

Br. 3 | Februar 2021

FIZIS

ČASOPIS STUDENATA FIZIČKOG FAKULTETA, UNIVERZITETA U BEOGRADU

**RAZVOJ ZAJEDNICE
QUANTUM
SERBIA**

AKADEMSKA SAMOIZOLACIJA
U SRED 5G KOVIDA ŠIROM
RAVNE ZEMLJE

TALASI U DUBOKOJ
VODI I KAMENČIĆ

PUT KROZ VREME
- ZA POČETNIKE

Drage kolegice i kolege,

Zadovoljstvo nam je da vam predstavimo projekat ponovno pokrenutog časopisa studenata Fizičkog fakulteta pod nazivom "FIZIS". Časopis je osmišljen tako da sadrži zanimljive i aktuelne teme iz sveta fizike kako sa naučne strane, tako i sa svakodnevnog i karijernog aspekta. U "FIZISU" ćete u formi stalnih rubrika i nezavisnih kolumni moći da čitate intervju sa raznim profesorima i naučnicima širom sveta, o njihovom životu, studiranju i karijeri u fizici. Imaćete priliku da čitate o interesantnim, stručnim temama iz fizike i matematike koje su edukativnog karaktera i prevazilaze, pa čak i dopunjuju fakultetsko gradivo. Naći ćete neverovatne priče o primeni fizike u različitim civilizacijskim aspektima, čuti o fantastičnim temama iz vrlo naprednih i aktuelnih oblasti istraživanja, ali ispričanih tako da ih svi mogu razumeti. Imaćete uvid u najnovija istraživanja i njihove rezultate, ali i u karijerne mogućnosti i savete za dalji razvoj karijere kao fizičara.

Redakciju časopisa trenutno čine: doc. dr Duško Latas, naučna saradnica dr Aleksandra Dimić, naučni saradnik dr Dragoljub Gočanin i studenti Irina Ručnov, Katarina Prokić, Sara Botić, Jovana Stojković, Luka Jevtović, Zlatan Vasović, Jovan Mitić.

POZIVAMO SVE ZAINTERESOVANE KOLEGINICE I KOLEGE DA SE PRIDRUŽE UREDNIŠTVU i pomognu nam da doprinesemo našoj maloj zajednici na jedan kvalitetan i lep način. Ukoliko želite da se prijavite ili imate komentare na tekstove, primedbe i predloge, pišite nam na adresu casopisfizis@ff.bg.ac.rs i uživajte u našem novom-starom časopisu "FIZIS". Takođe, ako želite da dobijate obaveštenja o novom broju časopisa, prijavite se na našu mejling listu putem iste adrese.

SADRŽAJ

F I Z I S - BR. 3

- 4 **Vesti iz fizike**
- 6 **Intervju sa naučnikom**
Razvoj zajednice "Quantum Serbia"
- 10 **Fakultetska dešavanja**
Studentsko takmičenje PLANCKS
- 12 **Nauka van nauke**
Akademska samoizolacija u sred 5G kovida širom ravne zemlje
- 19 **Naučni kutak**
Termodinamika i relativnost
Talasi u dubokoj vodi i kamenčić
- 34 **Potprostor radoznalosti**
Put kroz vreme - za početnike
Zaustavi ga ako možeš
- 43 **Fizika u neke druge svrhe**
Zalutala u matematici: kako je fizika skrenula sa puta?
- 45 **Eksplzija misli**
Zašto fizici treba filozofija?

VESTI IZ FIZIKE

Još jedan kompjuter postigao “kvantnu nadmoć”

3. decembar 2020.

Kvantni kompjuter *Jiuzhang*, razvijen u Kini, drugi je koji je postigao tzv. “kvantnu nadmoć”, nakon Guglovog kvantnog kompjutera. Za 200 sekundi rešio je problem za koji je najbržem superkompjuteru potrebno 500 miliona godina. Za razliku od Guglovog kompjutera koji koristi superprovodne materijale, *Jiuzhang* koristi fotone za svoje operacije. Ovo je prva nezavisna potvrda Guglovog postignuća “kvantne nadmoći” iz 2019.

Izvor: ScienceNews



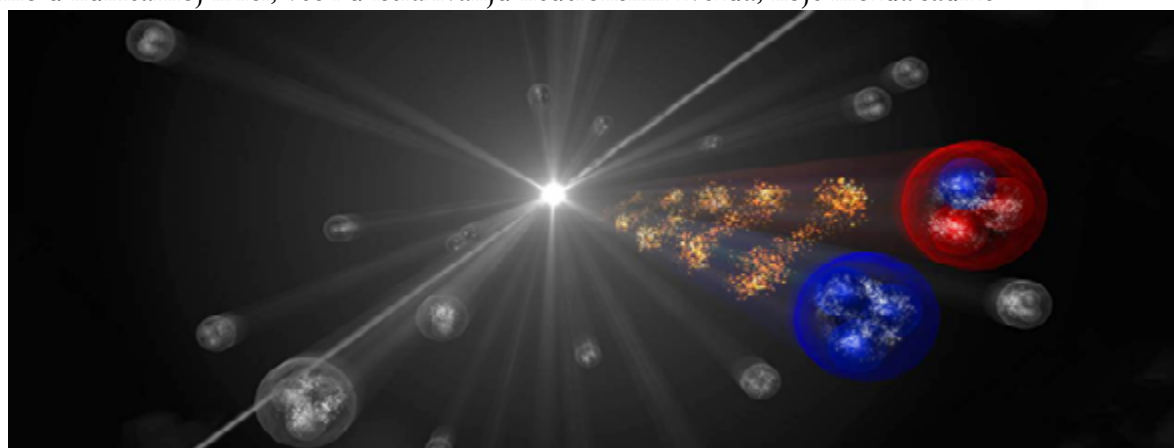
© Hansen Zhong

Visokoprecizno merenje jake interakcije

9. decembar 2020.

Istraživači sa Tehničkog univerziteta u Minhenu su razvili tehniku za precizno merenje jake interakcije koristeći sudare čestica u okviru *CERN*-ovog projekta *ALICE*. Metod može da izmeri jačinu interakcije između protona i hiperiona, nestabilnih čestica koje sadrže makar jedan strange kvark. Ovo otkriće ne predstavlja proboj samo u nuklearnoj fizici, već i u istraživanju neutronske zvezde, koje možda sadrže i hiperione.

Izvor: Technical University of Munich



© D. Dominguez / CERN

Otkriveni mehuri X-zraka iz centra Mlečnog puta

9. decembar 2020.

Teleskop *eROSITA* otkrio je dva velika mehura naelektrisanih čestica u centru Mlečnog puta, koji su vidljivi u rendgenskom delu spektra. Već su poznata dva mehura vidljiva u gama delu spektra, koje je pre 10 godina otkrio teleskop Fermi. Gama mehuri se nalaze unutar dva novootkrivena mehura, što može ukazati na njihovu povezanost.

Izvor: ScienceNews

Nova vrsta atomskog časovnika

16. decembar 2020.

Naučnici sa *MIT*-a osmislili su novu vrstu atomskog časovnika, koji za razliku od dosadašnjih atomskih časovnika ne koristi nasumično oscilujuće atome, već kvanto spregnute atome. Za to su korišćeni atomi iterbijuma, koji vibriraju 100 000 puta brže od atoma cezijuma. Precizno merenje vremena može imati veliki značaj za proučavanje tamne materije i gravitacionog uticaja na vreme.

Izvor: MIT News

Fundamentalno istraživanje o Kondo efektu

7. januar 2020.

Istraživanje iz Jilija u Nemačkoj utvrdilo je da se Kondo efekat ne može uočiti na osnovu određenih spektroskopskih posmatranja koja su do sada često korišćena. Kondo efekat menja električnu otpornost metala na niskim temperaturama, što ima primenu u razvoju klasičnih i kvantnih računara. Ranije istraživanje od pre dve decenije, u kom su prvi put korišćena spektroskopska posmatranja, smatra se revolucionarnim za izučavanje ovog efekta.

Izvor: ScienceDaily

2020. i 2016. izjednačene kao najtoplije godine

14. januar 2021.

Na osnovu merenja temperature okeana i kopna, američke agencije *NASA* i Nacionalna okeanska i atmosferska administracija (*NOAA*) nezavisno su odredile prosečnu globalnu temperaturu u 2020. *NASA* je utvrdila da je 2020. najtoplija godina dosad, a *NOAA* da je druga najtoplija, odmah iza 2016. Ova godina je bila najtoplija dosad i u Evropi i Aziji.

Izvor: NASA

Autor: Zlatan Vasović, student FF

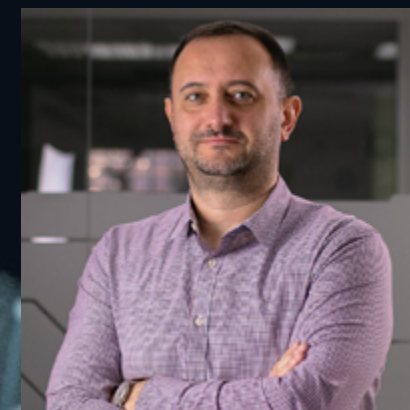
Razvoj zajednice "Quantum Serbia"

Data Science Srbija zajedno sa nekoliko Univerzitetskih profesora i profesionalaca iz industrije pokrenula je novu inicijativu Quantum Serbia, u okviru koje će se promovisati kvantne tehnologije i njihova primena. Prvi događaj se održao 26.11.2020. kada je uvodno online predavanje održao prof. Terrill Frantz sa Univerziteta Harrisburg, Pennsylvania. Nakon toga usledilo je još nekoliko zanimljivih druženja i predavanja, i sama zajednica počela je da se širi. Svi zainteresovani mogu se priključiti meetup grupi <https://www.meetup.com/Quantum-Serbia/> i uključiti u aktivnosti zajednice. O ideji osnivanju zajednice, planiranim događajima i kratkoročnim i dugoročnim ciljevima za Fizis govore Aleksandar Linc - Đorđević (Data Science Conference Europe) i Ilija Šuša (Smartocto).

Dobrodošli u Fizis, kako ne bih pogrešila, predstavite nam se u par rečenica.

Ilija: Karijeru sam počeo kao software developer (programer). Pre sedam godina sa dvoje partnera sam pokrenuo startup Content Insights. Napravili smo alat za merenje kvaliteta sadržaja (tekstovi, video, podcasti) na internetu. Naši klijenti su neke od najvećih svetskih redakcija. Od prošle godine smo se udružili sa Holandskom kompanijom koja je poslovala na istom tržištu i od tada nastupamo pod zajedničkim brendom SmartOcto (<http://smarctocto.com>). Trenutno u timu imamo preko 30 ljudi. Tehnički tim podeljen na manje timove data scientista, data inženjera, sistem inženjera i web developera. A pošto razvijamo svoj proizvod, osim razvoja imamo i velike prodajne, marketing i timove za podršku korisnicima. Uglavnom, jedna jako zanimljiva kombinacija različitih veština i znanja.

Aleksandar: Moje ime je Aleksandar Linc-Đorđević i osnivač sam Data Science Conference - jedne od najvećih evropskih franšiza posvećenih analitici, Data Science-u i AI-ju. Pored toga, već duže od 7 godina se profesionalno bavim pomenutim temama i radio sam u kompanijama poput Cube i NCR, sa time da mi obaveze oko Konferencije sve manje i manje dopuštaju da programiram na dnevnom nivou. Afiliacija sa kvantnim delom našeg svemira dolazi iz moje ljubavi prema fizici iz srednjoškolskih dana u Matematičkoj gimnaziji. Tada sam mogao da vidim sebe kako se u budućnosti na neki način bavim ovom temom.



Ilija Šuša i Aleksandar Linc - Đorđević

Kako ste došli na ideju da pokrenete Quantum Serbia?

Ilija: To je jako interesantna priča. Pošto se kao firma bavimo web analitikom tj. obradom velikih količina podataka, neizbežno je bilo povezivanje sa ekipom iz Data Science Srbija kroz organizovanje različitih dešavanja: meetup, webinar, konferencija. Kroz tu saradnju dobio sam poziv da se priključim Upravnom odboru Data Science Srbija gde sam se i bolje upoznao sa Aleksandrom. I tako, na jednom od neformalnih druženja kroz priču dođemo do toga da nas obojicu zanima oblast primene kvantnih tehnologija i da nam se to čini kao logičan sledeći korak u profesionalnom razvoju. Iz tog neformalnog razgovora, za manje od godinu dana, došli smo do obrisa jedne ozbiljne zajednice koju već sada čini 300 članova meetup grupe i pre svega core tim od petnaestak iskusnih profesionalaca, profesora fakulteta i entuzijasta. Lično, prvi put sam malo ozbiljnije počeo da se interesujem za kvantne tehnologije i pre svega njihovu primenu pre otprilike dve godine. Tada sam i napisao prve linije koda u Qiskitu i izvršio prvi kvantni programčić na IBM mašinama. Pošto sam po prirodi geek i volim da učim nove stvari bilo mi je zadovoljstvo da istražujem i čitam o toj oblasti čak i noću kada svi drugi spavaju.

Aleksandar: Nadovezao bih se na Iliju ukratko. Moje interesovanje je krenulo početkom prošle godine kada smo aktivno razmišljali i na kraju uključili track "Quantum Computing" u okviru glavnog dela programa Data Science Conference Europe 2020. Onda se desio taj čuveni sastanak u Novom Sadu i tako je krenula priča oko Quantum Serbia.

Šta novo očekujemo u razvoju kvantnih tehnologija tokom 2021. godine?

Ilija: Kada govorimo o kvantnim tehnologijama, bitno je razumeti dve promenljive - brzinu razvoja tehnologije i cenu primene tehnologije. Iz našeg iskustva, koje je povezano sa Data Science i AI tehnologijama, pravi bum se može očekivati onog trenutka kada se uspostavi sinergija između akademija i biznis sektora - gde se teorija može praktično primeniti i dalje unaprediti. Kada to kažem, ono šta očekujemo u 2021. godini jeste da se radi na povećanju procesorske moći kvantnih kompjutera - gde se očekuje da se do kraja 2021. dođe do kompjutera sa 127 kjobita za korišćenje, a sve to da bi smo došli do sistema od 1121 kjobita u 2023. Takođe, na dnevnom nivou raste broj korisnika interfejsa koji koristi kvantni kompjuter - tako da već sada postoji npr. preko 26.000 korisnika IBM Q Network. Ove dve činjenice su bitne, jer upravo govore da će sve veći broj ljudi moći da koristi sve naprednije kvantne kompjutere - tako da očekujem veliki bum u narednih par godina u domenu kvantne kriptografije i enkripcije (Quantum Key Distribution (QKD)), kvantnih telekomunikacija, ali i u kvantnoj medicini i biomedicini. Manje-više svi naši relevantni sagovornici, od Boba Sutora, preko Pitera Morgana, pa do Terila Franca upravo kažu da tu očekuju primenu kvantnih tehnologija. Takođe, treba napomenuti da je bitno u paraleli razvijati i kvantne algoritme - tako da nije preterivanje kada kažemo da kvantne tehnologije zaista otvaraju potpuno novi spektar zanimanja.

Kako kao lokalna kvantna zajednica možemo da se priključimo aktivnostima na međunarodnom nivou?

Aleksandar: Lično verujem da je najbitnija stvar koju nas je 21. vek, a 2020. godine potvrdila zbog korone, jeste to da smo svi deo jednog globalnog sela. Dakle, nije bitno da li ste u Nišu, Mostaru ili u Singapuru - dokle god imate dobru brzinu interneta - IBM Thomas J. Watson Research Center u Njujorku je na jedan klik daleko od vas, vaše potencijalne kolege su na jedan poziv Zoom-a spremne da zajedno sa vama diskutuju o temama koje vas interesuju i samo je nebo granica.

Ako tako postavimo stvari, zaista smatramo da su ljudi - a ljudi čine zajednicu - najbitniji resurs. Dakle, samo to koliko su ljudi spremni i žele da se uključe u aktivnosti na međunarodnom nivou je, zapravo, jedini faktor u tome kakav doprinos možemo da imamo. Nije realno očekivati da razvijamo kvantni kompjuter u Srbiji u dogledno vreme, ali razvoj simulatora, algoritama, kratkih i dužih kurseva na ove teme, kreiranje potencijalnih praktičnih primena kvantnih tehnologija - nešto je na čemu članovi naše zajednice već rade. Bitna i ključna poruka za sve koje razmišljaju da se bave kvantnim tehnologijama jeste - Beograd i Srbija su svet.

Koji događaji su u planu lokalne kvantne zajednice tokom 2021. godine?

Ilija: Na početku je bitno napomenuti da sama zajednica radi po principu - što se više ljudi uključi da posveti koji, da kažemo kvant, vremena - to će biti i više aktivnosti koje ćemo moći da sprovedemo. Mi imamo plan, ali on nije zacrtan u kamenu, niti znači da ćemo bez ikakvog rezona "gurati" da se neke stvari dogode po svaku cenu. Zato je i

bitno, i naš je poziv da se što više ljudi uključi na lokalnu.

Ono što možete da očekujete u narednih 6 meseci jeste da nastavimo sa organizovanjem meetup-ova. Imamo u planu da do leta pripremimo prvi online kurs Osnova kvantnog mašinskog učenja, takođe da isti pokušamo da realizujemo i uživo. Želimo da radimo na pripremi kraćih izveštaja o napretku i mogućnostima u oblasti kvantnih tehnologija, kao i da nastavimo da se povezujemo sa stručnjacima i institucijama na svetskom nivou.

