa molekula od strane Maksvelovog demona na bilo koji način povećava entropiju, bilo sistema bilo demonu samog). Lojdova razmatranja imaju još jednu interesantnu kosmološku posledicu (Lloyd, 2000): kako se realni fizički univerzum širi, u skladu sa Hablovim zakonom, neogrubljen mikroskopska entropija ostaje konstantna, dok se ogrubljen entropija povećava (između ostalog zbog toga što svi lokalni sistemi, kao što je Zemlja i sve na njoj, pa i naše laboratorije, evoluiraju u skladu sa drugim zakonom termodinamike). Sa druge strane, kako se univerzum širi stanja drugačijih delova svemira postaju povezana (jer sve više podсистema može da interaguje, pošto je interakcija ograničena brzinom svetlosti), tako da, grubo govoreći, postoji sve više i više mogućih konfiguracija čestica, odnosno mogućih mikroskopskih stanja). Ovo menja ne samo našu tradicionalnu koncepciju „toplotne smrti“ kao ultimativnog stanja ravnoteže i jednostavnosti (minimalne količine informacija neophodne za specifikovanje stanja), već provocira i filozofski interesantno spekulativno pitanje: u kojoj epohi kosmičke istorije suprotstavljeni trendovi mikroskopske i makroskopske entropije dovode do maksimalne količine informacija (unutar odgovarajućeg kosmološkog horizonta)? Odnosno, u kojoj 13

tački kosmičke istorije imamo maksimum informacija?

Mera apsolutne informacije I – algoritamska informacija se definiše dužinom (u bitovima) u najkraćem programu na kompjuteru koji može da generiše emulaciju (= kompletan opis stanja) sistema koji nas zanima (npr. Chaitin 1977; Fredkin 2003). Definisanje ukupne slobodne energije je jednako definisanju ukupne (totalne) entropije. Shodno tome, suočavamo se sa najmanje tri vrste informacija: pozadinska informacija koja daje statistički opis, druga vrsta informacija je algoritamska informacija. Treća je uslovna algoritamska informacija.

Pozadinska informacija je informacija koju posmatrač ima pre samog posmatranja. Količina informacija I koja postoji u memoriji kao i totalna entropija su svojstva stanja sistema. Informacija I mora da specifikuje tipične obrasce mikroskopske entropije faznog prostora ili tipičnog „čistog stanja“ iz pozadinske informacije. Oni imaju ukupnu entropiju mnogo veću od one u stanju ravnoteže (Caves, 1993). Zaključuje se da je rast algoritamskih informacija brži od rasta statističke entropije koji sledi iz usrednjenja stohastičkih perturbacija.

Sposobnost kvantnih sistema da obrade novu informaciju je ključna misterija kvantne mehanike. Stanja su ovde opisana pomoću verovatne gustine u faznom prostoru; posmatrači sa drugačijim znanjem pripisuju drugačija stanja sistemu. Entropija meri informacije koje nedostaju da bismo potpuno odredili sistem. 14

Informacija je neizbežno povezana sa fizičkom reprezentacijom kao i ograničenjima i mogućnostima koje su vezane za zakone fizike. Informacija nije bestelesni apstraktni entitet, to je uvek neka fizička reprezentacija. „Dozvoljene“ (u skladu sa zakonima fizike) reprezentacije predstavljaju jedan od mnogo logički mogućih tokova informacija, onaj koji se realizuje u našem svetu.

2. Cilj istraživanja

Cilj ovog istraživanja je odgovor na pitanje da li nam informacije o nekom sistemu mogu pomoći da smanjimo entropiju unutar tog sistema, a da to ne izazove povećanje entropije u nekom drugom sistemu. Ukoliko je to nemoguće, da li je to nužna posledica fizičkih zakona koji vladaju u našem univerzumu ili samo našeg ograničenog teorijskog uvida i praktične neinventivnosti? Odgovor na ovo centralno pitanje je nemoguće dati bez pojmovne i uporedne analize različitih vrsta informacije i entropije, odnosno načina na koji se ovi pojmovi koriste u kontekstima različitih fizičkih teorija, pa i teorija koje izlaze van okvira fizike i pripadaju domenima primenjene matematike i računarskih nauka, kao što je npr. algoritamska teorija informacija (AIT) Kolmogorova, Klinija, Solomonofa i Čejtina. Dakle, odgovor na isuviše pojednostavljena pitanja koja se često pojavljuju u raspravama na ovu temu ključno zavisi od odgovora na pitanja: o kojoj vrsti informacije je reč? U kakvom kontekstu govorimo o entropiji sistema? Uprkos izvesnom interesu koji je u okviru filozofije 15

nauke, a posebno filozofije fizike, postojao za ova pitanja tokom poslednjih pola veka (npr. Earman & Norton 1998, 1999; Norton 2005; Groisman et al. 2007), jasno je da i dalje postoje značajna mimoilaženja oko razumevanja ovih centralnih pojmova koje planiramo da razjasnimo u toku ovog istraživanja.