Da li imate viziju čitave zajednice u budućnosti?

Aleksandar: Ilija je oduvek bio čovek sa velikim vizijama (smeh). Šalu na stranu, obojica imamo stav da kultura jede strategiju za doručak i da je taktika najbitniji deo za dolaženje do uspeha. Taktika za koju smo se opredelili jeste da prvo proširimo zajednicu, i mislim da smo u tome uspeli - jer već sada imamo preko 300 ljudi na našoj Meetup grupi. Ono što je sledeća stavka u planu jeste da dalje kreiramo materijale za početnike (poput kurseva) i da krenemo da pričamo o naprednijim temama kako bismo zainteresovali profesionalce da ostanu aktivni u zajednici. Sve to radimo kako bismo došli do prvog većeg cilja, a to je da uspemo da spojimo, pružimo podršku i pomognemo u stvaranju manjih timova ili startup-ova koji bi se bavili kreiranjem proizvoda ili usluga koje bi se bazirale na kvantnim tehnologijama. Kao što smo napomenuli ranije, za ovakav poduhvat je bitno da postoji dobra poveznica između biznisa i akademija, jer bez ozbiljne uključenosti insituta i istraživača, ali isto tako i studenata i profesionalaca - ovo neće biti moguće. Tako da ako nas pitate za neku dalju viziju srećne budućnosti, voleli bismo da Srbija bude prepoznata po stručnjacima i dostignućima iz oblasti kvantnih tehnologija - ali hajdemo korak po korak, pa možda i stignemo do iste.

Na koji način bi studenti mogli da učestvuju u dešavanjima pod pokroviteljstvom Quantum Serbia i doprinesu zajednici?

Ilija: Postoji nekoliko načina, ali ključni jesu da ili budu aktivni u zajednici i prisustvuju našim događajima ili da uzmu učešće u realizaciji postojećih aktivnosti. Naravno, i obe aktivnosti dolaze u obzir. Hteli bismo da napomenemo da je ovo jedinstvena prilika za sve studente, jer je kvantna zajednica na svom početku - i ukoliko se razmišljate makar i malo da se bavite ovom temom - Linc i ja smo vam na jedan mail daleko, kao i ostali članovi Quantum Serbia tima.

Radujemo se druženju u skorije vreme! Hvala puno na razgovoru!

Autor: Aleksandra Dimić, naučna saradnica FF

Studentsko takmičenje PLANCKS

Međunarodno takmičenje Plancks 2020 je održano u periodu od 11. do 13. decembra 2020. godine. Plancks takmičenje je prvi put zbog svetske pandemije korona-virusa održano online preko Zoom aplikacije.

Tim koji je predstavljao Fizički fakultet na međunarodnom takmičenju Plancks 2020 su činili:

Dušan Novičić (kapiten tima), 4. godina, teorijska i eksperimentalna fizika

Dušan Đorđević, 4. godina, teorijska i eksperimentalna fizika

Stefan Đorđević, 4. godina, teorijska i eksperimentalna fizika

Jovan Janjić, 4. godina, teorijska i eksperimentalna fizika

Test koji je bio dat takmičarima ove godine može se naći na linku <https://www.plancks.uk/exam>. Prva tri mesta su zauzeli sledeći timovi:

Prvo mesto: „Conserved Current“, 67/100 poena, University of Cambridge, United Kingdom

Drugo mesto: „FYKOS“, 65.5/100 poena, Charles University, Prag, Czechia

Treće mesto: „Pconci Gang“, 65/100 poena, University of Pisa, Italy

Tim koji je predstavljao Fizički fakultet ove godine je završio na pohvalnom šestom mestu sa 61.5/100 poena. Svake godine se u okviru takmičenja održavaju i predavanja. Više informacija o ovogodišnjem takmičenju se nalazi na sledećem linku <https://www.plancks.uk/london2020>.



Plancks 2021 će biti održan u periodu od 6. do 9. maja 2021. godine putem interneta. Kako najavljuju organizatori, naredne godine će postojati jedna razlika u odnosu na prethodni izgled ovog takmičenja. Naime, takmičenje će trajati 36 sati, poput Online Hackathon-a, odatle i drugi naziv za naredno Plancks takmičenje - „Plankathon“. Za to vreme takmičari će trebati da reše 12 problema. S obzirom da je takmičenje prvobitno zamišljeno da bude održano u Portugalu, organizatori će se potruditi da učesnicima što više približe državu, kulturu i istoriju putem interneta. Sve informacije o takmičenju naredne godine mogu se naći na linku <https://2021.plancks.org/>.

Takmičenje svake godine organizuje IAPS (eng. International Organization of Physics Students), čiji je Fizički fakultet član. Predstavnik Srbije u IAPS-u ove godine je studentkinja Katarina Prokić. Plancks takmičenje je takmičenje teorijskog tipa za studente osnovnih i master studija. Takmičari rade zadatke u timovima od tri do četiri člana.

Ukoliko želite da predstavljate Fizički fakultet i Republiku Srbiju na ovom takmičenju naredne godine možete se prijaviti studentkinji predstavnici za ovu godinu. Ukoliko bude bilo prijavljeno više studenata u odnosu na to koliko jedan tim može da ima članova, biće organizovano online preliminarno takmičenje. Preliminarno takmičenje, ukoliko za njim bude bilo potrebe, će biti održano do 14. marta 2021. godine.

Autor: Ana Knežević, studentkinja FF

Akademaska samoizolacija

u sred 5G kovida širom ravne Zemlje

Svakom timu neophodan je bar jedan đavolji advokat da bi projekat kojim se taj tim bavi bio uspešan. Osoba koja će izdvajati sve naizgled sitne nedostatke u projektu, i zatim bez milosti neće dozvoliti ostatku tima da te nedostatke ignorišu. U ljudskoj je prirodi da krivi realnost u skladu sa svojim željama, i ta iluzija biće utoliko veća što je osobi više stalo do onoga čime se bavi. Ovo često dovodi do previda brojnih problema, od kojih neki mogu biti katastrofalni po ceo projekat.

Danas sam rešio da budem upravo taj đavolji advokat, i to baš za čitavu naučnu zajednicu. Postoji ogroman slon u ovoj sobi i mi, kao naučnici, budući naučnici, ili samo ljudi kojima je stalo do naučnog napretka, moramo porazgovarati o njemu pre nego što nas sve uguši. Pretpostavljam da je sada već očigledno da ovaj članak neće biti poput ostalih. Imaće malo intimniji i manje formalan ton, jer je takav pristup najefikasniji za kvalitetnu komunikaciju o problemu koji imamo. Počnimo od kliše istorijskog osvrtu koji ovde, za razliku od prosečne srednjoškolske prezentacije, zapravo ima relevantnu ulogu u priči.

Evolucija pseudonauke

Naravno, problem o kom pričam jeste umnožavanje broja raznih teorija zavere i pseudonaučnih shvatanja, kao i generalni manjak kritičkog mišljenja u javnom diskursu. Ovo je iznenađujuće nova stvar. Iako je nauke u raznim oblicima bilo od kad čovečanstvo postoji, o čvrsto definisanoj i ukorenjenoj nauci kakvu je znamo u modernom kontekstu možemo pričati tek najranije od renesansnog perioda. Distinkcija između nauke i pseudonauke je tek dodatna tema koja je donekle formirana i konkretizovana tek sa Poperom u 19. veku. Tako da, dok razvoj nauke kao zasebne celine postoji i traje već više od tri milenijuma, odnos društva prema nauci je imao tek pokoji vek da se razvije.

Pogledajmo šta se dešavalo sa nekim od praktičnijih disciplina poput medicine sa kojima ljudi van akademske zajednice imaju najviše direktnog iskustva. Na primer, do samog kraja 19. veka smatralo se da je puštanje krvi i korišćenje pijavica u te svrhe efikasan metod lečenja raznih nepovezanih bolesti. Takođe, trepanacija, odnosno lomljenje dela lobanje kako bi se „smanjio pritisak“ pri glavoboljama ili uklonio deo mozga u pacijentima koji su se smatrali ludim, bila je praksa koja se redovno koristila do početka 17. veka. Trepanacija je zatim prerasla u lobotomiju koja se masovno praktikovala uprkos jasnim podacima o lošim posledicama ovog tretmana, često u suprotnosti sa voljom pacijenata i njihovih porodica, i uprkos postojanju brojnih drugih neinvazivnih pristupa, sve do kraja 19. i početka 20. veka.¹ Podsetiću da je ovo period u kom je Ajnštajn aktivno radio na teorijama relativnosti.

¹Trepanacija i lobotomija su naravno, procedure koje postoje i u modernoj medicini i koje se u ekstremno retkim slučajevima opravdano koriste kao poslednja mera pri spašavanju pacijenata. Ovde pričam o inicijalnim primenama ovih procedura koje su nedvosmisleno osuđene od strane medicinske naučne zajednice kao neosnovane i neodgovorno primenjivane uz kršenje ljudskih prava.

Uzimajući sve ovo u obzir, postaje jasno zašto su razne alternativne i pseudonaučne discipline poput homeopatije² dobile na značaju u tom istom periodu. Homeopatski rastvori, koji dokazano ne postižu ništa, bili su bolji od jako rizičnih i preterano invazivnih pristupa koji takođe nisu postizali ništa osim što su pacijente aktivno oštećivali. Uz to, obavezan deo homeopatskog tretmana su i privatne jedana-jedan psihološke seanse sa odabranim lekarom, što je nivo intimnosti i posvećenosti pacijentima kome moderni domovi zdravlja i te kako mogu da zavide. Kombinujući psihološke stimulanse takvog pristupa pacijentima zajedno sa placebo efektom (oba ova fenomena i te kako imaju dokazane i opipljive biološke efekte!) jasno je i zašto su se ljudi opredeljivali za alternativne i nenaučne pristupe, kao i zašto i dalje ima značajnog zaziranja i manjka poverenja u nauku. Slika nauke koju prosečan čovek ima nije baš najlepša, i ne bi trebalo da nas čudi što će, u odsustvu lepo predstavljenog naučnog opisa realnosti, dosta ljudi pribegavati pseudonauci.



Fotografija iz 1860. na kojoj se vidi naučno neosnovan tretman bolesti puštanjem krvi. Ovaj postupak ne postiže nikakav pozitivan efekat, osim što izlaže pacijenta dodatnim rizicima koji generalno postoje pri gubitku krvi.

Ponovio bih poentu ovog segmenta jer je jako bitna. U istom periodu u kom je Ajnštajn razvijao svoju teoriju relativnosti, što već naveliko smatramo modernim periodom nauke, imamo delove sveta u kojima su žene karakterisane kao „histerične“ i zbog toga su im protiv njihove volje vađeni delovi prefrontalnog korteksa. Manje od 40 godina nakon toga imali smo propagandu Trećeg rajha u kojoj se tvrdilo kako je naučno dokazana superiornost Arijevske rase. U istom periodu imamo razvoj nuklearnog naoružanja kao rezultat projekta Menhetn koji je bio **naučnoistraživački projekat**, a koji je manje od 40 godina nakon *toga* doveo do hladnog rata.

²Postoje brojne tehnike kojima homeopatija pokušava da se „maskira“ kao legitimna medicinska grana, poput toga da se identifikuje sa biljnim lečenjem. Bitno je razumeti da homeopatija nema veze sa bilo kojom legitimnom medicinskom granom. Govorim o vrlo jasno definisanoj i nedvosmisleno pseudonaučnoj disciplini koja se vodi svojim jedinstvenim principima.

Dakle nauka kakva je trenutno je vrlo moderna stvar i period koji je čovečanstvo imalo da se navikne na nju je ekstremno kratak, štaviše prekratak da bi se očekivalo da će prosečna osoba imati adekvatnu sliku nauke, koliko god ona nama delovala očigledna i jedina logična. Ovo znači da je odgovornost komunikacije naučnog rezona na nama, kao predstavnicima tog rezona. Zašto baš na nama?

Opasnost neobrazovanosti

Bilo bi dobro da napravimo jedan mali intermeo u kome ćemo pogledati zašto je uopšte bitno da se trudimo oko ovog problema, pre nego što se posvetimo samom problemu. Šta je tačno toliko opasno po *nas* ukoliko *neki tamo ljudi* ne znaju šta je nauka i šire teorije zavere? Naravno, svima je jasno da je uopštena obrazovanost društva poželjna, ali doskora je čest argument na koji sam bar lično nailazio bio taj da tuđa nenaučna shvatanja i ideologije u koje čvrsto veruju nisu naš problem. Ovaj argument se suštinski svodi na pozivanje na tuđu slobodu govora - „Oni imaju slobodu da misle šta žele i nije na meni ili tebi da im to zabranjujemo“.

Ovaj argument puca na nekoliko mesta. Za početak bih se pozvao na jedan od mojih omiljenih citata koje sam pročitao o slobodi govora, a čiji izvor trenutno kao za inat ne mogu naći – „Sloboda govora te štiti od intervencije vlasti. Ne štiti te od toga da te drugi ljudi nazivaju idiotom“. Izazivanje tuđih problematičnih mišljenja nije kršenje bilo kakvih sloboda, štaviše u pitanju je osnova međuljudske komunikacije na kojoj počiva dosadašnji napredak čovečanstva. Čim je nekakav stav iznesen tako da drugi ljudi mogu da imaju kontakt sa njim, osoba koja ga je iznela je spremna na ulazak u diskurs oko tog stava.

Sa druge strane, „šta se to mene tiče“ deo pomenutog argumenta tek ne drži vodu. Tiče se, jer su ljudi sa takvim stavovima jednaki članovi društva kao i mi. Ovde često dolazi do izražaja poznati sociološki fenomen u kom ljudi imaju iskrivljenu sliku realnosti bazirano na tome u kojim društvenim krugovima se kreću. Tako, ljudi koji su članovi akademske zajednice će često imati značajno ublaženu sliku toga koliko su nenaučna shvatanja duboko ukorenjena i široko rasprostranjena u ostatku društva, jer sa tim ostatkom imaju manji broj manje značajnih interakcija.

Najlakša ilustracija jeste upravo trenutna situacija sa pandemijom Kovida. Naravno, reći da je de fakto loše nošenje sa pandemijom uzrokovano samo teoretičarima zavere nije potpuno tačno. Razloga je mnogo: socioloških, ekonomskih, političkih, psiholoških... ali situacija bi neminovno bila bolja da teoretičara zavere i antimaskera ima jako malo ili nema uopšte. Na tom primeru vidimo direktno kako rasprostranjenost nenaučnog mišljenja i manjak naučne obrazovanosti može imati katastrofalne posledice po čitavo društvo, uključujući i nas.

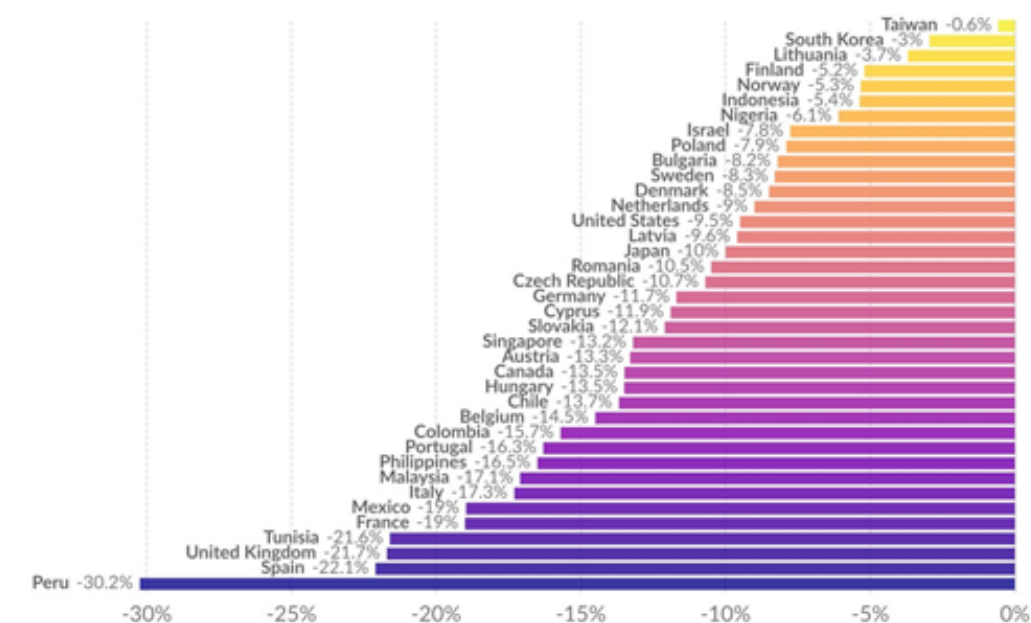
U periodu rada na ovom tekstu, objavljen je naučni rad (<https://www.ajtmh.org/view/journals/tpmd/103/4/article-p1621.xml>) koji se bavi upravo ekonomskim i drugim posledicama širenja teorija zavere i dezinformacija tokom pandemije. Rezultati su prilično poražavajući, u skladu sa svim ostalim posledicama ove pandemije, ali svakako služe kao dodatna ilustracija i daju naučnu potkovanost ovome o čemu pričam.