Razmatranje klasičnog Silardovog modela Maksvelovog demona (iz koga su, kao što je gore skicirano, potekli klasični rezultati Brijuena, Landauera i Beneta koji su zasnovali čitavu oblasti fizike računanja (engl. physics of computation) predstavlja ključni temelj čitavog predloženog istraživanja. Kritičari Silardovog modela, kao što su Jauch i Baron (Jauch i Baron, 1972), a u novije vreme i Norton (2005), prebacuju težište rasprave na polje semantike: po njima je kardinalna greška u identifikaciji entropije informacije (koju meri Šenonova formula) sa negativnom fizičkom entropijom. Ova kritika prihvata vrednost pojma entropije u teoriji informacija i komunikacije, kao u Šenonovoj originalnoj studiji; u tom kontekstu, entropija je nedostatak informacija, ali to nije ista vrsta entropije o kojoj govorimo u fizici, na primer kada govorimo o ogrubljavanju Bolcmanovog i Gibsovog faznog prostora u klasičnoj statističkoj mehanici. U kritičkom diskursu, Silardov eksperiment se bazira na neadekvatnoj idealizaciji i ne može da se primeni na principe termodinamike.

Zbog svega ovoga Silardov eksperiment navodno ne funkcioniše. Ovde se zapravo radi o negiranju ekvivalencije između Klauzijusove termodinamičke entropije i pojma entropije teorije informacija kod Šenona. Ipak Jauch i Baron ne uzimaju u obzir činjenicu da je pojam 16

entropije u statističkoj mehanici dedukovan iz pojma informacija. Moguće je dedukovati termodinamiku iz opšte teorije informacija ali nije moguće učiniti obrnuto (de Beauregard & Tribus, 1974).

Neke od najzanimljivijih savremenih ideja odnose se na kosmološke implikacije fizike računanja. Prema već pomenutim radovima Lojda (naročito Lloyd, 2000), čitav univerzum se u izvesnom smislu ponaša kao Maksvelov demon. Kakva je to, međutim, informacija koja se u njemu procesira? Mogući odgovori na ovo pitanje osvetljavaju načine na koji se lokalna fizika računanja može povezati sa kosmologijom, što sa svoje strane ima posledice kako na epistemički status kosmoloških računarskih simulacija, tako i na opštiju teorijsku orijentaciju prema problemima neopservabilnih veličina u kosmologiji.

Dodatna motivacija potiče od gore pomenute mogućnosti da se analiza Silardovog modela Maksvelovog demona primeni u filozofskim oblastima koje tradicionalno nisu bile razmatrane u tom kontekstu, kao što su filozofija verovatnoće, filozofija kosmologije, filozofija računarskih nauka, teorija odlučivanja, pa i procesna metafizika. U meri u kojoj je razlika između razumevanja informacije u klasičnoj i kvantnoj fizici ključna za izgradnju moderne semantike ovog pojma, u okviru ovog istraživanja ćemo izgraditi i svojevrsni pojmovni „most“ koji omogućuje da sagledamo razliku između klasičnog i kvantnog sveta na jedan nov način. 17

3. Osnovne hipoteze

Osnovna hipoteza od koje se polazi u ovom radu jeste da postoje različiti entiteti koji su objedinjeni pod imenom „entropije“ i „informacije“, te da njihove fizičke, kao i semantičke razlike čine hijerarhijsku shemu koja u dosadašnjim tretmanima nije razmatrana, ili bar nije razmatrana u najuopštenijem obliku. Ovo je uzrok brojnih zabuna i pogrešnih razumevanja ključnih ishodišta misaonog eksperimenta sa Maksvelovim demonom, ali i celine odnosa filozofije i fizike naspram teorije informacija. Elaboracija čitave ove taksonomske sheme može imati eksplanatorni karakter kad su u pitanju pojedine anomalije ili cirkularnosti na koje su ukazivali filozofi poput Nortona (2007). Međutim, čak i bez te eksplanatorne funkcije, taksonomska shema „različitih entropija“ može postaviti temelj za širu filozofsku sintezu i definisati istraživačke programe za ubuduće.

U vezi sa ovim je povezana hipoteza prema kojoj prima facie prihvatanje Silardovog modela i njegove identifikacije informacije i negativne entropije može da izdrži sve kritike, kako fizičke tako i filozofske, odnosno da se u najopštijem smislu pomoću informacija može smanjiti entropija sistema. Najveći deo prigovora Silardovom modelu, kao što ćemo pokazati, zapravo potiče iz zabune i zamene značenja različitih vrsta informacije. Ne postoje istinske, fizičke prepreke da se negativna entropija ne primeni u svim onim teorijskim i metodološkim problemima u kojima je pojam informacije problematizovan kao nedovoljno formalan, „subjektivan“, i slično. Otpor subjektivizmu u interpretaciji statističkih teorija je, 18

analogno tome, besplodan baš kao i otpor bajesovskim pristupima u analizi statističkih podataka. Uz još nekoliko relativno slabih dodatnih pretpostavki, ovakva interpretacija problemske situacije dovodi do širokog spektra posledica po pojmove ne samo u fizici računanja, već i u epistemologiji i metodologiji statističkih nauka, kosmologiji i drugim oblastima.

4. Struktura istraživanja

Ovaj rad sastojaće se od sledećih celina:

❖ ✚❖□Ω

❖ Prvi deo: Maksvelov demon, Silard, Landauer

❖ Drugi deo: Informacije

❖ Treći deo: Entropija i informacije



Kratak sadržaj glavnih delova istraživanja:

4.1. Uvod

Uvodni deo počecu, pre svega istorijskom analizom i objasniti koji su to faktori u istoriji nauke uticali na formulisanje ovakvih problema. Kao posebno značajni faktori u konkretnom slučaju ističu se težnja fizičara za redukcijom makroskopske termodinamike na 19

mikroskopske interakcije između molekula, kao i uspon statističkog načina razmišljanja za koji se još dugo nije verovalo da može da pruži “pravo” objašnjenje pojava u svetu. (U izvesnim krugovima to podozrenje prema statističkim, a u novije vreme i tzv. “emergentnim” karakteristikama i objašnjenjima zasnovanim na njima traje i do danas.) Mada u okviru ovog rada ne možemo razmatrati sve vrline i mane ove klasične vrste redukcionizma, ipak je ta tema nezaobilazna i u uvodnom delu biće date ključne napomene, kao i smernice ka najvažnijoj literaturi. Izvesni drugi aspekti istorije nauke koji, mada ne očigledno, ipak jesu ili postaju relevantni za kasnija razmatranja Maksvelovog demona biće ovde će takođe biti objašnjeni: pre svih počeci teorije informacija i računanja, sa radovima Tjuringa, Klinija, Čerča i fon Nojmana. Obzirom da je za savremene rasprave ključno razlikovanje klasične i kvantne informacije (kao i klasičnog i kvantnog računanja), o čemu će biti reči u trećem delu teze, pojedine uvodne napomene na tu temu biće date i ovde.

4.2. Maksvelov demon, Silard, Landauer

U drugom delu ću se detaljno baviti Maksvelovim misaonim eksperimentom sa demonom, najpre u originalnom deskriptivnom obliku, a zatim i u strožijim oblicima do kojih je doveo kasniji razvoj. Nakon toga ću preći na doprinos koji su ovoj tematici pružili Silard i Landauer. Od naročitog značaja jeste Silardov model Maksvelovog demona, koji po prvi put ukazuje na vezu promena entropije sa promenom informacionog sadržaja sistema i koji sadrži čitav niz epohalnih zaključaka oko kojih se kretala rasprava u potonjih pola veka. 20

Biće opisana klasična fizika računanja, onakva kakva je proistekla iz studija Brijuena, Landauera i Beneta, kao i protivintuitivni zaključci kasnijih studija koji su poslužili kao uspešna provokacija za neke filozofske interpretacije kao što su one kod Nortona i Irmena.

4.3. Informacije

U ovom delu ću analizirati različite vrste informacija kao i probleme koji se vezano za njih javljaju. Najpre intuitivni pojam informacije kao količine podataka koju sadrži opis neke pojave, a zatim i kvantitativni pojam informacije kao mere uvida u sistem, ili mere kompleksnosti sistema ili dužine minimalnog enkodiranog programa koji verno simulira sistem, biće podvrgnute kritici. Pokazuje se kako različita razumevanja informacija mogu, kroz konstruisane misaone eksperimente, dovesti do naizgled paradoksalnih ili iz drugih razloga neprihvatljivih zaključaka. Problemi sa povezivanjem informacije i dužine opisa, kao što su klasični Berijev paradoks, dobijaju novo i opštije značenje kada se povežu sa često isuviše slobodnom upotrebom ovog pojma u fizičkom diskursu.

4.4. Entropija i informacije

U ovom delu baviću se vezom između entropije i informacija, polazeći od Silardovog motora Maksvelovog demoni i Landauerovog principa. Silardov motor i Landauerov princip pokreću pitanje o vezi između znanja i termodinamičke entropije. Kad bismo mogli znati na kojoj strani motora se nalazi molekul mogli bismo da dobijemo rad. Bez takvog znanja 21

nužno je osmisлити proces koji se ponaša nezavisno od specifičnog stanja u kom je sistem. Ali čak i sa znanjem je nemoguće osmisлити proces koji bi izdvojio rad iz motora bez kompenzacije ili proces koji bi mogao da resetuje bit bez rada.