Teoretičari zavere možda nemaju direktan kontakt sa nama, ali sveopšta propast ekonomije i milioni preminulih svakako imaju. Ovo je razlog zašto odgovornost sukobljavanja sa tim mišljenjima leži upravo na svima onima koji su za to sposobni.

Economic decline in the second quarter of 2020

The percentage decline of GDP relative to the same quarter in 2019. It is adjusted for inflation.

Our World in Data



Source: Eurostat, OECD and individual national statistics agencies

Note: Data for China is not shown given the earlier timing of its economic downturn. The country saw positive growth of 3.2% in Q2 preceded by a fall of 6.8% in Q1.

CC BY

Prikaz pada vrednosti BDP-a različitih zemalja u drugom kvartalu 2020. Možemo videti da su najmanji (ili nikakav) pad doživle države istočne Azije koje su imale iskustva u nošenju sa pandemijama sličnih virusa i u kojima procenat ljudi koji redovno nose maske prelazi 90%.

Intelektualna pandemija

Dobra analogija koju volim da koristim za opis trenutne situacije u komunikaciji naučne zajednice sa društvom je upravo pandemija. Da, znam, kao da već ne slušamo dovoljno o njoj. Ipak, baš zato što su ljudi već informisani o tome kako pandemije funkcionišu i više nego što bi voleli ova analogija pomaže da se struktura problema uspostavi kako treba.

U nultoj aproksimaciji, svaka pandemija ima četiri glavna činioca – ljude koji su bolesni i prenose zarazu, ljude koji su zdravi ali nemaju imunitet, one koji imaju imunitet (bilo prirodno bilo vakcinacijom), i grupu ljudi, članova institucije, koji su sposobni da pretvore bolesne u zdrave, i ponekad zdrave u imune. Ako pričamo o biološkoj pandemiji koja trenutno vlada, očigledno pričamo o lekarima i zdravstvu.

Situacija je potpuno ekvivalentna kada pričamo o zastupljenosti pseudonaučnog načina razmišljanja. Ovo ne bi trebalo da bude preterano iznenađujuće, jer u pitanju jeste vrsta intelektualne pandemije koja prati sve mehanizme ove biološke sa kojom smo već upoznati. Postoje ljudi koji su duboko ubeđeni u svoje teorije zavere i nenaučne ideologije, i koji će tu ideologiju širiti dalje na druge ljude sa kojima stupaju u kontakt. Ovo su, očigledno, zaraženi ljudi. Postoje obični ljudi koji nisu baš upoznati sa naučnim procesom, ali koji za sada nisu imali dovoljno kontakta sa teorijama zavere da bi se svrstali u kategoriju zaraženih. Ovo je grupa ljudi koja je zdrava, ali nema razvijen imunitet. Uz dovoljno izlaganja ubedljivom sadržaju vezanom za neku teoriju zavere, ovakav čovek lako može postati još jedan od zaraženih. Sa druge strane, postoji druga kategorija prosečnih ljudi koji su ili nešto bolje obrazovani sami ili su imali dovoljno kontakta sa ljudima koji jesu, pa tako umeju da prepoznaju teorije zavere

i odbace ih kao takve. Uglavnom ne mogu tačno da definišu šta tu ne štima ili zašto argumenti koji zvuče ubedljivo nisu valjani, aliznajudanebitrebalodapoverujuutoitimesevode. Ovosuljudikojisuzdraviiimaju imunitet. Konačno, postoji grupa ljudi koja je dovoljno obrazovana i na naučnoj i na retoričkoj bazi da ume efektivno i (što je nažalost još bitnije) harizmatično da pobija nenaučne argumente. To su lekari. To smo mi.

Ne bi trebalo potceniti poteškoće pri pobijanju različitih teorija zavere i pseudonaučnih uverenja. Da ih je jednostavno pobiti, ne bi opstale toliko dugo i u tolikom broju. Kako je naš voljeni profesor mehanike i termodinamike Božidar Nikolić pokazao u jednoj od tribina pre nekoliko godina, kada je on počeo da argumentuje zašto je Zemlja ravna nijedan od stotina slušalaca nije umeo da pobije njegove argumente.³ Razlog zašto je ovaj poduhvat tako težak jeste to što zahteva jako dobro baratanje trima odvojenim granama.

Očigledno, prvi uslov je odlično poznavanje naučnog metoda kao celine, kao i sitnijih detalja vezanih za oblast koja pobija konkretnu teoriju zavere. Zatim, neophodno je odlično poznavanje retorike i logike, kako bi se logičke greške, koje su kamen temeljac svake teorije zavere, efikasno identifikovale i ukazale sagovorniku. Na kraju, neophodan je visok nivo socijalnih veština i određena doza harizmatičnosti u načinu na koji se ta teorija zavere pobija kako bi ljudima koji to slušaju, kao i samom sagovorniku, predstavnik nauke bio dovoljno privlačan i prijemčiv u načinu na koji priča da bi poverovali u to i bili otvoreni ka promenama.

Stvaranje obrazovnog sadržaja ne radi posao – trljanje tog sadržaja u lice radi

Ako vam ovo zvuči kao manipulisanje i obmana, to je jer jeste. Nažalost, jedna od ružnih činjenica društva jeste da će uvek biti otvorenije da sasluša i prihvati ideje od osobe koja ih iznese na retorički privlačniji način, čak i ako te ideje same po sebi nisu tačne. Debate, iako bi po definiciji za cilj trebale da imaju pronalazak istine, se svode na moderne duele toga ko ima viši stepen socijalnih veština i harizmatičnosti. Ovo se neće promeniti u daljoj budućnosti.

Loše vesti su da je jedna od karakterističnih osobina ljudi u nauci visok nivo asocijalnosti. Dobre vesti su da harizmatičnost, vrlo nalik inteligenciji, iako se donekle nasleđuje, većim delom može da se formira i nauči aktivnim putem, učenjem i praksom. Naravno, neće svako biti jednako dobar u tome, ali to u suštini nije ni bitno. Bitnije je prepoznati sopstvene sposobnosti i kada i gde one mogu biti efikasno primenjene. Da li će to biti dobro namešten razgovor sa antivakcerskom tetkom i njenom decom tokom porodične večere ili govor na velikoj tribini (ili članak u fakultetskom časopisu, da) nije toliko bitno koliko to da se **bilo šta** preduzme na prvom mestu.

Ovo ne znači stvaranje dodatnog naučnog sadržaja koji će čitati samo ljudi koji već znaju to što čitaju. Informacija ima i previše, nije neophodno stvarati ih još bez jasnog razloga. Mogao sam istih tri hiljade reči u ovom članku utrošiti prolazeći kroz listu tipičnih logičkih grešaka, strukturu prosečne teorije zavere i to kako je pobiti. To isto ćete moći da pročitate uz pet sekundi pretrage na Guglu. Problem nije u nedostatku naučnog sadržaja, već u tome što samo postojanje tog sadržaja nije dovoljno.

³ Interesantno je što je samo taj segment, u kome pokazuje kako je teško pobijati retorički dobro sročene ravnozemljaške argumente, bio zgodno isečen od strane određenog tabloida i objavljen u jednom urnebesnom članku uz senzacionalistički naslov poput „Profesor Fizičkog fakulteta pokazao da je Zemlja ravna! ŠOK“ (parafraziram)

Neophodno je taj sadržaj „odneti“ do ljudi kojima je preko potreban, i predstaviti ga na način koji će njihovom indoktriniranom pogledu na svet biti dovoljno svarljiv da ga ne odbace i dodatno se učvrste u svojim uverenjima.

Kako doktor Sander van der Linden, profesor socijalne psihologije sa Univerziteta u Kembridžu kaže u svojoj knjizi „Rizik i neizvesnost u društvu posle istine“⁴, ljudi su vrlo predusretljivi kada ih izložite načinima na koje su izmanipulisani, i upravo to je glavni način kako se možemo suprotstaviti širenju ove intelektualne pandemije – aktivnim, a ne pasivnim pristupom.

Akademci, šta se zbiva?

Kad već pričamo o toj analogiji, ono što akademska zajednica trenutno radi u najvećem procentu je da proizvodi suludu količinu lekova i vakcina – ali ti lekovi sede na policama jer ih niko ne donosi ljudima kojima su potrebni. A, za razliku od biološke pandemije, taj deo posla je najbitniji i najteži, i odnosi se na komunikaciju naučne zajednice sa ostatkom društva. Budimo realni, ova komunikacija je blago rečeno očajna.

Na ljude koji su rešili da se specijalizuju za popularizaciju nauke se gleda snishodljivo uz nekakav perverzni elitizam, kao da to što nisu „pravi naučnici“ znači da je ono što rade išta manje bitno od naučnog napretka (nije!). Naučni novinari, koji nisu prošli ni osnovne studije vezane za nauku, se tek gledaju kao niža bića. Intervjui i gostovanja se odbijaju, pozivi za učestvovanje se ignorišu. Razlozi su nepobitno osnovani, naučno novinarstvo ne radi posao koji bi trebalo da radi. Novinarski principi koji se primenjuju u drugim oblastima nisu primenljivi u naučnom novinarstvu, čak su i destruktivni.⁵ Ipak, uprkos tome je mnogo destruktivnije ne pojaviti se uopšte i prepustiti emisiju, članak ili intervju pseudonaučnim prodavcima magle i prepuštati ponuđene nam platforme ljudima koji će dodatno širiti zarazu.

Ne može se očekivati pozitivna promena ukoliko niko nije spreman da aktivno pristupi propagiranju i sprovođenju te promene, a ta odgovornost je, kao i nažalost svaka druga vezana za naučnu pismenost, na naučno pismenim ljudima. Taj posao ne zahteva nužno pristup nekoj velikoj platformi poput nastupa na televiziji ili posedovanja popularnog bloga. Pristup koji ima daleko veći procenat uspešnih promena mišljenja jesu svakodnevne interakcije, jer tu ljudi diskutuju sa osobom koju poznaju i kojoj veruju, umesto sa nekom nasumičnom ličnošću koja se pojavila na malom ekranu. Stoga, nulta tolerancija na suptilne indikatore pseudonaučnog mišljenja u ljudima sa kojima imamo svakodnevni kontakt i njihovo aktivno izazivanje na način koji će imati šanse da im promeni mišljenje jeste primarni način borbe protiv ove intelektualne pandemije. Ovo je ekstremno pipav posao, i jako mali procenat ljudi na svetu ga može uraditi kako treba.

⁴ *Risk and Uncertainty in a Post-Truth Society*, trenutno takođe radi na knjizi za koju je rekao da će imati vrlo nama relevantan naslov „*The Truth Vaccine*“ tako da verujem da bi ovo moglo biti korisno ljudima koji planiraju da se aktiviraju po ovom pitanju u budućnost

⁵ Naučno novinarstvo, njegovi problemi i komunikacija naučne zajednice sa njima, kao i to kako iskoristiti datu platformu čak i kada su naučnici predstavljeni u pogrešnom kontekstu je vrlo kompleksna i odvojena tema, u koju ne bih ovde ulazio jer bi zahtevala zaseban članak. Odlična preporuka za tu temu je i film „*Merchants of Doubt*“ (nema prevedene verzije)

Ali mi koji možemo, ga ne radimo. Zamislite ovu pandemiju, u kojoj su zdravstveni sistemi širom sveta digli ruke i rekli „ne, situacija je ovako kritična jer ste previše neodgovorni i neobrazovani, ne vidim kakve veze imate sa mnom, vama nema spasa svakako, nije na meni da vas lečim“ i ostale stavove uz koje naučnici dižu ruke od bavljenja ovim problemom. Zamislite da se svo lečenje vrši u malim amaterskim centrima koji su finansirani iz ličnog budžeta nekolicine entuzijastičnih. Da li bi to imalo smisla? Kakvu bismo budućnost mogli da očekujemo uz takav stav jedine institucije koja može da poboljša situaciju?

Kraj i početak

Naučna zajednica nije daleko od toga. Uz nekoliko izuzetaka, zatvorili smo se u svoj mali socijalni balončić i odbijamo da se suočimo sa realnošću. Ponosno dižemo nos pri pomisli na komunikaciju sa prosečnim teoretičarem zavere, time izlažući ljude koji će biti podložni toj ideologiji i doprinoseći problemu. Krijemo se od njega jer ne znamo kako da mu pristupimo, umesto da, u duhu nauke kojom se bavimo, pokušamo da taj problem istražimo i smislimo načine na koje možemo da doprinesemo njegovom rešavanju.

Sve ovo pisano je uz visoku dozu licemerja. Svaku od stvari koju kritikujem, kritikujem jer sam je ja prvi radio, ili i dalje radim. Ono što je bitno je da budemo svesni problema koji postoji, da budemo svesni zašto i kako smo mi odgovorni u njemu, i da znamo kakav pristup da formiramo. U redu je prevrnuti očima na čoveka koji više o tome kako nas čipuju u podzemnom prolazu kod Trga. U redu je izbeći neprijatnu situaciju sa nekim članovima porodice koji imaju upitne stavove. Ali ako nastavimo to da radimo svaki put kad nama ne odgovara, nikad nećemo rešiti problem, već ćemo mu konstantno doprinositi, a uz to nikad nećemo steći iskustvo koje nam je neophodno da u rešavanju tog problema budemo bolji i efikasniji, i time proširimo doseg našeg uticaja.

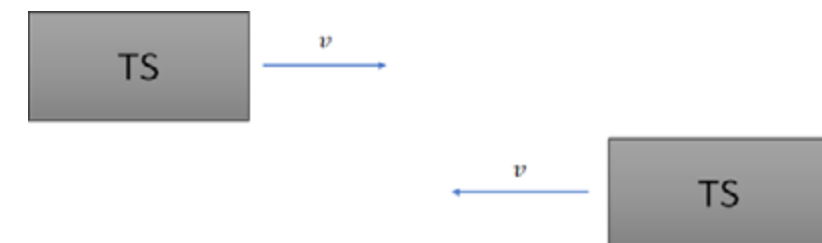
Ovo je neprijatna istina o naučnoj zajednici. Kao osoba koja planira da se nekad smatra njenim članom, mislim da je bitno ne dozvoliti sebi da ignorišemo tu neprijatnu istinu. Ovaj tekst je moj pokušaj da doprinesem tome, kao odgovorni đavolji advokat.

Autor: Luka Jevtović, student FF

TERMODINAMIKA & RELATIVNOST

Paradoks

Razmotrimo sledeću situaciju i pritom obratimo pažnju na jedno paradoksalno rezonovanje. Zamislimo dve identične kopije nekog termodinamičkog sistema (identične u smislu da smo primenili isti “recept” da bismo ih preparirali, te da su one makroskopski zaista iste u svakom pogledu) kao što je prikazano na slici.



Jednostavnosti radi, zamislimo da su to dve identične “kutije” unutar kojih se nalazi isti idealni gas u stanju termodinamičke ravnoteže. Zamislimo još da su te dve kutije sa gasom dovedene u stanje relativnog kretanja tako da se u laboratorijskom referentnom sistemu (Lab) kreću brzinama koje su jednake po intenzitetu ali suprotne po smeru. Jasnije, iz simetrijskih razloga, da će svi termodinamički parametri biti isti za oba sistema (jer smer brzine, dokle god je ona ista po intenzitetu, ne utiče na vrednosti termodinamičkih parametara). Ova dva termodinamička sistema će onda imati istu temperaturu, $T_1^{Lab} = T_2^{Lab} = T^{Lab}$, te u slučaju da se, u trenutku kada se sistemi na kratko dodiruju, omogući toplotna razmena između njih, očekivano je da do te razmene neće doći.

Do istog zaključka, ako je on ispravan, morali bismo doći i analizirajući gornju situaciju iz (inercijalnog) referentnog sistema koji je vezan za neki od dva TS-a. Uzmimo, recimo, prvi TS (levi na slici). U odnosu na njega, desni TS se kreće brzinom intenziteta $u = \frac{2v}{1+v^2/c^2}$, gde je v intenzitet brzine kutija u laboratorijskom referentnom sistemu. Da bismo odredili da li su gasovi u međusobnoj termodinamičkoj ravnoteži, potrebno je odrediti odnos njihovih temperatura - to je po nultom zakonu termodinamike standardna procedura. Temperatura je po definiciji $T = \frac{\partial U}{\partial S}$, odnosno količnik infinitezimalne promene unutrašnje energije podeljen sa infinitezimalnim priraštajem entropije u procesu koji podrazumeva samo toplotnu razmenu bez vršenja rada ili razmene čestica. Na osnovu statističke interpretacije entropije, $S = k_B \ln \Omega$ (gde je Ω broj dostupnih mikrostanja), zaključujemo da ona ostaje konstantna prilikom prelaska iz jednog inercijalnog referentnog sistema u drugi, tj. da je relativistička invarijanta. Sa druge strane, unutrašnja energija ima netrivialan zakon transformacije. Naime, ako posmatramo ukupni četvoroimpuls čestica idealnog gasa u neka dva referentna sistema, promena

¹ Nadalje će TS biti skraćena za “termodinamički sistem”.

njegove nulte komponente odgovaraće promeni unutrašnje energije. U referentnom sistemu u kome levi TS miruje (njegov sopstveni referentni sistem), ostale komponente njegove četvorobrzine se ne menjaju, jer takva situacija jedino odgovara našem pojmu razmena energije bez vršenja rada. Stoga, na osnovu relativističkog zakona transformacije nulte komponente četveroimpulsa, nalazimo da je temperatura koju bismo pridružili drugom gasu u referentnom sistemu prvog jednaka

$$T_2 = \frac{\partial U_2}{\partial S_2} = \frac{\partial U_1}{\partial S_1} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} = \gamma T_1,$$

gde je $T_1 = \frac{\partial U_1}{\partial S_1}$ temperatura prvog gasa u sopstvenom referentnom sistemu. Dakle, posmatrano iz referentnog sistema vezanog za jednu od kutija sa gasom, gasovi nemaju istu temperaturu i stoga nisu u međusobnoj termodinamičkoj ravnoteži, što je u kontradikciji sa zaključkom do koga smo došli posmatrajući stvari iz laboratorijskog referentnog sistema.