4.5. Zaključak

Biće predložena relativno opšta taksonomija upotrebnih značenja termina informacija i entropija, kroz koju će biti vidljivo koje su od ovih upotreba (a koje se pojavljuju u literaturi na ovu temu, kako u domenu fizike i računarskih nauka, tako i filozofije) legitimna, a koja ne.

Pojedini pravci daljeg filozofskog istraživanja biće ukratko skicirani, naročito oni koji se odnose na proširenje domena fizike računanja na sisteme kojima se bave kosmologijom. Uzimajući u obzir ogromnu aktuelnost ovih oblasti za modernu filozofiju nauke, jasno je da dodatna perspektiva ima značajnu kako heurističku, tako i sintetičku vrednost. Takođe, ona vodi ka razumevanju problema epistemološke i ontološke prirode vezanih za računarske simulacije.

5. Metodologija

U ovom radu korišću metode koje su karakteristične za filozofsku tradiciju, sa naglaskom na metode relevantne za filozofiju i istoriju nauke. 22

5.1. Metod pojmovne analize.

U filozofskoj argumentaciji često dolazi do problema zbog toga što se dva različita pojma u argumentu uzimaju kao jedan isti. Zbog toga je ključno analizirati šta jedan pojam predstavlja kako bi ga razlikovali od njemu sličnih. Za ovaj rad ključni su pojmovi informacije, entropije, kao i drugog zakona termodinamike. Postoje razne vrste informacije kao i različite entropije. Relacija između njih zavisice u velikoj meri od toga koju vrstu informacije i koju vrstu entropije razmatramo. Pored toga postoje i različite formulacije drugog zakona termodinamike. Potrebno je uneti više reda – i u semantičkom i u taksonomskom smislu – u ove pojmove i njihovo korišćenje kod različitih autora, kako u primarnim izvorima iz fizike, tako i u tekstovima filozofa nauke koji su se ovim problemom bavili, poput Nortona, Irmena ili Lejdimenta. Takođe, postoje pomoćni pojmovi koji su bili predmet tradicionalne filozofske analize, a značajni su za ovde predloženo istraživanje, kao što su „sistem“, „zapis“ (uklj. memorijski zapis) ili „univerzum“. Kod njih je potrebno izvršiti drugačiju i donekle komplementarnu analizu, naime utvrditi koja su, od mnoštva predloženih i promišljenih značenja istinski relevantna za filozofiju fizike i računarskih nauka.

5.2. Metod misaonog eksperimenta

Metod misaonog eksperimenta predstavlja ključni metod u ovom radu, budući da čitava

problematika vezana za relaciju entropije i informacije vodi poreklo iz Maksvelovog misaonog eksperimenta sa demonom. Više varijacija na ovu centralnu temu, kao što su one koje su predložili Silard i Benet, takođe je igralo ulogu u napretku fizike i informatike. Pored toga javljaju se i drugi misaoni eksperimenti koji nam ukazuju na ključne probleme, vezane za pojmove o kojima se radi (npr. Penrouzovi i Hokingovi misaoni eksperimenti u vezi sa entropijom gravitacionog polja). U toku ovog istraživanja, postavimo nekoliko misaonih eksperimenata koji imaju za cilj da osvetle neprihvatljive posledice koje ima odbacivanje Silardove identifikacije informacije o sistemu i negativne fizičke entropije („destruktivni misaoni eksperiment“ u terminima Brown 2010), te onih koji pokazuju neočekivane i neintuitivne posledice korišćenja formalnog i jako uopštenog pojma kakva je algoritamska informacija u pojedinim interesantnim fizičkim situacijama („konstruktivni misaoni eksperiment“).

5.3. Metoda istorijske analize

Problem odnosa informacija i entropije je usko vezan za istorijski razvoj termodinamike i statističke fizike na jednoj, kao i teorije informacija, komunikacije i računarskih nauka na drugoj strani. Zbog toga je neophodno analizirati razvoj interpretacija drugog zakona termodinamike u istorijski ključnom periodu za modernu fiziku (cca. 1870-1961). Kao i kod drugih tema u istoriji nauke, naročito onih koje su dobro dokumentovane kao što je fizika, striktno filozofski sadržaj se ne može oštro razdvojiti od istorijskih razmatranja.

Čak i u 24

strogo internalističkom tumačenju, činjenica da je problem odnosa informacije i entropije bio aktuelan pre revolucionarne pojave kvantne fizike, kao i revolucije do koje je došlo u primenjenoj matematici sa rezultatima Tjuringa i fon Nojmana na zasnivanju računarstva, a da je ostao aktuelan, samo obogaćen novim pojavnim oblicima i pristupima i do danas, pruža i jednu dodatnu inherentno filozofsku dimenziju problema. Ovome treba dodati i da je problem smanjenja entropije u klasičnim sistemima, još jedan primer koji pokazuje – nasuprot pojedinim tendencijama prisutnim u literaturi – u kojoj meri je klasična fizika i njen pojmovni aparat povod i izvor za ozbiljnu savremenu filozofsku diskusiju.

Predložena literatura

Allahverdyan, A. E. & Nieuwenhuizen, T. M. 2001, “Breakdown of the Landauer bound for information erasure in the quantum regime”, *Physical Review E*, **64**: 0561171–0561179.

Beauregard, O. C. de & Tribus, M. 1974, “Information theory and thermodynamics”, *Helvetica Physica Acta* **47**: 238-247.

Bennett, C. H., 1973, “Logical reversibility of computation”, *IBM Journal of Research and Development* **17**: 525–532. 25

- Bennett, C. H. 2003, "Notes on Landauer's principle, reversible computation, and Maxwell's demon", *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **34**: 501–510.
- Brillouin, L. 1951, "Maxwell's demon cannot operate: Information and entropy I", *Journal of Applied Physics* **22**: 334–337.
- Brillouin, L. 1956, *Science and Information Theory* (New York: Academic Press).
- Brown, J. R. 2010, *Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences* [2nd edition] (London: Routledge).
- Brush, S. G. 1986, *The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the Nineteenth Century* (Amsterdam: North Holland).
- Caves, C. M. 1993, "Information and Entropy", *Physical Review* **47**: 4010–4017.
- Chaitin, G. J. 1977, "Algorithmic Information Theory", *IBM Journal of Research and Development* **21**, 350–359.
- Earman, J. & Norton, J. D. 1998, "Exorcist XIV: The wrath of Maxwell's demon. Part I. From Maxwell to Szilard", *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **29**: 435–471.
- Earman, J. & Norton, J. D. 1999, "Exorcist XIV: The wrath of Maxwell's demon. Part II. From Szilard to Landauer", *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **30**: 1–40. 26

- Feynman, R. P. 1982, "Simulating physics with computers", *International Journal of Theoretical Physics* **21**: 467-488.
- Feyerabend, P. K. 1966, "On the possibility of a perpetuum mobile of the second kind", in *Mind, Matter and Method: Essays in Philosophy and Science in Honor of Herbert Feigl*, ed. P. K. Feyerabend and G. Maxwell (Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota Press), pp. 409-412.
- Floridi, L. 2004, "Open Problems in the Philosophy of Information", *Metaphilosophy* **35**: 554-582.
- Fredkin, E. 2003, "An Introduction to Digital Philosophy", *International Journal of Theoretical Physics* **42**: 189-247.
- Gabor, D. 1964, "Light and Information", *Progress in Optics* **1**: 111-153.
- Jauch, J. M. & Baron, J. G. 1972, "Entropy, Information and Szilard's Paradox", *Helvetica Physica Acta* **45**: 220-232.
- Krakauer, D. 2011, "Darwinian demons, evolutionary complexity, and information maximization", *Chaos* **21**: 037110.
- Ladyman, J., Stuart, P., Short, A. J., & Groisman, B. 2007, "The connection between logical and thermodynamic irreversibility", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **38**, 58-79. 27

Ladyman, J., Presnell, S., & Short, A. J. 2008, "The use of the information-theoretic entropy in thermodynamics", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **39**, 315–324.

Landauer, R. 1961, "Irreversibility and heat generation in the computing process", *IBM Journal of Research and Development* **5**: 183–191.

Landauer, R. 1996, "The Physical Nature of Information", *Physics Letters A* **217**: 188-193.

Landauer, R. 1996, "Minimal Energy Requirements in Communication", *Science* **272**:1914-8.

Leff, H. S. & Rex, A. F. 1990, *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press).

Leff, H. S. & Rex, A. F. 2003, *Maxwell's Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing* (Philadelphia: Institute of Physics Publishing).

Lloyd, S. 1989, "Use of mutual information to decrease entropy: Implications for the second law of thermodynamics", *Physical Review A* **39**: 5378-5386.

Lloyd, S. 2000, "Ultimate Physical Limits to Computation", *Nature* **406**: 1047-1054.