Nadalje ćemo, jednostavnosti radi, uzeti $c = 1$.

Stara dilema

Da bismo razrešili ovaj paradoks, poželjno bi bilo upoznati se sa relativističkom termodinamikom. Iako i Specijalna teorija relativnosti (STR) i termodinamika predstavljaju standardno fakultetsko gradivo, studenti obično nemaju priliku da se upoznaju sa ovom teorijom. Za to postoji sasvim opravdan razlog. Naime, samo par godina nakon objavljivanja prvog rada iz STR, Maks Plank i Albert Ajnštajn su analizirali upravo ovaj problem [4,5]. Ova dva poznata naučnika došli su do istog relativističkog zakona transformacije temperature. Za razliku od našeg rezultata iz prethodnog odeljka, njihovo tvrđenje bilo je da tela u pokretu imaju manju temperaturu nego kada miruju ($T < T'$). Od sada pa nadalje sve primovane veličine se odnose na referentni sistem u kom termodinamički sistem miruje. Kao posledicu ovog zakona transformacije, možemo pokazati da je jednačina stanja idealnog gasa relativistički invarijanta.

Posmatrajmo idealan gas zatvoren u kutiji oblika kvadra određene zapremine, koja se kreće duž x -ose koja leži u pravcu jedne njene ivice. Iz zakona transformacije sile kojom gas deluje na stranice kutije imamo

$$F'_x = F_x, F'_y = \gamma F_y$$

(ovaj zakon transformacije poznat je sa osnovnog kursa iz STR). Usled kontrakcije dužine površine stranica kutije koje su paralelne x -osi umanjene su γ puta, kao i zapremina kutije.

Shodno tome, možemo pisati

$$pV = \frac{F_y}{S} V = \frac{\gamma^{-1} F_y}{\gamma^{-1} S} \gamma^{-1} V = \gamma^{-1} p' V' = NR \gamma^{-1} T' = NRT$$

Ova formulacija relativističke termodinamike bila je važeća skoro pola veka. Sredinom šezdesetih godina, nemački naučnik Ot (Ott) objavljuje rad kojim menja pogled naučne zajednice na ovu problematiku. Posmatrajući relaciju $\delta Q = T dS$, on je argumentovao da se veličina δQ menja pri prelasku iz

sistema mirovanja u neki drugi inercijalni sistem na isti način kao i energija, te da važi relacija izvedena u prvom odeljku ($T = \gamma T'$). Iako ovaj zakon implicira da jednačina stanja idealnog gasa nije relativistički invarijantna, to nije naročito čudno, jer se, zbog nelinearnosti zakona slaganja brzina, izvođenje ovog zakona iz Maksvelove raspodele očito menja. Nakon ovoga, usledili su različiti radovi sa različitim transformacionim osobinama temperature. Neki autori su se opredelili za Otov pristup, drugi su uzimali da važi $T = T'$ (što bi automatski rešilo paradoks sa početka), dok je treća struja smatrala da je besmisleno uopšte govoriti o ovakvom zakonu transformacije [3].

Problemi, problemi...

Da bismo razrešili paradoks, potrebno je odgovoriti na nekoliko pitanja. Prvo, koji je zakon transformacije tačan. Drugo, šta je ispravna verzija nultog principa termodinamike u relativističkoj fizici. Zapravo, naš najveći problem je to što smo suviše naivno pristupili analizi situacije. Setimo se na primer "izvođenja" nultog zakona termodinamike, koje je poznato svakom studentu koji je slušao statističku fiziku.



Ako nepokretna membrana, koja je propusna (samo) za toplotu, deli dva termodinamička sistema, onda iz uslova maksimizacije entropije sledi da će u stanju termodinamičke ravnoteže ova dva sistema imati istu temperaturu. Ova membrana manifestno narušava Lorencovu simetriju, te zaključujemo da termodinamika u svojoj formulaciji ima implicitno odabran referentni sistem. Stoga, nemoguće je izvršiti direktnu ekstenziju termodinamike na relativističke sisteme bez dodatnih pretpostavki. Upravo je ovo uzrok različitih transformacionih osobina temperature. Ilustrujmo ovo na primeru neslaganja Ajnštajnovе i Otovе transformacije.

Na osnovu Liuvilove teoreme, entropija zavisi od integrala kretanja [6]. Ako se ograničimo na sisteme koji imaju fiksni broj čestica (što može biti problematično u kvantnoj teoriji polja, ali predimo preko toga ovom prilikom) entropija će biti funkcija četiri promenljive - funkcija komponenti četveroimpulsa (takođe se, jednostavnosti radi, ograničavamo na sisteme koji se kreću čisto translatorno). Onda, zahtevajući relativističku invarijantnost, imamo:

$$S = S(\sqrt{p_\mu p^\mu}) \equiv S(M).$$

U slučaju da sistem miruje, imamo samo jedan integral kretanja - energiju, i temperatura je tada jasno definisana. U slučaju da se sistem kreće kao celina, pored energije imamo i tri prostorne komponente četveroimpulsa. Međutim, sa podjednakim pravom umesto ove tri komponente možemo koristiti i tri komponente brzine. U prisustvu ovih dodatnih integrala kretanja, temperatura je definisana kao

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right) |_{\text{ostali integrali kretanja} = \text{const.}}$$

U slučaju različitog izbora integrala kretanja (pritom obratite pažnju da mi samo prelazimo sa jednog sistema integrala na drugi koji je dat kao funkcija prvog) dolazi do promene u izrazima za temperaturu. Štaviše, u pomenutom slučaju izbora između komponenti impulsa i brzine imamo

$$S = S(E, \underline{p}) \Rightarrow dS = \frac{dS}{dM} \frac{\partial M}{\partial p_\mu} dp_\mu = \frac{1}{T'} \frac{p^\mu}{M} dp_\mu$$

$$S = S(E, \underline{v}) \Rightarrow dS = \frac{dS}{dM} \frac{\partial(p_0 - \sqrt{1-v^2})}{\partial p_0} dE + \frac{dS}{dM} \frac{\partial(p_0 - \sqrt{1-v^2})}{\partial \underline{v}} d\underline{v} = \frac{1}{T'} \sqrt{1-v^2} dE - \frac{1}{T'} p_0 \frac{\underline{v}}{\sqrt{1-v^2}} d\underline{v}$$

gde smo iskoristili $v_i = \frac{p_i}{p_0}$. Vidimo da u prvom slučaju imamo $\frac{1}{T} = \frac{\gamma}{T'}$, dok u drugom slučaju važi $\frac{1}{T} = \frac{1}{\gamma T'}$.

Dakle, pitanje relativističkog zakona transformacije temperature je zapravo pitanje izbora veličine koju nazivamo temperatura, tj. same njene definicije.

Napomenimo još da je u okviru STR razlika između rada i toplote dodatno zbujujuća. Kako su pojmovi impulsa i energije objedinjeni u četvoroimpuls čije se komponente menjaju pri Lorencovim transformacijama, posmatranje toplote kao transporta energije bez transporta impulsa gubi svoj apsolutni smisao.

Šta izabrati?

Nakon ovoliko problema, postavlja se pitanje da li je uopšte smisleno govoriti o termodinamici u okviru STR. Istini za volju, teorija razvijena u prethodnim paragrafima je u velikoj meri kompletna - najveću prepreku u formulisanju teorije predstavlja interpretacija različitih fizičkih veličina. Nažalost, nije do kraja jasno koja od ponuđenih interpretacija najviše odgovara relativističkoj generalizaciji pojma temperature. Naravno, u slučaju da sama interpretacija nije toliko bitna, nakon što odaberemo neku od njih, sa matematičkog aspekta, teorija je korektna i moguće je sa njom raditi.

Međutim, rekavši ovo, nismo uspeali da odgovorimo na početno pitanje koje se ticalo nultog zakona termodinamike. Takođe, još uvek nismo zaključili šta bi izmerio termometar kao temperaturu tela u pokretu. Zanimljivo, oba ova pitanja imaju isti odgovor - ako želimo termodinamičku ravnotežu, potrebno je da sistemi o čijoj ravnoteži govorimo imaju istu brzinu centra mase. Ako razmislimo, ovo je sasvim prirodno postulirati. Između dva tela u pokretu javlja se sila trenja, koja teži da izjednači njihove brzine i, samim tim, u stanju termodinamičke ravnoteže, tela moraju imati istu brzinu. Do ovog zaključka možemo doći i sledećim jednostavnim argumentom. Ukupna entropija sistema sastavljenog od dva slabo interagujuća podsistema je aditivna,

$$S = S_1(M_1) + S_2(M_2) = S_1(\sqrt{p_{1\mu} p_1^\mu}) + S_2(\sqrt{p_{2\mu} p_2^\mu}).$$

Uslov termodinamičke ravnoteže se može formulisati kao

$$\delta S = 0 = \frac{1}{T_1'} \frac{p_1^\mu}{M_1} \delta p_{1\mu} + \frac{1}{T_2'} \frac{p_2^\mu}{M_2} \delta p_{2\mu}.$$

Iz zakona održanja četvoroimpulsa takođe imamo $0 = \delta p_{1\mu} + \delta p_{2\mu}$, te ako pretpostavimo da su varijacije četvoroimpulsa proizvoljne, dobijamo

$$0 = \left(\frac{1}{T_1'} \frac{p_1^\mu}{M_1} - \frac{1}{T_2'} \frac{p_2^\mu}{M_2} \right) \delta p_{1\mu} \Rightarrow T_1' = T_2', \quad \frac{p_1^\mu}{M_1} = u_1^\mu = u_2^\mu = \frac{p_2^\mu}{M_2}.$$

Uslov da su varijacije impulsa proizvoljne je prikladan, no tehnički može biti narušen u prisustvu interakcije. Može se pokazati [2] da je, uz razumne pretpostavke o osobinama relativistički invarijantne termodinamike, (podsećamo još jednom da standardna formulacija manifestno narušava Lorencovu/Poenkareovu simetriju) ovaj uslov ispunjen.

Ako za jedan od sistema uzmemo upravo termometar, jasno je da će on jedino biti u termodinamičkoj ravnoteži sa drugim (i time moći da meri temperaturu) ako se kreće istom brzinom kao i sistem čiju temperaturu meri. U tom slučaju će termometar prikazivati temperaturu tela u sistemu mirovanja istog. Ovo ima i prihvatljivu fizičku interpretaciju. Ako želimo izmeriti temperaturu unutar fluida koji se kreće, brzina fluida neposredno uz površinu termometra će usled viskoznosti biti jednaka brzini termometra. Stoga će termometar na kraju ipak pokazivati temperaturu fluida koji se kreće istom brzinom kao i on.

Zaključak

U zavisnosti od definicije, različite veličine, sa različitim transformacionim svojstvima, mogu igrati ulogu temperature. Shodno tome, nije moguće jednoznačno formulisati relativističku generalizaciju termodinamike. Naravno, različite definicije pojma temperatura od interesa su u različitim oblastima fizike. Bez obzira na to, prirodno je prihvatiti da o termodinamičkoj ravnoteži dva sistema možemo govoriti samo u slučaju da se oni kreću istom brzinom centra mase. Dakle, naš paradoks se sastojao u tome što smo: 1) koristili generalizaciju pojma temperature koja ne garantuje da se sistemi sa istom brojnomo vrednošću ove veličine nalaze u međusobnoj termodinamičkoj ravnoteži; 2) naši sistemi su se kretali različitim brzinama. Usled interakcije, najverovatnije je da bi tela krenula da usporavaju dok ne dostignu zajedničku brzinu (u našem slučaju nultu brzinu), te bi termodinamička ravnoteža tek tada bila ostvarena. Ovde treba obratiti pažnju na to da ovo ne važi pri generalnoj interakciji, no jasno je da za većinu primera tvrđenje ostaje na snazi.

Literatura

- 1) R. Giles, *Mathematical Foundations of Thermodynamics*, Pergamon Press Ltd., Oxford, 1964.
- 2) L. Gavassino, *The Zeroth Law of Thermodynamics in Special Relativity*, Found Phys 50, 1554-1586 (2020). doi.org/10.1007/s10701-020-00393-x
- 3) C. Farias, V. A. Pinto, P. S. Moya, *What is the temperature of a moving body?*, Sci Rep 7, 17657 (2017). doi.org/10.1038/s41598-017-17526-4
- 4) M. Planck, *Zur Dynamik bewegter Systeme*, Ann. Phys. 331, 1-34 (1908).
- 5) E. Albert, *ber das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen*, Berichtungen. Jahrb. Radioakt. Elektron. 98-99 (1908).
- 6) L. D. Landau and E. M. Lifshitz, *Statistical Physics, Part I*, Pergamon Press, Oxford, 1980.
- 7) Božidar Nikolic, *Lekcije iz molekularne fizike i termodinamike*, 2020.

Autor: Dušan Đorđević, master student FF i Univerziteta Oksford

Talasi u dubokoj vodi i kamenčić

Nedavno sam saznao činjenicu koja mi se učinila neverovatnom (i dalje je tako). Neću sada pokvariti uživanje čitaocima koji vole iznenađenja, ali kako bih voleo da vas ne odbiju matematički redovi, obećavam vam da ćete na kraju ovog teksta saznati najbolji odgovor na pitanje šta je zajedničko za patku i brod (ako iko i postavlja takva pitanja), koji verovatno niste znali.

Naš put do ovog čuvenog rezultata biće vrlo zaobilazan. Postoje, kao što je često slučaj sa lepim rezultatima, načini da se do njega dođe mnogo brže i elegantnije, ali mi ćemo zato usput saznati nekoliko novih stvari iz oblasti ne baš zastupljene na našim studijama. No, osnovni zakoni dinamike fluida na koje ćemo se osloniti dobro su poznati svakome ko je prošao teorijsku mehaniku (ili drugi sličan predmet) i iz njih ćemo izgraditi celu priču.

Pre nego što patka dopliva u naša razmatranja, upoznaćemo se sa jednom zanimljivom vrstom talasa, koja je toliko uobičajena da je često koristimo kao prvi primer talasnog kretanja, ali i sa druge strane dovoljno netrivialna da se radije umesto nje mladom fizičaru daje analiza elektromagnetnog talasa, na primer.

Talasi u dubokoj vodi

Talasi fenomen koji ćemo razmotriti jesu talasi koji se javljaju na površini dovoljno dubokih vodenih masa, kao što su talasi na vetrom uzburkanom moru. Ovi talasi u literaturi se mogu pronaći kao *gravity waves*, što je nesrećan naziv, naročito odnedavno, ali zapravo upućuje na silu koja je odgovorna za talasno kretanje - silu Zemljine teže.

Razmotrićemo ravan monohromatski talas u beskonačno dubokoj vodenoj masi u polju sile zemljine teže (\vec{g}). Vertikalnu ćemo označiti kao y pravac i pri tome ćemo isti orijentisati nadole. Talas opisuje dva polja - polje brzine delića vode (tj. kao što ćemo videti, polje potencijala brzine, Φ) i polje vertikalnog pomeraja površine (h) fluida u odnosu na ravnotežni nivo, i pri tome možemo izabrati da nijedno ne zavisi od z koordinate ukoliko za pravac prostiranja talasa izaberemo x osu.