Maroney, O. 2009, "Information Processing and Thermodynamic Entropy", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ur. E. N. Zalta, URL = <https://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/information-entropy/>, pristupljeno u novembru 2016. 28

- Maxwell, J. C. 1867, Letter to P. G. Tait, 11 December 1867, u C. G. Knott, *Life and Scientific Work of Peter Guthrie Tait* (Cambridge: Cambridge University Press, 1911), 213–215.
- Norton, J. D. 2005, “Eaters of the lotus: Landauer's principle and the return of Maxwell's demon”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **36**: 375–411.
- Poincaré, H. 1902, *La Science et l'Hypothèse* (Paris: Flammarion,).
- Penrose, O. 1970, *Foundations of Statistical Mechanics* (Oxford: Pergamon Press).
- Piechocinska, B. 2000, “Information erasure”, *Physical Review A*, **61**: 1–9.
- Rex, A. & Larsen, R 1992, “Entropy and Information for an Automated Maxwell's Demon,” *Workshop on Physics and Computation*, pp. 93-101. URL = <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=615503&isnumber=13433>, pristupljeno u novembru 2016.
- Rothstein, J. 1951, “Information, Measurement, and Quantum Mechanics”, *Science* **114**: 171-175
- Schack, R. 1997, “Algorithmic Information and Simplicity in Statistical Physics”, *Int. J. Phys.* **36**: 209-226.
- Schneider, E. D. & Kay, J. J. 1994, “Life as a manifestation of the second law of thermodynamics”, *Mathematical and Computer Modeling* **19**, 25-48. 29

- Skordos, P.A. & Zurek, W.H. 1992, "Maxwell's demon, rectifiers, and the second law: Computer simulation of Smoluchowski's trapdoor", *American Journal of Physics* **60**: 876-882.
- Shizume, K. 1995, "Heat generation required by erasure", *Physical Review E* **52**: 3495-3499.
- Szilard, L. 1929, "On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings", *Zeitschrift für Physik* **53**: 840-856. (engleski prevod u *The Collected Works of Leo Szilard: Scientific Papers*, ur. B. T. Feld i G. W. Szilard (Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1972), pp. 103-129.
- Turgut, S. 2009, "Relations between entropies produced in non-deterministic thermodynamic processes", *Physical Review E*, **79**: 041102.
- Uffink, J. 2001, "Bluff your way in the second law of thermodynamics", *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* **32**: 305-394.
- von Neumann, J. [1932] 1955, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press).
- Vedral, V. 2000, "Landauer's Erasure, Error Correction and Entanglement", *Proc. Roy. Soc. Lond.* **A456**: 969-978.
- Zhang, K. & Zhang, K. 1992, "Mechanical models of Maxwell's demon with noninvariant phase volume", *Physical Review A* **46**: 4598-4605. 30

Zurek, W. H. 1989a, “Algorithmic randomness and physical entropy”, *Physical Review A* **40**: 4731–4751.

Zurek, W. H. 1989b, “Thermodynamic cost of computation, algorithmic complexity and the information metric”, *Nature* **347**: 119–124.

IZVEŠTAJ O KVALIFIKOVANOSTI KANDIDATA I PODOBNOSTI PREDLOŽENE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

Doktorand: Jelena Dimitrijević

Predložena tema: Filozofski aspekti problema Maksvelovog demona

Mentor: dr Slobodan Perović, vanredni profesor

Kandidatkinja Jelena Dimitrijević podnela je Odeljenju za filozofiju predlog prijave doktorske disertacije pod naslovom ***Filozofski aspekti problema Maksvelovog demona.*** Komisija o predloženoj prijavi teme doktorske disertacije podnosi sledeći izveštaj:

Osnovni podaci o kandidatkinji:

Jelena Dimitrijević je rođena 1990. godine u Splitu. Osnovne studije filozofije je završila 2013. godine na Filozofskom fakultetu Univerziteta u Beogradu sa prosečnom ocenom 9.12 na temu „Determinizam u opštoj i specijalnoj teoriji relativnosti“. Na istoj katedri je 2014. godine završila master studije sa prosečnom ocenom 10, odbranivši master rad na temu „Kompjuterske simulacije, teorijski modeli i naučni eksperiment.“ Bila je stipendistkinja Fonda za mlade talente Ministarstva omladine i sporta Republike Srbije. Doktorske studije je upisala 2014. godine.

Trenutno je saradnik Centra za bioetičke studije, član redakcije sajta za popularnu filozofiju MOM (mišljenje o mišljenju: <http://mom.rs/>), zamenik urednika i kolumnista u časopisu za umetnost i kulturu „Zvezdani kolodvor“. Učestvovala je u brojnim grupnim zbirkama poezije. Bavi se filozofijom fizike i informatike, kao i neuroetikom. Govori engleski, italijanski, španski, nemački i kineski jezik.

Predmet istraživanja i sadržaj izlaganja

Predmet istraživanja

Predmet istraživanja u doktorskoj disertaciji Jelene Dimitrijević biće Maksvelov misaoni eksperiment sa demonom. U ovom misaonom eksperimentu, verovatno najznačajniji fizičar 19. veka, Džejms Klerk Maksvel, pretpostavlja postojanje nekakvog bića ili sprave, “demona” (po uzoru na ranijeg Laplasovog demona) koji je sposoban da stvori razliku u temperaturi u gasu, bez utrošenog rada. Cilj ovog misaonog eksperimenta je da preispita domen važenja drugog zakona termodinamike. U misaonom eksperimentu demon kontroliše na koju stranu kontejnera (podeljenog na dva odeljka) sa gasom prolaze brzi, a na koju spori molekuli. Kao rezultat takvog delovanja, temperatura u jednom odeljku postaje niža, a u drugom viša, odnosno entropija se smanjuje, što je naizgled u suprotnosti sa drugim zakonom termodinamike. Kasnijom analizom se dolazi do zaključka da smanjenje entropije koje se ovde javlja (ako se uopšte javlja), striktno govoreći, nije u suprotnosti sa drugim zakonom termodinamike, te da je paradoks samo prividan. Već u pokušaju da problem Maksvelovog demona adekvatno formulišemo, suočavamo se sa pojmovima i entitetima – kao što su entropija i informacija – oko čijeg značenja, kao i istorijske i praktične upotrebe, ne postoji konsenzus. U ovu kategoriju spada pitanje u kojoj meri zamišljena termodinamička situacija obuhvata sve istinski relevantne stepene slobode sistema predstavlja i do danas kontroverzno pitanje, koje je ne samo povezano sa epohalnim rezultatima Penrouza, Hokinga i drugih na termodinamici gravitacionih sistema, već i čitavom teorijskom orijentacijom ka objedinjenju fizičkih interakcija u duhu teorije struna i sličnih objedinjujućih projekata. Paralelno sa tim, elaboracija uloge informacije u fizičkim procesima je prerasla – sledeći rane intuicije velikana poput Poenkarea ili Fajnmena – u pokušaje izgradnje istinski “digitalne”, odnosno informatičke perspektive na fizičke sisteme.

Sadržaj izlaganja

Predložena teza Jelene Dimitrijević sastojće se od uvoda, tri dela raščlanjena na odgovarajuća poglavlja i zaključka.

Struktura rada je sledeća:

Uvod, U uvodnom delu kandidatkinja će se baviti istorijskom analizom i objasniti koji su to faktori u istoriji nauke uticali na formulisanje ovakvih problema. Kao posebno značajni faktori u konkretnom slučaju ističu se težnja fizičara za redukcijom makroskopske termodinamike na mikroskopske interakcije između molekula, kao i uspon statističkog načina razmišljanja za koji se još dugo nije verovalo da može da pruži “pravo” objašnjenje pojava u svetu.

I deo: Maksvelov demon, Silard i Landauer. U ovom delu kandidatkinja će se detaljno baviti Maksvelovim misaonim eksperimentom sa demonom, najpre u originalnom deskriptivnom obliku, a zatim i u strožijim oblicima do kojih je doveo kasniji razvoj. Nakon toga će preći na doprinos koji su ovoj tematici pružili Silard i Landauer. Od naročitog značaja jeste Silardov model Maksvelovog demona, koji po prvi put ukazuje na vezu promene entropije sa promenom informacionog sadržaja sistema i koji sadrži čitav niz epohalnih zaključaka oko kojih se kretala rasprava u potonjih pola veka.

II deo: Informacije. U ovom delu rada analiziraće se različite vrste informacija kao i probleme koji se vezano za njih javljaju. Najpre intuitivni pojam informacije kao količine podataka koju sadrži opis neke pojave, a zatim i kvantitativni pojam informacije kao mere uvida u sistem, ili mere kompleksnosti sistema ili dužine minimalnog enkodiranog programa koji verno simulira sistem, biće podvrgnute kritici.

III deo: Entropija i informacije. U ovom delu kandidatkinja će se baviti vezom između entropije i informacija, polazeći od Silardovog motora Maksvelovog demona i Landauerovog principa. Silardov motor i Landauerov princip pokreću pitanje o vezi između znanja i termodinamičke entropije. Kad bismo mogli znati na kojoj strani motora se nalazi molekul mogli bismo da dobijemo rad. Bez takvog znanja nužno je osmisliti proces koji se ponaša nezavisno od specifičnog stanja u kom je sistem.

Zaključak u kojem će biti sumirani rezultati do kojih je kandidatkinja došla u svojoj analizi. Biće predložena relativno opšta taksonomija upotrebnih značenja termina informacija i entropija, kroz koju će biti vidljivo koje su od ovih upotreba (a koje se pojavljuju u literaturi na ovu temu, kako u domenu fizike i računarskih nauka, tako i filozofije) legitimna, a koja ne. Uzimajući u obzir ogromnu aktuelnost ovih oblasti za modernu filozofiju nauke, jasno je da dodatna perspektiva ima značajnu kako heurističku,

tako i sintetičku vrednost. Takođe, ona vodi ka razumevanju problema epistemološke i ontološke prirode vezanih za računarske simulacije.