Vodu ćemo modelovati kao idealni, neviskozni, nestišljivi fluid. Nestišljivost se prevodi kao $\nabla \cdot \vec{v} = 0$. Kako je jedina sila potencijalna, to će i proticanje u dovoljno mirnim uslovima (kakve male pobude jesu) biti potencijano (bezvrtložno), $\nabla \times \vec{v} = 0$, za detalje je dovoljno podsetiti se teorijske mehanike. Potencijalno strujanje omogućava uvođenje potencijala brzine, $\vec{v} = -\nabla\Phi$. Uslov nestišljivosti tada

možemo zapisati kao:

$$\nabla^2 \Phi = 0$$

Laplasova jednačina nam je i previše dobro poznata, a rešenje koje mi tražimo jeste ravan monohromatski talas koji se prostire duž x ose:

$$\Phi = e^{i(kx - \omega t)} f(y),$$

gde f sada zadovoljava jednačinu:

$$\frac{d^2 f}{dy^2} - k^2 f = 0$$

Oblik $f(y)$ lako se može odrediti dodajući kao granični uslov fizički razumnoj pretpostavki da talas ne može pobuditi celu vodenu masu, tj. za velike dubine nema pobude. Ovaj uslov zapravo definiše i vrstu talasa koju posmatramo - talas koji se prostire pri površini fluida usled relativno male pobude. Rezultat je lako dobiti:

$$\Phi = A e^{i(kx - \omega t)} e^{-ky}$$

Primetimo da do sada nismo koristili dinamičke jednačine (osim činjenice o potencijalnom strujanju idealnog fluida u polju Zemljine teže). Sada je pravo vreme za to, međutim, umesto Drugog Njutnovog zakona za fluide, pogodnije je setiti se njegovog Bernulijevog integrala koji važi za naš idealizovan slučaj:

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi)^2 + \frac{1}{\rho} (p + U) = \text{const}$$

Kako posmatramo male pobude (linearnu teoriju), gradijentni član biće mala veličina drugog reda po amplitudi, te ga odbacujemo. Ako posmatramo talas na površini ($y = 0$), možemo uzeti i $p = 0$, dok je U (zapreminska gustina potencijala spoljašnjih sila) dato sa $U = -\rho gh(x, t)$ računato u odnosu na $y = 0$ kao referencu. Polje $h(x, t)$ je vertikalni pomeraj površine fluida i za traženi ravan talas pretpostavljamo:

$$h = B e^{i(kx - \omega t)}$$

Jedina enigma ostaje konstanta na desnoj strani Bernulijeve jednačine za koju sa teorijske mehanike znamo da ne zavisi od prostornih koordinata, već samo od vremena, no jedina zavisnost od vremena koja je moguća za monohromatski talas jeste harmonijska ($e^{i\omega t}$), a ova zavisnost će dati samo jednu dodatnu konstantu u jednačini (nakon skraćivanja zajedničkog faktora $e^{i\omega t}$) koja nema značaja i koju smo mogli pojesti redefinisanjem potencijalne energije. Dakle, Bernulijeva jednačina na površini postaje:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} \Big|_{y=0} = -gh$$

Zamenom oblika polja dobija se uslov:

$$i\omega A = gB$$

U ovom trenutku već bismo očekivali da nam jednačine daju disperzionu relaciju za naš ravan talas, ali dobili smo samo jednu vezu. To je posledica toga što radimo sa dva polja, Φ i h , i iako smo koristili kinematičke i dimenijske uslove, još nismo precizirali vezu između polja. Ovo je mnogo lakše nego što se na prvi pogled čini. Naime, brzina čestice je upravo ono što nam uzrokuje njihov vertikalni pomeraj. Komponenta brzine površinske čestice normalna na površinu vode koju možemo dobiti iz potencijala Φ je ista ona koju dobijamo iz vremenske zavisnosti vertikalnog pomeraja površine:

$$v_n \Big|_{y=0} = -\frac{\partial \Phi}{\partial n} \Big|_{y=0} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

Kako su nam amplitude talasa male, normala na površinu se u prvom redu po amplitudi ne razlikuje od vertikale y :

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

Odmah sledi:

$$kA = -i\omega B$$

I uz prethodni uslov:

$$\frac{A}{B} = \frac{g}{i\omega} = -\frac{i\omega}{k}$$

Disperziona relacija je tu! Rezultat koji smo dobili je od ključnog značaja za patku sa početka, ali dalek je put još pred nama. Zato zastanimo i pogledajmo ga bliže.

Pre svega, cela analiza je pokazala da je prostiranje pretpostavljenog talasa zapravo moguće, ali već pri analizi Laplasove jednačine za potencijal, postalo je jasno da je prostiranje disipativno i da se talas značajno prostire samo blizu površine (kao što i znamo iz iskustva) i to negde do dubine od nekoliko talasnih dužina talasa (faktor e^{-ky}). Ova činjenica zasigurno je od značaja ribama za vreme oluja. Preostali uslovi dali su nam disperzionu relaciju oblika koji nismo baš viđali na kursevima ($c_f = \omega/k$ je fazna brzina, λ je talasna dužina):

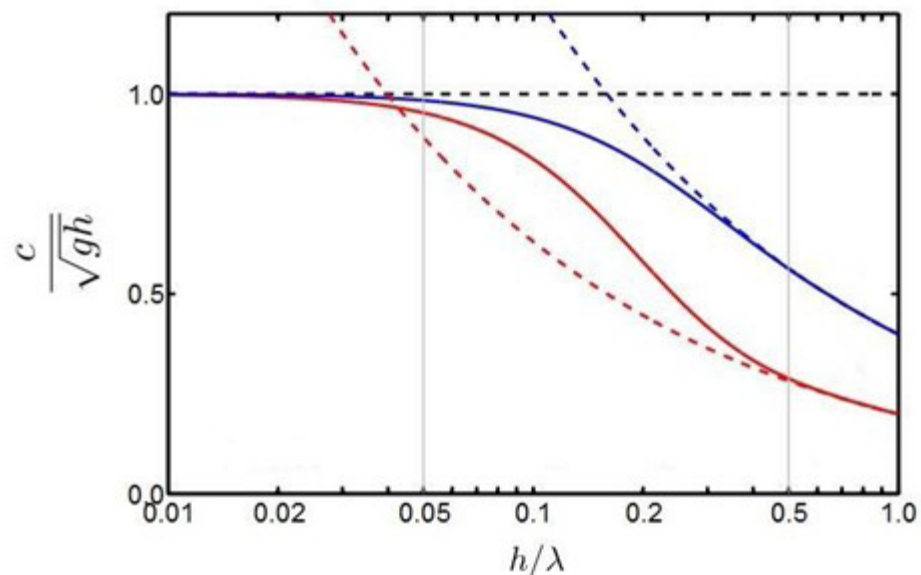
$$\omega = \sqrt{gk}$$

$$c_f = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{g\lambda}$$

Relacija se lako prepisuje (jedno deljenje sa \sqrt{h}) u sledećem bezdimenzionom obliku zgodnom za analizu ograničenja predstavljenog modela (i prikazanog grafika). Dubinu h koristimo kao relevantnu skalu

kojom merimo dužinu, a koja istovremeno i određuje granice važenja aproksimacije o dubokoj vodi:

$$\frac{c_f}{\sqrt{gh}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\frac{h}{\lambda}\right)^{-1/2}$$



Disperziona relacija za talase na površini vode kao zavisnost fazne (grupne) brzine od talasne dužine. Oblast od interesovanja za nas je krajnja desna oblast, oblast talasa u dubokoj vodi. Plave krive odnose se na faznu brzinu, a crvene na grupnu (ohrabrujem čitaocce da pronađu grupnu brzinu za dobijenu disperzionu relaciju). Isprekidane krive predstavljaju predviđanje naše teorije talasa u dubokoj vodi, dok su pune dobijene potpunijom analizom. Primitimo da aproksimacija talasa u dubokoj vodi važi već za dubine reda jedne talasne dužine.

Naravno, svaki rezultat ima ograničenja, i ne možemo očekivati da ovakva disperziona relacija važi za sve talasne dužine. Pre svega, pri određivanju oblika talasa, pretpostavljali smo beskonačnu dubinu, pri tome zapravo smatrajući da je talasna dužina mnogo manja od neke realne dubine (uzimali smo limes $ky \rightarrow \infty$). Drugačija pretpostavka uključivala bi i drugo rešenje Laplasove jednačine i tada bismo zapravo posmatrali teoriju tzv. talasa u plitkoj vodi (*shallow water waves*) čije se osobine značajno razlikuju (za zainteresovane, fizika cunamija). Sa druge strane, ako odemo na dovoljno male talasne dužine (skale), gravitacija više nije dominantna sila, već to na površini postaje površinski napon i odgovarajući talasi se zovu *capillary waves*. U stvari, ne postoji jasna granica kada gravitacija, odnosno i površinski napon postaju dominantni, pa imamo gladak prelaz koji je teže analizirati. Možda je najbolje upravo na ovom mestu ostaviti i jedan Fejnmanov citat:

...[water waves] that are easily seen by everyone and which are usually used as an example of waves in elementary courses [...] are the worst possible example [...]; they have all the complications that waves can have.

Ako mogu skromno da dodam, ipak, razmatranje talasa na vodi nosi neko posebno zadovoljstvo, upravo zbog toga što su nam tako poznati.

Drugi zanimljiv rezultat koji smo dobili krije se u imaginarnoj jedinici koja stoji u odnosu amplituda polja brzine i polja pomeraja površine talasa. Ovo i prevodi se kao fazna razlika od $\pi/2$ između talasa brzine i talasa vertikalnog pomeraja. Rezultat je zapravo vrlo očekivan, kinetička energija čestice pretvara se u potencijalnu i obrnuto tokom talasanja, tako da čestica na vrhu talasa ima brzinu nula (njenu y komponentu bar), a u trenutku prolaska kroz ravnotežni položaj, brzina joj je maksimalna.

Fizički najteži deo priče o patki i brodu smo upravo prešli pri uvođenju mnogih aproksimacija koje su nam omogućile razmatranje talasa u dubokoj vodi, nadalje će svi koraci biti vrlo jasni, samo ih se treba setiti. Preporučujem pauzu, neki topli napitak, i pripremu za podosta Beselovih funkcija.

Kamenčić je bačen

Naoružani jednačinama iz razmatranja ravnog monohromatskog talasa, tačnije teorijom talasa u dubokoj vodi, možemo se pozabaviti problemom koji je deo našeg svakodnevnog iskustva - šta se dešava kada bacimo kamen u mirnu vodu, kako opisati te lepe kružne talase koji nas lako općine. Za pojavu koja se čini tako pravilnom, očekujemo i neko vrlo zgodno matematičko rešenje. A neobičnim, ili zapravo vrlo običnim slučajem, rešenje ovog problema dovešće nas na korak do priče o patki i brodu.



Pre nego što krenu kapati formule, treba se zapitati da li naša teorija talasa u dubokoj vodi zaista opisuje talase koji nastaju bacanjem kamenčića u vodu. Naravno, ne možemo očekivati da se prvih nekoliko ludih valova u blizini kamena ponašaju na linearan način, i njih svakako nećemo opisivati, ali realtivno male talasne dužine talasa koji nastaju, dovode do pitanja da li smemo zanemariti efekat površinskog napona. Pitanje je vrlo nezgodno, i u suštini se svodi na pitanje kada to gravitacija nadvladava površinski napon vode, kada je površina vode skoro sfera, a kada skoro ravan. I iz iskustva znamo da površinski napon uspeva da održi skoro sferni oblik samo za male kapi (do nekoliko milimetara). I ovo bi bila skala koja bi nam određivala talasnu dužinu ispod koje naša teorija definitivno ne važi. Za nešto kao što je bačeni kamen, talasne dužine su za red veličine veće, i premda efekti površinskog napona postoje, možemo prilično sigurno tvrditi da će gravitacija voditi glavnu reč. Pitanje kišnih kapi koje padaju na površinu vode je već vrlo na granici, mada bismo mogli tvrditi da velike i brze kapi spadaju u naš slučaj. Talasi koji nastaju kretanjem vodenog pauka, pak, zasigurno su kapilarni (uostalom, vodeni pauk se i održava na površini pomoću površinskog napona vode).



Perturbaciju koju kamen unosi pri udaru u vodu možemo najjednostavnije modelirati izmeštanjem određene zapremine vode (kao da kamen samo potopimo, sačekamo da se površina smiri i zatim ga jako brzo i spretno maknemo tako da ne damo česticama vode početnu brzinu - da bi matematika bila lakša fizičar može sebi dati i poneku kung fu moć). Ovaj granični uslov ne odgovara sasvim realnom slučaju u kome bi, pored izmeštanja vode, čestice dobile i početnu brzinu (imali bismo mešovite granične uslove), ali je dovoljno jednostavan model, i pri tome će osnovni rezultati koje želimo dobiti i koji se odnose na ponašanje nakon nekoliko početnih burnih valova biti dosta nezavisni od tačnog oblika pobude. Kao dodatno pojednostavljenje, uzećemo da je kamen cilindar visine a i poluprečnika r_0 , da bismo očuvali cilindričnu simetriju problema. Za veliko jezero, dovoljno je dobro da se kamen predstavi i tačkom (ali ne uvodimo delta funkcije gde nam ne trebaju), i njegov tačan oblik nije važan, a nije pre svega važan za naša razmatranja osobina koje ne zavise od tačnog oblika pobude. Dakle, početni granični uslovi (zgodno je sve uslove zvati graničnim) zapisani na jeziku polja kojima opisujemo talasanje fluida su:

$$\Phi(0, r, \phi, y) = 0$$

$$h(0, r, \phi) = \begin{cases} a, & r \leq r_0 \\ 0, & r > r_0 \end{cases}$$

Rešavanje parcijalne diferencijalne jednačine sa zadatim graničnim uslovima jednostavno je ako imamo bazis njenih rešenja po kome možemo raspisati proizvoljno rešenje. Pogodan bazis za slučaj pobude ovog tipa dobio bi se rešavanjem skupa jednačina za talas u dubokoj vodi u cilindričnim koordinatama. Problem je jednostavan nakon što smo već razmotrili fiziku. Jednačine su:

$$\nabla^2 \Phi = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} \Big|_{y=0} = -gh$$

$$-\frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

Dok su talasi koje tražimo oblika:

$$\Phi = g_1(r) e^{-i\omega t} f(y)$$

$$h = g_2(r) e^{-i\omega t}$$

Ovi talasi su monohromatski, a prostorni oblik odrediće Laplasova jednačina. Najgeneralniji bazis sadržao bi zavisnost od ϕ koordinate, ali nama on nije potreban zbog simetričnog oblika pobude (uostalom, tu zavisnost ne vidimo kada bacimo kamen osim za početne valove). Jedina jednačina koju treba prepisati u cilindričnim koordinatama je Laplasova:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0$$

Rešavanje zatim teče razdvajanjem promenljivih i svodenjem na Beselovu jednačinu, što je postupak koji smo svi dovoljno uvežbali. Rešenje je:

$$\Phi = A J_0(kr) e^{-i\omega t} e^{-ky}$$

J_0 je Beselova funkcija. Talasi su stacionarni (ne prostiru se), no potrebni su nam samo kao bazis, i njihovim linearnim kombinacijama dobijaju se propagirajući cilindrični talasi. Pri rešavanju je korišćen granični uslov o nultoj brzini fluida na velikim dubinama. Iz preostalih jednačina istim postupkom kao za ravan monohromatski talas dobija se za polje vertikalnog pomeraja površine:

$$h = i \frac{\omega}{g} J_0(kr) e^{-i\omega t} = B J_0(kr) e^{-i\omega t}$$

Dakle, fazna razlika je i u ovom slučaju $\pi/2$, a dobija se i uslov koji daje istu disprezionu relaciju, $\omega = \sqrt{gk}$. Sada kada imamo bazis, možemo naći evoluciju oblika površine nakon naše pobude. Naime, možemo za $t = 0$ razviti pobudu u Furije-Beselov integral (suma po nađenom bazisu, pri čemu je indeks po kome se sumira talasni broj):

$$h(0, r) = \int_0^\infty g(k) J_0(kr) k dk$$

Funkcije $g(k)$ su koeficijenti u razvoju. Korišćenjem sledećih relacija ortogonalnosti:

$$\int_0^\infty J_0(kr) J_0(k'r) r dr = \frac{1}{k} \delta(k - k'),$$

dobija se za razvoj pobude u Furije-Beselov integral:

$$g(k) = \frac{1}{k} \int_0^{\infty} h(0, \zeta) J_0(k\zeta) \zeta d\zeta$$

$$h(0, r) = \int_0^{\infty} dk J_0(kr) \int_0^{\infty} \zeta d\zeta h(0, \zeta) J_0(k\zeta)$$

Za našu pobudu je:

$$h(0, r) = a \int_0^{\infty} dk J_0(kr) \int_0^{r_0} \zeta d\zeta J_0(k\zeta) = ar_0 \int_0^{\infty} dk J_0(kr) J_1(kr_0) e^{-i\sqrt{gkt}},$$

pri čemu je korišćena relacija $\int_0^{r_0} J_0(r) r dr = r_0 J_1(r_0)$. Iz linearnosti sledi vremenska evolucija. Za $h(0, r) = J_0(kr)$ je $h(t, r) = J_0(kr) e^{-i\omega t}$ prema nađenom rešenju, a svaka monohromatska komponenta evoluira nezavisno, budući da su jednačine linearne:

$$h(0, r) = a \int_0^{\infty} dk J_0(kr) \int_0^{r_0} \zeta d\zeta J_0(k\zeta) = ar_0 \int_0^{\infty} dk J_0(kr) J_1(kr_0) e^{-i\sqrt{gkt}},$$

Ovim je problem matematički sasvim rešen, ali za fizičko tumačenje, rešenje je u ovom obliku gotovo beskorisno. Jednostavan način prevazilaženja ovog problema bilo bi numeričko integraljenje. Drugi se čini krajnje nedirektan, i uz to podrazumeva dalje aproksimacije, ali mi ćemo razmotriti upravo njega, jer je metod koji stoji iza toga puta mnogo pametniji nego što naš konkretan problem zahteva, i osnova je važnih aproksimacija u različitim oblastima fizike. Za početak, iskoristićemo još identitet koji nam omogućava da izraz svedemo na pogodan oblik za korišćenje tog metoda, sledeći razvoj Beselove funkcije $J_0(r) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e^{ir \cos \zeta} d\zeta$:

$$h(t, r) = \frac{ar_0}{\pi} \int_0^{\pi} d\zeta \int_0^{\infty} dk J_1(kr_0) e^{i(rcos\zeta - \sqrt{gkt})}$$

Teško je naizgled reći šta smo ovime dobili. No, sada, u trenutku koji ne izgleda obećavajuće i u kome se ni patka, a ni brod ne naziru, zadržaću čitaoce do sledećeg broja, koji će, nadam se, biti u opipljivom formatu. Izvinjenje nestrpljivima.



I malo motivacije.

Za čitanje i uživanje

Nemojte misliti o piscu ovog teksta kao o autoru, već samo kao o svršenom studentu ovog fakulteta koji je želeo podeliti jedno zanimljivo pročitano saznanje s Vama. Vrednim praćenjem autorskih prava, verujem da bismo došli do Kelvina, a za izuzetno jasno i uzbudljivo predstavljanje zahvalnost ide pre svih još jednom poznatom imenu: Zomerfeld. No, za sada ću samo to reći. Prava lista literature nakon što patka zapliva u sledećem broju.

Autor: Milan Kornjača, doktorant na Univerzitetu u Ajovi, SAD

PUT KROZ VREME - ZA POČETNIKE

Egzotične turističke destinacije Vam nisu dovoljno interesantne? Žudite za avanturama koje se graniče sa moći ljudske mašte? Muče Vas greške iz prošlosti? Želite da premotate dosadan period života ili se jednostavno osećate klaustrofobično zaglavljani u sadašnjosti? Nema problema! „Potprostor radoznalosti“ je za finale trilogije o prostor-vremenu pripremio priručnik za sve ambiciozne putnike-kroz-vreme amatere koji će Vam pomoći u prvim koracima kroz istoriju... u bilo kom smeru.

Putovanje kroz vreme je ideja koja vekovima unazad intrigira ljudski um i koja je temelj nekih od najboljih naučno-fantastičnih ostvarenja čovečanstva. Podstiče nas da priželjkujemo sposobnost da pritiskom na dugme proživimo ili čak izmenimo neke stare događaje ili da zavirimo u to šta nas čeka u budućnosti, te je sasvim prirodno što je najčešće pitanje kada se o ovome govori zapravo: „Da li je putovanje kroz vreme uopšte moguće?“, a odgovor je jednostavan... Jeste! Ovo je ustvari toliko očigledna činjenica da je vrlo često zanemarujemo, ali istina je da svi mi zapravo putujemo kroz vreme i to veoma konstantnom brzinom od 1 sekunde po sekundi i to ka budućnosti.

U redu, da... vreme teče ka budućnosti i nosi sve nas sa sobom, ili bar deluje da je tako (*o tome da li vreme stvarno teče ili je to iluzija ljudskog mozga i zašto je strela vremena usmerena ka budućnosti možete više pročitati u br.2 „Fizisa“ iz novembra 2020.*). Međutim, Ajnštajnova Opšta teorija relativnosti vreme ne tretira kao protočni entitet već kao ravnopravnu četvrtu koordinatu veoma savitljivog

prostor-vremena, a baš ta sposobnost prostora i vremena da se krive otvara mogućnost onoga što nas stvarno zanima - putovanje u prošlost i prečica do budućnosti!

Kao i na Zemlji, ukoliko želite da putujete kroz vreme, morate poznavati zakone i pravila koji uređuju to putovanje. Stoga i ovaj priručnik, baš kao i svaka druga priča o prostor-vremenu počinje vrhovnim zakonom po kom se prostor i vreme i sve u njemu ponašaju - Ajnštajnovom jednačinom - a ona nam u ovom slučaju kaže da je putovanje kroz vreme dozvoljeno! Tačnije, ne kaže nam da je zabranjeno, što je za nas sasvim dovoljno da istražimo na koje sve načine možemo da (zlo)upotrebimo ovu „rupu“ u zakonu.

1. Metoda - Specijal u jednom smeru:

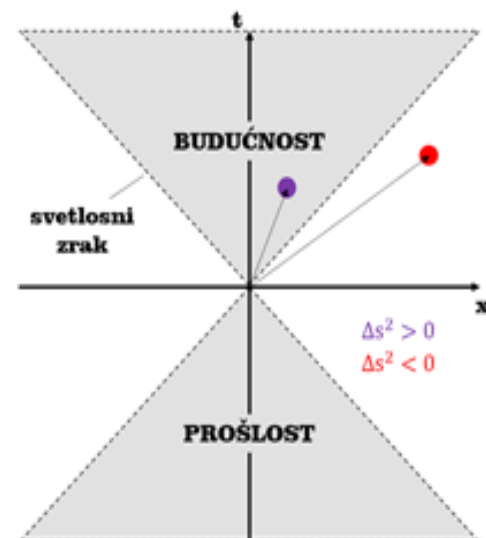
Ova metoda je idealna za početnike jer ne zahteva ništa više od Specijalne teorije relativnosti. Da se podsetimo, STR nam kaže da je brzina svetlosti univerzalna konstanta prirode i da je ista u svim referentnim sistemima. Posledica ovoga nije samo komplikovana matematika kojom se muče maturanti gimnazija već i vrlo realan efekat kontrakcije dužina i dilatacije vremena za različite posmatrače. To znači da će vremenski intervali za dva različita posmatrača biti izduženi ili sabijeni u zavisnosti od njihove relativne brzine, odnosno, nepokretnom posmatraču će vreme proticati mnogo brže od onog

koji se za njega kreće.

Nabavite svemirski brod koji može da se kreće brzinama bliskim brzini svetlosti, analizirajte ovaj efekat sada iz Vašeg referentnog sistema, rešite čuveni „paradoks blizanaca“ na koji ćete neminovno naleteti i spremni ste za skok u budućnost u jednom smeru! Sve što je potrebno jeste da putujete neko vreme kroz svemir jako velikom brzinom i pri povratku na Zemlju primetićete da je Zemljanima prošlo mnogo više vremena nego Vama. Tehnički, uz odgovarajuću brzinu, za Vaših godinu dana puta, na Zemlji mogu da proteknu hiljade godina! Međutim, ovo je isključivo put u budućnost samo mnogo većim tempom od ostalih na Zemlji, ili gde god da živite, i ne uključuje mogućnost povratka. Zbog toga, ukoliko ne želite da skočite u budućnost i shvatite da je civilizacija potpuno iščezla, preporučujemo oprez!

2. Metoda - Imaginarni paradoks:

Ukoliko Vam ideja o putu bez mogućnosti povratka ne deluje privlačno, a ne želite da izlazite iz zone komfora Specijalne teorije relativnosti, sledeća metoda je idealna za Vas! Gledano striktno matematički, putovanje u prošlost korišćenjem prethodne metode nije nemoguće. Pažljivom navigacijom kroz prostorno-vremenske dijagrame Minkovskog možemo naći rute kojima putnik-kroz-vreme može stići nazad na mesto polaska i to u vreme pre nego što je uopšte krenuo! Jedini „problem“ je to što svaka takva ruta zahteva da se u nekom delu putovanja putnik kreće brzinom većom od brzine svetlosti. Nažalost, fizika nam kaže da je brzina svetlosti dostižna samo objektima (česticama) bez mase, a svaki putnik koji ima *realnu* masu je ne može dostići jer bi mu za to bila potrebna beskonačna energija.



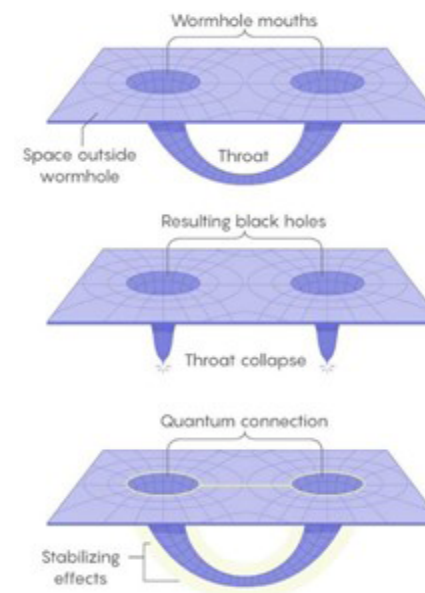
Međutim i u ovom zakonu postoji „rupa“. Ukoliko bi putnik imao čisto *imaginarnu masu*, primera radi 70i kilograma, onda bi pravilo bilo obrnuto - morao bi da se kreće isključivo brže od brzine svetlosti! Hipotetičke čestice koje imaju imaginarnu masu i kreću se brže od svetlosti se zovu **tahioni**, i nažalost, još uvek ih nismo detektovali. Dakle, ukoliko ste dobar navigator u prostoru Minkovskog i negde na galaktičkom crnom tržištu uspete da nabavite imaginarne tahionske pilule, pravilno temperiranim dozama i dobro isplaniranom rutom možete da se vratite u prošlost i ispratite sami sebe na put sa kog ste se upravo vratili.

Metoda 3 - Crvotočine:

„Napokon!“, verovatno mislite sada u sebi, „Konačno deo iz naučne fantastike koji svi volimo!“ Međutim, verovatno već slutite, ova naučna fantastika će upravo postati još fantastičnija.

Metoda koju ćemo Vam sada predstaviti zahteva određenu količinu prostorno-vremenske zrelosti i iskustva u arhitekturi i građevini Opšte teorije relativnosti te nije preporučljiva putnicima-kroz-vreme početnicima. Do sada nam je poznato da je prostor-vreme savitljiva podloga na kojoj se odvijaju događaji u univerzumu i da je prisustvo mase (odnosno energije) ono što je krivi i savija. Upravo zato možemo „iskriviti“ vreme na takav način da spontano „skliznemo“ u neki prošli trenutak, a to se može postići **crvotočinama**.

Crvotočina je hipotetički objekat koji nastaje intenzivnim krivljenjem prostor-vremena u dva različita dela univerzuma. Ovakvo intenzivno zakrivljenje stvaraju veoma masivni objekti poput crnih rupa koje maltene doslovno prave „rupu“ u tkanju prostor-vremena. Međutim, dva tako savijena dela prostor-vremena u teoriji mogu da se spoje svojim „udubljenim“ krajevima i na taj način naprave prečicu između dve jako udaljene tačke u prostoru ali i vremenu! Ali kako od crvotočine napraviti vremeplov?



Pre svega potrebno je izgraditi crvotočinu odgovarajućih osobina - dovoljno veliku kako bi se kroz nju prošlo, ali najbitnije od svega, stabilnu. Ovde dolazi do izražaja putnikova arhitektonska sposobnost jer što je veća crvotočina, to je nestabilnija, odnosno njeni krajevi se jako brzo po otvaranju urušavaju u dve odvojene crne rupe. Dakle, neophodno je držati crvotočinu otvorenom jer niko ne želi da mu gravitacija obruši prostor i vreme na glavu dok prolazi kroz tunele realnosti... Da bi se to postiglo, potrebno je kontrirati gravitaciji, a idealno sredstvo koje Vam preporučujemo u ovom priručniku jeste **egzotična materija** koja se pokazala kao idealan proizvod naših teorija u izgradnji egzotičnih objekata.

Egzotična materija je naziv za hipotetičku materiju koja ima negativne realne vrednosti mase. Ona bi bila odlično rešenje za stabilizaciju crvotočine jer nam je za taj poduhvat zapravo potrebna negativna gustina energije, a kako je $E = mc^2$, ostalo je očigledno. Za razliku od imaginarne mase koja je za sad... pa... imaginarna, negativna masa (energija) ne deluje toliko nedostižno. Naime, fizičari spekuliraju da je negativna energija upravo ono što se na jako malim skalama stvara prilikom Kazimirovog efekta, ali to ćemo Vam ostaviti da sami istražite. Takođe, egzotična materija bi u teoriji mogla da se koristi u konstrukciji svemirskog broda koji bi mogao da putuje brže od svetlosti - Alkubijerijev pogon - što nas vraća na drugu metodu ovog priručnika.

Dakle, ukoliko ste na dovtljiv način uspeali da otvorite i stabilizujete crvotočinu, sve što Vam preostaje jeste da jedan kraj fiksirate a drugi rotirate oko njega brzinama bliskim brzini svetlosti. Na taj način će stacionarni kraj biti u „sadašnjosti“, ali će drugi kraj biti u „prošlosti“ čime se formira stabilan portal između dva vremenska trenutka. Ukoliko Vam ovo pođe za rukom, svakako Vas molimo da se javite redakciji časopisa „Fizis“ iz kog god vremena da dolazite.

4. Metoda - Petlje u tkanju Univerzuma:

Poslednja metoda koju ćemo Vam predstaviti je idealna za one kojima samo treba više vremena da obave neki posao. Naime, ovom metodom ćete putovati kroz vreme, ali samo u krug. Jedan od načina da se ovo postigne je **Tiplerov cilindar**, cilindar beskonačne dužine i jako velike gustine koji rotira velikim brzinama. Unutar ovakvog cilindra je moguće formirati putanje kroz prostor-vreme koje imaju oblik petlje, odnosno kojima se vraćate na mesto i u trenutak na kojem ste i ušli u petlju. Još jedan način da uđete u ovakvu petlju jesu Kerove crne rupe o kojima je bilo reči u prethodnom „Potprostoru radoznalosti“.

Tehnički gledano, za Vas vreme provedeno u petlji teče, a na kraju se vraćate u trenutak iz kog ste krenuli. Dakle, ukoliko ste nekada poželili da vam dan traje duže ili da imate malo više vremena da spremite ispit ili uradite svoj posao, ovakve petlje su savršeno rešenje. Uđete u nju, provedete vreme u petlji radeći i vratite se u isti vremenski trenutak. Međutim, ne garantujemo da će i posao koji ste radili ostati urađen u trenutku kada izađete iz petlje.

Koju god od navedenih metoda da odaberete shvatićete da je na ovaj ili onaj način ipak možda bolje da ostanete tu gde ste i sada kada ste. Iako naša mašta priželjkuje mogućnost putovanja kroz vreme, a teorije ga fundamentalno ne brane, naš razum ipak ima problem sa ovim konceptom. Neki fizičari tvrde da još uvek nismo otkrili zakon koji nam brani put kroz vreme ali da on postoji, drugi se ne slažu sa tim, a veliki Stiven Hoking je rekao da priroda funkcioniše tako što brani put kroz vreme samo ukoliko konkretno putovanje izaziva paradokse. I baš ti paradoksi koji mogu biti posledica putovanja kroz vreme još uvek zadaju glavobolje fizičarima, i dok ih ne rešimo, predstavljaju rampu kauzalnosti na našim putničkim rutama kroz vreme.

Autor: Jovan Mitić, student FF

ZAUŠTAVI GA AKO MOŽEŠ!

U ovom prazničnom dvobroju, „Potprostor radoznalosti“ Vam je pored poslednjeg dela trilogije o prostor-vremenu pripremio i uvod u novu trilogiju o računarstvu i kvantnim kompjuterima! Pred Vama je priča o slučajnom rođenju potpuno neočekivanog potomka matematike koji će zauvek promeniti naše shvatanje logike, pristup nauci, ali i društvo u svim njegovim aspektima - računarstvu (eng. computer science) i kompjuteru kao njenom otelotvorenju.

Priča počinje sada već davne 1928. godine kada je izvanredni matematičar Dejvid Hilbert, veoma dobro poznat fizičarima po „svom prostoru“, odlučio da izvede monumentalni poduhvat izgradnje i utemeljenja čitave jedne intelektualne oblasti. To ne bi bila tako velika stvar da oblast o kojoj govorimo nije čitava matematika! Naime, do tog trenutka, matematika je bila poprilično nedefinisana. Platon je tvrdio da brojevi i oblici postoje u idealizovanom svetu formi, dok je nešto moderniji Kantov pristup bio da je matematika mentalni konstrukt zasnovan na intuiciji. Međutim, Hilbertu se nijedna od ovih ideja nije dopadala. Prva je previše mistična dok je problem sa intuicijom taj što može da nas zavara (sama činjenica da postoji paradoks kao pojam je dovoljna).

Ono što je Hilbertu najviše smetalo jeste postojanje različitih tumačenja matematike, koja za razliku od svih drugih nauka koje su više-manje podložne interpretiranju, mora biti jednoznačna i predstavljati oličenje izvesnosti i sigurnosti. Stoga, Hilbert je odlučio da **aksiomatizuje** celu matematiku, odnosno da je tretira kao čisto formalni sistem. Formalni sistem je skup elemenata koji se ponašaju prema zadatim pravilima i koji van tih pravila nemaju apsolutno nikakvo značenje, a to je ključno kako bi se eliminisala potreba za interpretiranjem. Na ovaj način bi se ustanovio temelj (skup fundamentalnih aksioma) na kojem bi cela matematika mogla da se podigne od nule. Međutim, u srži ovog problema su se našla tri zahteva koja moraju biti ispunjena kako bi novi matematički sistem zaista bio fundamentalan. To su:

- 1. Konzistentnost** - ne sme da postoji nijedna kontradikcija koja može biti dokazana unutar sistema.
- 2. Kompletnost** - postojanje dokaza da sva matematička tvrđenja koja postoje unutar sistema mogu biti dokazana unutar sistema.
- 3. Odlučivost** - postojanje *efikasne procedure* kojom se može utvrditi tačnost bilo kog matematičkog tvrđenja unutar sistema.