Osnovne hipoteze

Jelena Dimitrijević će u svom istraživanju poći od hipoteze da postoje različiti entiteti koji su objedinjeni pod imenom „entropije“ i „informacije“, te da njihove fizičke, kao i semantičke razlike čine hijerarhijsku shemu koja u dosadašnjim tretmanima nije razmatrana, ili bar nije razmatrana u najuopštenijem obliku. Ovo je uzrok brojnih zabuna i pogrešnih razumevanja ključnih ishodišta misaonog eksperimenta sa Maksvelovim demonom, ali i celine odnosa filozofije i fizike naspram teorije informacija. Elaboracija čitave ove taksonomske sheme može imati eksplanatorni karakter kad su u pitanju pojedine anomalije ili cirkularnosti na koje su ukazivali filozofi poput Džona Nortona. Međutim, čak i bez te eksplanatorne funkcije, taksonomska shema „različitih entropija“ može postaviti temelj za širu filozofsku sintezu i definisati istraživačke programe za ubuduće.

Cilj istraživanja

Cilj istraživanja doktorantkinje Jelene Dimitrijević je odgovor na pitanje da li nam informacije o nekom sistemu mogu pomoći da smanjimo entropiju unutar tog sistema, a da to ne izazove povećanje entropije u nekom drugom sistemu. Ukoliko je to nemoguće, da li je to nužna posledica fizičkih zakona koji vladaju u našem univerzumu ili samo našeg ograničenog teorijskog uvida i praktične neinventivnosti? Odgovor na ovo centralno pitanje je nemoguće dati bez pojmovne i uporedne analize različitih vrsta informacije i entropije, odnosno načina na koji se ovi pojmovi koriste u kontekstima različitih fizičkih teorija, pa i teorija koje izlaze van okvira fizike i pripadaju domenima primenjene matematike i računarskih nauka.

Metode istraživanja

Doktorantkinja Jelena Dimitrijević će se u svojoj doktorskoj disertaciji služiti metodom pojmovne analize koja je ujedno najčešća i najvažnija metoda u savremenoj filozofiji.

Pored toga će biti korišćena metoda misaonog eksperimenta koje je za ovaj rad najvažnija budući da je i sam problem Maksvelovog demona proizišao iz misaonog eksperimenta. Za ovaj rad će takođe biti značajan metod istorijske analize kako bi se obradili problemi u istoriji nauke koji su prethodili formulaciji problema Maksvelovog demona.

Očekivani rezultati i naučni doprinos

Problemi kojima će se Jelena Dimitrijević baviti u predloženoj doktorskoj disertaciji, predstavljaju aktuelne i centralne probleme u filozofiji fizike. Uspon statističke mehanike čiji su pioniri Maksvel i Bolcman, predstavljao je ne samo prvo osporavanje klasične mehanicističke i determinističke slike sveta koja je proisticala iz Galilejeve i Njutnove paradigme, već je legitimizovala i potpuno novi tip objašnjenja u kojem statistički fenomeni i usrednjene vrednosti fizičkih veličina igraju glavnu ulogu. Upravo je ovo proširenje eksplanatornog polja postavilo scenu za uspon savremenih fizičkih teorija kakve su obe teorije relativnosti, kvantna mehanika i kvantna teorija polja. Prednosti i mane različitih shvatanja informacije i entropije, od kojih kandidatkinja Jelena Dimitrijević polazi, omogućuje da se pruže nova tumačenja ne samo procesa redukcije makroskopskih fenomenoloških teorija na mikroskopske „fundamentalne“ teorije, već i veoma aktuelnih problema porekla posmatrane kompleksnosti, strele vremena, nelinearne dinamike, te dinamičke evolucije sistema na „rubu haosa“, u koje spada najveći broj bioloških sistema. Ova perspektiva takođe nudi mogućnost boljeg razumevanja same prirode znanja u kontekstu tačnih vs. „efektivno važećih“ modela fizičke realnosti.

Zaključak

Imajući u vidu kvalitet analiziranog obrazloženja predloga teme doktorske disertacije, kao i analitičke sposobnosti i veštinu argumentacije koje je kandidatkinja prilikom odbrane obrazloženja pokazala, komisija svesrdno predlaže da se doktorantkinji Jeleni Dimitrijević odobri izrada doktorske disertacije na temu ***Filozofski aspekti problema Maksvelovog demona.***

Beograd, 30.1.2017.

Komisija:

dr Miloš Arsenijević, redovni profesor

dr Miloš Adžić, docent

dr Radmila Jovanović, docent

Mentor:

dr Slobodan Perović, vanredni profesor