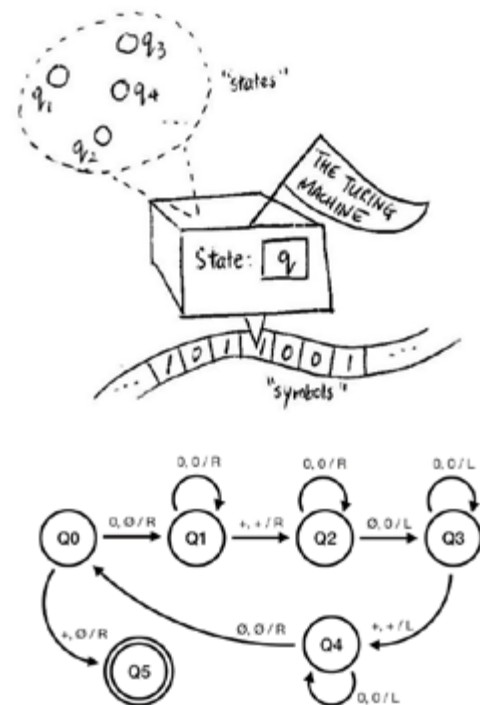
Hilbert je uspeo da se izbori sa prva dva zahteva i dokaže njihovu ispunjenost, ali rešenje trećeg zahteva će biti poduhvat, tada mladog genijalca, Alana Tjuringa koji je bio opsednut pitanjem da li takva efikasna procedura postoji. Međutim, Tjuring je uočio suštinski problem u ovom pitanju, a to je: „Šta je uopšte efikasna procedura?“ Sa današnjeg stanovišta, odgovor je jednostavan. „Efikasna procedura“ je algoritam, odnosno niz instrukcija koje se mogu pratiti bez razmišljanja ili intuicije. Ipak, ideja algoritma je 30ih godina prošlog veka i dalje bila nejasna i loše definisana, ali se i tada zasnivala na konceptu kompjutera, odnosno računara koji su u to vreme bili nešto potpuno drugačije.

Naime, kompjuter ili računar je bio naziv zanimanja kojim su se bavile najčešće žene i koje je podrazumevalo da dobiju listu brojeva, instrukcije šta da rade sa tim brojevima i da računaju. Ovo je bio jedini način da se izvedu numerički proračuni gde je potrebno ponoviti identičan i jednostavan račun hiljadama puta. Tjuringova opsesija odnosom čoveka i mašine (zbog koje je i nastao čuveni Tjuringov test veštačke inteligencije) ga je dovela do izuzetne ideje inspirisane konceptom računara. Tjuring je odlučio da pojam „efikasne procedure“ sam definiše!

„Efikasna procedura“ je prema Tjuringovoj definiciji **svaki postupak koji ljudski računar može da izvede prateći instrukcije bez ikakvog razmišljanja**. Shvatio je da se svaki takav postupak sastoji iz četiri koraka - čitanja instrukcija, upisivanja brojeva na papir prema instrukcijama, eventualnom brisanju i upisivanju novih vrednosti i na kraju prestanku rada ukoliko je postupak gotov. Ovo je bio temelj za sledeću stvar koju je Tjuring genijalno uvideo, a to je činjenica da svaki korak ovakvog postupka može da ispuni krajnje jednostavna hipotetička mašina!

Zamenimo parče papira beskonačno dugačkom trakom sa kućicama za brojeve i neka mašina ima skener kojim čita broj i alat za upisivanje i brisanje (tehnički detalji kako se ovakva mašina pravi nisu bitni, važno je samo da je takav uređaj moguće napraviti u teoriji, ali i u praksi sa kasnijim razvojem tehnologije). Mašina radi korak po korak gde u svakom koraku izvršava niz od 4 prethodno navedene radnje.

Ovakav koncept ostavlja još pitanje toga kako mašina zna koje instrukcije treba da prati. Tjuring je analizirao proces rada ljudskih računara i shvatio da se primanje i izvršavanje instrukcija može modelovati tzv. „stanjima uma“ koje je kao ideju direktno preneo na hipotetičku mašinu koja može da bude u različitim stanjima. Svako stanje u kom se mašina trenutno nalazi odgovara tome u kakvom je stanju bila u prethodnom koraku i kakvu je vrednost očitala u prethodnom koraku - dakle, radi rekurzivno na nekoj unapred zadatoj „tablici stanja“. Prelaskom iz stanja u stanje tako što se ispituje neki uslov, a zatim na osnovu ispunjenosti uslova izvršava instrukcija karakteristična za to stanje i uslov, mašina izvršava operaciju, a ovakva procedura se zove **algoritam**. Pažljivim i pametnim dizajniranjem „tablice stanja“ i uslova, može se postići da mašina spontano odradi operaciju kakvu želimo, odnosno, na taj način **programiramo** mašinu.



Primer Tjuringove mašine sa „tablicom stanja“

Ipak, Tjuring je odmah shvatio da bi za dve različite operacije trebalo imati dve različite mašine sa drugačijim programima (odnosno „tablicama stanja“) u sebi. Na primer, mašina za sabiranje i mašina za množenje bi morala da budu dva različita uređaja. Ali Alan Tjuring ne bi bio Alan Tjuring da odmah nije rešio problem koji je sam postavio i to ponovo na genijalan način!

Tjuringova genijalnost se ogleda baš u tome što je ponovo uočio izvanrednu stvar! Naime, posmatrajući različite algoritme, shvatio je da svaki algoritam može da se napiše u obliku nula i jedinica. Na taj način nije potrebno imati puno mašina sa unapred definisanim algoritmima, već jednu mašinu kojoj se može uneti odgovarajući algoritam sa setom zadataka po potrebi. Ovaj trenutak predstavlja rođenje koncepta prvog **programabilnog računara**! Ovakva mašina se zove **Tjuringova mašina** i bez obzira na njenu relativnu jednostavnost, u stanju je da izvede *svaki postupak koji ljudski računar može da izvede prateći instrukcije bez ikakvog razmišljanja*.

Sada možemo jednoznačno da definišemo „Efikasnu proceduru“ kao **svaki postupak koji Tjuringova mašina može da uradi u konačnom vremenskom intervalu** i definišemo uslov odlučivosti matematike kao postojanje Tjuringove mašine kojom se može utvrditi tačnost bilo kog matematičkog tvrđenja unutar sistema. Još jedan u nizu briljantnih momenata Alana Tjuringa u ovoj priči je način na koji je preformulisao ovaj uslov. Naime, Tjuring je shvatio da bi potpuno ekvivalentan način da se definiše uslov odlučivosti bio odgovor na pitanje: **„Da li je uvek moguće napraviti program koji će nam reći da li neki drugi program može da dođe do rezultata i zaustavi se ili bi morao da radi beskonačno dugo i ne zaustavi se?“**

Ovo je glavno pitanje koje opisuje takozvani **„problem zaustavljanja“** (eng. *halting problem*) koji je u suštini ekvivalentan pitanju da li je matematika odlučiva!

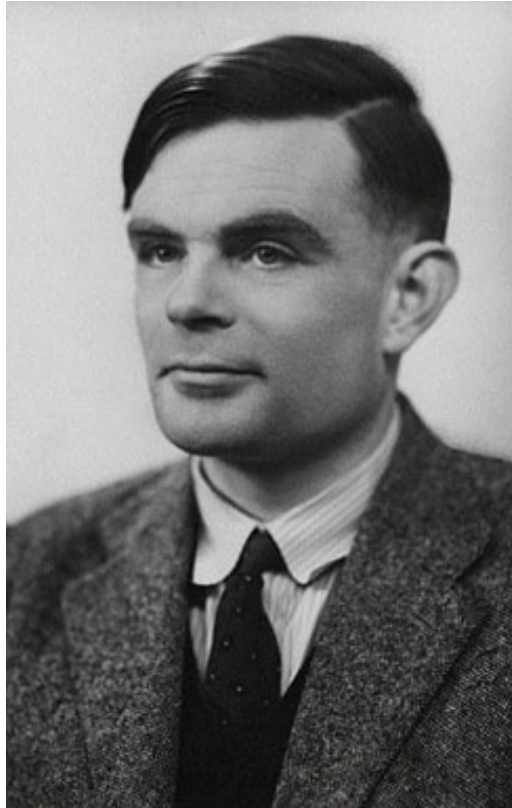
Kao što smo već ranije napomenuli, program je niz instrukcija kojima se vrše određene operacije (obrada) na *ulaznim parametrima* i koji kao rezultat izbacuje obrađene podatke kao *izlazne parametre*. Ulazni parametri mogu biti razni objekti poput brojeva, teksta i slično, ali je interesantan slučaj kada za ulazni parametar nekog programa uzmemo neki drugi program. Ovo je situacija od važnosti za rešavanje „problema zaustavljanja“, a Tjuringovo rešenje je sledeće...

Pretpostavimo da je odgovor na ovaj problem pozitivan, to jest da je uvek moguće napraviti program koji će kao ulaz imati neki drugi program i koji će nam reći da li taj drugi program radi u nedogled ili se izvršava (zaustavlja) u konačnom vremenu. Ovaj program ćemo nazvati **Prorok**. Ukoliko postoji Prorok program, onda se bez problema može napraviti njemu inverzan program **Kontra** koji za ulaz uzima rezultat Proroka i kao izlaz menja svoj algoritam tako da bude suprotan od onoga kako se ponaša analizirani program X. Na primer, ako Prorok otkrije da neki program X staje, Kontra se reprogramira tako da ne staje.

Za sada sve deluje sasvim normalno. Imamo nekoliko programa koji su jedni drugima ulaz i koji se analiziraju međusobno. Prorok analizira proizvoljan program X i uvek zna da li će X moći da se izvrši ili ne, dok Kontra uzima Prorokovu predikciju i na osnovu nje menja svoje ponašanje da bude suprotno od programa X.

Međutim, šta se dešava ako za proizvoljan program X izaberemo baš Kontru? U tom slučaju Prorok može da ustanovi da se Kontra npr. ne zaustavlja. Kontra onda uzima ovaj rezultat i reprogramira se tako da se zaustavlja. Ali onda Prorok zna unapred da se Kontra zaustavlja što dovodi do toga da se

Kontra reprogramira da se ne zaustavlja i tako u krug. Ovime se formira kontradikcija sa početnom pretpostavkom jer Kontra ne može da bude u oba stanja istovremeno, odnosno zaključujemo da Prorok **ne može da postoji!** Ovime nismo samo pokazali da je odgovor na „problem zaustavljanja“ negativan, već je time jednoznačno dokazano da **matematika nije odlučiva** i da temelj kakav je Hilbert zamislio, ne može da funkcioniše!



Alan Turing

Tjuringov dokaz nije samo doprineo dubljem razumevanju suštine matematike i rešio jedan od bitnijih fundamentalnih problema cele discipline, već je kao alat za takav dokaz stvorio koncept koji će postati jedna od glavnih naučnih i tehnoloških tekovina 20. veka - računarstvo i računare! Ovime je nadahuta cela plejada matematičara i fizičara da se bave problemima računanja, šta je moguće a šta nemoguće računati i kako primeniti ovu metodu u drugim naukama. Vrlo brzo usled tehnološkog razvoja, Tjuringova ideja o nulama i jedinicama je dovela do prvih elektro-mehaničkih računara koji su ubrzo zamenjeni potpuno digitalnim uređajima, ali koji u suštini i dan danas rade potpuno isto što su stotine ljudi, najčešće žena, radile mesecima. Na taj način su teorijske Tjuringove mašine postale današnji kompjuteri, a matematičari i fizičari zainteresovani za ovu oblast tzv. kompjuterski naučnici (*eng. Computer scientists*). Tjuringov model je i dan danas najbolji model računarstva koji imamo. On nam omogućuje da uz dovoljno računarske moći uradimo puno i dobijemo mnogo, ali nam takođe pokazuje da fundamentalno ne možemo uraditi i dobiti sve bez obzira na računarsku moć naših mašina.

Ipak, setite se da je glavni razlog ove nemogućnosti to što Kontra nije mogla da bude istovremeno i u stanju zaustavljanja i nezaustavljanja. A da li je zaista tako? Većini Vas koji imate iskustva sa fizikom će ova ideja o „egzistenciji u više stanja odjednom“ zvučati jako poznato i upravo tu dolazimo do ideje primene kvantne mehanike u računarstvu! Šta ako bitovi u Tjuringovoj mašini ne moraju da budu jedinice i nule već mogu biti u proizvoljnoj superpoziciji ova dva stanja? Da li to znači da „nema problema zaustavljanja“ i da ipak možemo da znamo i izračunamo sve?

Izgleda da je tako, ali i mnogo više! Ovakva kvantna mašina ne samo da bi mogla da reši za sada nerešive probleme, već bi i postojeće rešavala daleko efikasnije, a najlepša stvar od svega je što smo na pragu realizacije ovakvih mašina u praksi. Dame i gospodo, u sledećem broju, Kvantni kompjuteri!

Autor: Jovan Mitić, student FF



ZALUTALA U MATEMATICI: KAKO JE FZIKA SKRENULA SA PUTA?

Dragi čitače,

Pred tobom se nalazi prilagođeni deo mog seminarskog rada koji sam pisala za predmet Kvantna teorijska fizika. Kada sam birala knjigu koju je trebalo pročitati, pažnju mi je privukla upravo knjiga Sabine Hosenfelder (Sabina Hossenfelder). Druge ponuđene knjige su nesumnjivo bile vredne čitanja, ali ova me je odmah privukla zbog tematike. Tokom školovanja za mene je fizika stalno išla ruku pod ruku sa matematikom. Dok mi je bilo vrlo jasno da matematiku tretiramo kao jezik, nije bilo tako očigledno da smo možda postali zaslepljeni lepotom teorija koje smo učili na fakultetu. Da li je svaka fizička teorija koja matematički izražena izgleda lepo, mora da bude istinita?

U potrazi za novim idejama, lepota igra mnoge uloge. Lepota je vodič, nagrada i motivacija. Takođe, lepota je isključiva.

Bez obzira na to kojom oblašću se bave, fizičari na osnovu prethodnog iskustva veruju da teorije moraju biti lepe, elegantne i prirodne. Šta ovo sve može da znači je posebna tema, ali na prvi pogled se vidi da su ovo kriterijumi nastali kao društveni konstrukti. Posledice ovoga navele su autorku da napiše ovu knjigu.

Knjiga Sabine Hosenfelder predstavlja jedan od poziva na uzbunu zbog trenutnog zapečka u kome se nalazi moderna teorijska fizika. Autorka počinje knjigu uvodom u probleme koji trenutno kočice potencijalno revolucionarna otkrića u nauci. Glavni problem su, smatra ona, neobični estetski kriterijumi koje mora da zadovolji moderna naučna teorija. Za razliku od filozofskih kriterijuma koje mora da zadovolji naučna teorija da bi uopšte bila teorija (eksperimentalna proverljivost), moderna fizika zahteva da naučne teorije vredne istraživanja moraju zadovoljiti estetske kriterijume bliske ljudskom rodu.

Kao veliki ljubitelj filozofije, moram priznati da sam naklonjena isključivo logičkim kriterijumima koje naučne teorije treba da zadovolje da bi uopšte bile naučne. Glavni kriterijum u filozofiji je kontinuirana mogućnost testiranja određenih stavova. Onda i samo onda su ti stavovi zapravo naučna teorija. Dalje, naučne teorije nikad nisu dokazane tako što se jednom desilo da **neko dobije (ne)željen rezultat u eksperimentu. Poenta je u kontinuiranom proveravanju, a ne potvrđivanju (ili opovrgavanju) teorije** kojom se bavimo. Nijedna teorija ne može nakon jednog 'pozitivnog testa' da bude

prihvaćena kao aksiom. Aksiomi postoje samo u matematici, a ne u fizici. Ako prihvatimo aksiomatski pristup fizici, onda stupamo na gotovo religiozno tle koje pokušavamo da izbegnemo već vekovima. Ako naučnici dopuste da u fizici postoje aksiomi, onda postaju dogmatici, što je svojstveno isključivo crkvi. Ako bi se fizici pristupalo aksiomatski, ona više ne bi mogla da bude eksperimentalna nauka, barem ne onako kako mi to definišemo.

Na kraju bih se pozabavila strukturom knjige. Autorka se ne bavi formalnim dokazivanjem svoje teze, već nam dopušta da o svemu donesemo sami zaključke zahvaljujući dijalozima koji su izloženi u knjizi. Sabine razgovara sa vodećim imenima mnogih oblasti fizike i verodostojno prenosi sadržaj tih razgovora. Pored toga što možemo sami da dođemo do pojedinih zaključaka, dobili smo priliku da vidimo kako zapravo izgledaju i ponašaju se veliki naučnici modernog doba. Upravo zahvaljujući ovom pristupu autorka je uspeła da nam približi te ljude kao ličnosti, a koje smo dosad viđali smo u naučnim časopisima u kojima su intervjui takvi da često ne možemo da steknemo potpun utisak o osobi koja daje intervju. Pored razgovora sa svetski poznatim licima, uspeali smo da zavirimo u svet u kome autorka radi. U gotovo svakom poglavlju u knjizi izneti su delovi ili čitave celine razgovora sa kolegama i prijateljima fizičarima. Neobično je videti kako izgleda jedan normalan razgovor koji fizičari vode, jer teme deluju tako neobično za svakodnevni razgovor.

U sledećem broju čitaćete o poglavlju posvećenom kvantnoj mehanici. I još ponečemu.

Autor: Irina Ručnov, studentkinja FF

ZAŠTO FIZICI TREBA FILOZOFIJA?

Toliko mnogo ljudi danas, čak i profesionalnih naučnika, meni izgledaju kao neko ko je video hiljade drveća ali nikada nije video šumu. Poznavanje istorijske i filozofske pozadine daje takvu nezavisnost od predrasuda svoje generacije od kojih većina naučnika pati. Ova nezavisnost stvorena filozofskim uvidima je, po mom mišljenju, ono što pravi razliku između običnih zanatlija ili specijalista i istinskog tragača za istinom.

Ajnštajn u pismu Torntonu 7. decembra 1944.

Veliki broj fizičara, posebno onih naklonjenih teorijskom mišljenju, u ovu disciplinu ulazi sa očekivanjem da će spoznati prirodu i suštinu materijalnog sveta oko sebe, i to krajnju suštinu koja se ogleda u razumevanju najosnovnijih gradivnih entiteta prirode i osnovnih oblika kretanja. Fizika jeste veličanstven društveni poduhvat usmeren ka tim pitanjima, međutim, sama za sebe nije dovoljna u tom nastojanju iz dva razloga:

1. Da bismo razumeli prirodu i suštinu prirode neophodno je da razumemo metod i proces kojim se njome bavimo. Tačnije, neophodno je da razumemo kako fizika istražuje prirodu i opravdamo zašto su ti metodi adekvatni, a menjamo ih ako nisu. Fizika, kako je konstituisana danas, nema konceptualni aparat za mišljenje o samoj sebi. Za ovo nam je potrebna filozofija.
2. Teorijska fizika, kako danas postoji, se bavi stvaranjem matematičkih modela; njene teorije se suštinski zasnivaju na matematičkim formalizmima. Današnji modeli i koncepti, više nego ikad u istoriji fizike, zahtevaju detaljniju analizu i tumačenje toga šta oni zapravo predstavljaju i šta nam oni govore o "stvarnim" fizičkim objektima. I za ovo nam je potrebna filozofija.

Danas postoje dve filozofske discipline koje se bave ovim pitanjima: filozofija nauke koja odgovara na prvo pitanje, šta je nauka, uključujući i fiziku, i kakav je njen metod i filozofija fizike koja odgovara na drugo pitanje, šta fizika zapravo govori o prirodi.

Naše metafizičke pretpostavke o tome šta svet jeste utiču na to kako u njemu tragamo za istinom, a i naši metodi traganja za istinom ograničavaju šta pronalazimo da svet jeste. Dakle nemoguće je jasno razdvojiti razmišljanje o tome kako nešto u fizici saznajemo od razmišljanja o tome šta fizika govori da u svetu postoji. Filozofija nauke i filozofija fizike nisu i ne mogu da budu jasno razdvojene.

Fizici ne treba filozofija?

Sa ovim što sam na početku izjavio se ne slažu mnogi fizičari.

“Filozofija je mrtva”, kaže u svojoj knjizi Stiven Hoking, poznati fizičar i kosmolog, “velika pitanja na koja su odgovarali filozofi sada su u rukama fizičara”. Stiven Vajnberg, jedan od stvaralaca Standardnog Modela elementarnih čestica i nobelovac, je u jednoj svojoj knjizi celo poglavlje nazvao “Protiv filozofije”. U njemu argumentuje kako je filozofija često štetnija nego korisna za fiziku, iako je nekad mogla da doprinese korisnim idejama, uglavnom je prtljag kojeg fizičari moraju da se otresu. Takođe i poznati popularizator nauke i astrofizičar Nil de Gras Tajson je rekao “učimo o univerzumu koji se širi, učimo o kvantnoj mehanici, obe stvari su tako daleko od onoga što možeš da dedukuješ iz svoje fotelje da je cela zajednica filozofa .. postala zapravo suvišna.” Blaži stav je imao Fajnman koji je govorio: “Filozofija nauke je korisna naučnicima koliko je ornitologija (nauka o pticama) korisna pticama”.

Ovi stavovi su danas, po mojoj proceni, bliži naučnicima koji se bave prirodnim naukama nego gore naveden Ajnštajnov. Danas se filozofija otpisuje kao potpuno spekulativna disciplina, disciplina u kojoj nema napretka, disciplina koja se previše bavi sama sobom. Međutim, rasprava o odnosu filozofije i fizike (i drugih partikularnih nauka) nije nova, nju su započeli još Platon i Aristotel. Da su gore navedeni fizičari bili spremni da posvete vreme istoriji filozofskog mišljenja siguran sam da bi našli i odgovore i čitave rasprave na temu svojih razmišljanja o beskorisnosti filozofije. Filozofija je sposobna i da argumentuje zašto je u razumevanju prirode (bes)korisna filozofija.

Iako rasprava o odnosu filozofije i fizike nije nova, ovako radikalna, negativan sentiment kod fizičara naspram filozofije, jeste relativno nov.

Fizika se kao disciplina izdvojila iz filozofije tek u XVII veku. Naravno to nipošto ne znači da je ta moderna fizika potpuno drugačija od onoga kako se u “filozofskoj” fizici istraživalo do tada. Ona se tada učvrstila kao eksperimentalno-matematička nauka, ali većina njenih teorijskih koncepata (poput inercije, apsolutnog prostora i vremena, razumevanja kretanja) su bili srednjevekovno ili antičko filozofsko nasleđe. Čak ni eksperimenti ili matematičko opisivanje pojava nisu bili nešto sasvim novo. I nakon izdvajanja moderne fizike veze filozofije i fizike ostaju duboke. Njutnovo najpoznatije delo se zove “Matematički principi prirodne filozofije” gde iznosi, osim matematičkih zakona kretanja i gravitacije, i filozofsko tumačenje svojih zaključaka o matematizovanoj mehanici. S druge strane Lajbnic, Hjum, Kant i drugi novovekovni filozofi su se ekstenzivno bavili modernom fizikom. Maksvel je u XIX veku bio član katedre za prirodnu filozofiju. Iako je tad moderna fizika već ušla u zreliji period nije izgubila ovaj stariji naziv. Generacije fizičara kasnog XIX i prve polovine XX veka koje su nastajale u Evropi tog doba su negovale kulturu multidisciplinarnosti i opšteg akademskog obrazovanja. Osnivač prve katedre za filozofiju nauke u Beču 1895. je bio baš fizičar Ernst Mah. “Revolucionarni” fizičari iz perioda nastanka Kvantne mehanike i Opšte teorije relativnosti su bili duboko investirani u filozofsko razmišljanje o tim teorijama. Hajzenberg je napisao knjigu “Fizika i filozofija”, Šredinger knjigu “Priroda i Grci” i “Moj pogled na svet”, Bor knjige “Atomska fizika i ljudsko saznanje” i “Atomska teorija i opisivanje prirode” a Edington knjigu “Priroda fizičkog sveta”. Najpoznatiji filozof-fizičar je bio Ajnštajn.

Jedan od najranijih uticaja na njega je bio nemački filozof Kant čije je vrlo zahtevne Kritike pročitao još sa 15 godina. Kasnije je govorio kako su na njega značajno uticali fizičar-filozof Mah i matematičar-filozof Poenkare u stvaranju Specijalne teorije relativnosti, kao i filozofi Lajbnic i Berkli u stvaranju

Opšte teorije relativnosti. Ajnštajn je svoj dug vratio filozofiji i posebno u kasnijem periodu života značajno vreme posvetio filozofskom tumačenju novih teorija. 1934. je napisao knjigu “Svet kako ga ja vidim” gde je dao filozofsku interpretaciju teorija u čijem je stvaranju učestvovao. (Zanimljivo je da je Ajnštajn puno pisao i o društvu, politici i civilizaciji i kakvu ulogu u njemu treba da ima nauka. Postoji čitava zbirka takvih njegovih tekstova “Eseji o humanizmu” od kojih je najpoznatiji “Zašto socijalizam”. Ajnštajn i njegov kompleksan odnos sa filozofijom svakako zaslužuju zaseban tekst, verovatno i više njih.)

U stavovima Hokinga, Vajnberga ili Fajnmana, i mnogih drugih fizičara s kraja XX veka vidimo jasnu razliku u odnosu prema filozofiji u odnosu na prethodnu generaciju.

Mnogi smatraju da se takav odnos razvio posle drugog svetskog rata kada su centri teorijske fizike uglavnom iz kontinentalne Evrope izmešteni u SAD. Tada se razvija potpuno drugačija kultura među fizičarima koja se najbolje opisuje sa “čuti i računaj” (shut up and calculate). Ovo se vidi u tome što se danas u fizici razvijanje novih tehnika za računanje određenih talasnih funkcija smatra kao dobar posao za fizičare, dok pokušavanje da razumeš šta su zapravo talasne funkcije i kako se one odnose prema realnosti smatra za gubljenje vremena. Takođe, fizika, kao i ostale akademske discipline, pati od ekstremne specijalizacije i ljudi se školuju da znaju sve više o sve užim oblastima (dok na kraju ne dostignu da znaju sve o ničemu). Javlja se i specifičan zahtev za “produktivnošću” akademskih radnika (“publish or perish”) koji više liči na zahteve za proizvodnjom robe (upitnog kvaliteta) u kapitalizmu nego zahteve koji se upućuju čoveku koji treba da traži istinu o prirodi. I usled tog egzistencijalnog zahteva za produktivnošću fizičari se često odlučuju da se bave onim što im je poznato i onim što će im omogućiti da lakše objavljuju radove i da se zaposle, a to uglavnom nije analiza prirode talasnih funkcija. Kako fizičar Šon Kerol sa žaljenjem ističe: “.. vidimo nesrećnu posledicu života provedenog u akademskom/obrazovnom sistemu koji je fokusiran da ambiciozne snove mrvli na lako brojljive jedinice produktivnog rada”. Na ovo je upozoravao i Ajnštajn u svom tekstu “Zašto socijalizam” gde govori, između ostalog, i o uticaju kapitalizma na međuljudsku saradnju u sticanju znanja.

Kako radi Fizika?

Većina fizičara danas pretpostavlja da postoji nešto što se zove naučni metod. Taj naučni metod, kažu oni, nastao je još za vreme Galileja i Njutna i on odlikuje prirodne nauke, a posebno fiziku, i razlikuje pravu nauku od pseudonauka, teologije ili filozofije. Uz pomoć tog naučnog metoda naučnici pronalaze istinu o svetu.

Međutim, kada bih pitao fizičara šta je naučni metod tu bi se stvari zakomplikovale. Verovatno kao odgovor sledi: postavljanje hipoteza na osnovu opservacija, eksperimentalna provera hipoteza, prihvatanje ili odbijanje hipoteza, uspostavljanje zakona i teorija. Možda sa nekim korakom manje ili više ili izmenjenim redosledom, ali jasne smernice postoje!

Međutim, blagi osvrt na istoriju fizike ili drugih prirodnih nauka pokazuje da ovo svakako nije algoritam kojim se dolazilo do naučnih saznanja. Metodologija koju su koristili Njutn ili Galilej je bitno različita od one koja postoji u savremenoj fizici, možda i suštinski različita. Upravo zbog ovog razloga

većina filozofa nauke danas smatra da naučni metod koji je statičan i aistorijski ne postoji. Čak i ono što bi se nazvalo naučnim metodom u nekom trenutku je daleko od ikakvog algoritma i više liči na neka uopštena uputstva ili savete i mnogo više zavisi od slučaja do slučaja. Uporedimo samo koliko se u različitim granama fizike razlikuju metodi istraživanja. Koliko se razlikuje metodologija u istraživanjima fizike kompleksnih sistema, kosmologije ili fizike lasera? Postupci istraživanja su potpuno različiti, teorije i zakoni, kao i njihovo opravdavanje su dosta drugačiji, a i ciljevi istraživanja su daleko od istih.

Fizičar Karlo Roveli u svom radu "Zašto je fizici potrebna filozofija, zašto je filozofiji potrebna fizika" govori: "Nauka nije projekat sa metodologijom upisanom u kamenu, dobro zadatim ciljevima i fiksnom konceptualnom strukturom. Nauka je naš stalno evoluirajući poduhvat da bolje razumemo svet. U toku svog razvoja ona je rušila svoja pravila i metodološke pretpostavke. Naučnici koji odbijaju da misle o ulozi filozofije u napretku nauke su oni koji misle da su već pronašli konačnu metodologiju, ... , oni su zatvoreni za konceptualnu fleksibilnost potrebnu za napredak".

U svom radu i istraživanju fizičari, svidelo se to njima ili ne, uvek prilaze sa određenim filozofskim pretpostavkama. Ono što Hoking i Vajnborg čine, odbijajući da uđu u filozofsko razmatranje, je da svoje pretpostavke o tome kako nauka treba da izgleda iznose kao većitu logiku naučnog metoda bez opravdavanja i argumentacije.

Karlo Roveli dalje govori kako su danas fizičari upravo zbog odbijanja da temeljno promisle o implicitnim filozofskim pretpostavkama i metodologiji koju koriste zarobljeni u lošoj filozofiji nauke. Navodi kako su Poperov koncept opovrgljivosti i Kunov koncept naučne revolucije, koje su mnogi fizičari svesno ili nesvesno prihvatili, i uglavnom shvatili u uprošćenom, loše interpretiranom, obliku, naveli fizičare na pogrešan put praktikovanja nauke. Ovo ima vrlo direktne posledice na fiziku, gde danas, po Rovelijevim rečima, imamo gomilu beskorisnog teorijskog rada i beskorisnih eksperimentalnih investicija. On apeluje da se fizičari okrenu 2000-godišnjem filozofskom nasleđu i savremenim filozofskim raspravama o naučnom metodu da bi se što bolje bavili fizikom.

Šta su naučne teorije i zakoni? Šta su naučna objašnjenja i hipoteze? Kako se bira između dve teorije koje daju iste eksperimentalne rezultate? Kako funkcioniše rast znanja u nauci i da li postoji? Šta je ujedinjenje teorija? Šta su zapravo merenja ili eksperimenti? Da li treba da verujemo u neopažljive objekte koje postuliraju naše najbolje teorije? Da li je nauku, i posebno fiziku, bolje shvatati u smislu otkrivanja "realnosti po sebi" koja postoji nezavisno od nas ili u terminima "onoga što opažamo"? U filozofiji nauke nećete naći sve krajnje odgovore na ova pitanja, ali ćete verovatno pronaći odgovore bolje od onih koje sada imate i uspeti da razvijete svoje. Razmišljanje o metodu u fizici znači bolji metod u fizici, što znači i bolji rezultati u fizici.

Šta fizika govori o prirodi?

Nortonova kupola je misaoni eksperiment koji je 2003. osmislio filozof Džon Norton. Eksperiment počinje tako što zamislimo glatku kupolu sa određenom geometrijom i zakrivljenjem na čijem vrhu ostavimo kuglicu na koju deluje gravitacija. Nakon primene Njutnovih (ili Lagranžovih ili Hamiltonovih)

jednačina klasične mehanike kao rezultat se dobija da kuglica može da ima različite budućnosti (čak beskonačno mogućih budućnosti) iz istog početnog uslova stajanja na vrhu kupole bez početne brzine. Kuglica može ili da nastavi da stoji na vrhu kupole ili da u proizvoljnom trenutku krene da klizi sa nje, obe mogućnosti su kompatibilne sa računom. Do ove situacije dolazi jer nisu ispunjeni uslovi Pikarove teoreme koja garantuje jedinstvenost rešenja diferencijalne jednačine kretanja upravo zbog određene paraboličke geometrije kupole. Taj misaoni eksperiment pokazuje kako se može konstruisati indeterministički sistem u okvirima klasične mehanike. Intuitivna reakcija na ovo, osim ozbiljne zgroženosti, je da se ovaj model otpiše kao puka matematička apstrakcija bez ikakvog fizičkog značaja. Ali zar nije cela moderna fizika bavljenje matematičkim apstrakcijama? Ovo zaziva jedno ozbiljno ispitivanje kakav je odnos matematičkih modela stvarnosti i "materijalne" stvarnosti. Da li je fizika išta drugo osim pravljenja matematičkih modela opažljivog sveta? Da li nejedinstvenost rešenja neke diferencijalne jednačine zaista uzrokuje ili označava indeterminantnost fizičkog sistema?

Galilejevo zasnivanje moderne matematizovane fizike mnogi smatraju kao veliki trijumf platonizma: ideje da postoji savršeni matematički red koji je načelan opažljivim pojavama. To je ideja koju je prvi izneo Pitagora, a kasnije razvio Platon i njegovi sledbenici. Ta ideja je u klici opstajala kroz antičku i srednjovekovnu matematizovanu fiziku (optiku i harmoniju), ali tek je kod Galileja doživela pravi uspeh kada je došlo do matematizacije kretanja. Ta matematizacija kretanja najviše označava rađanje moderne fizike za razliku od eksperimenata koji su se i pre koristili. (Jedan od prvih eksperimenata je izveo Ibn al Hajtam koje je opisao u knjizi "Knjiga o optici". Neki istoričari nauke čak sumnjaju da su se Galilejevi eksperimenti zapravo desili i govore da su to zapravo bili zapisani misaoni eksperimenti.) I do dan danas, iako se fizika menjala, jedna od njenih glavnih odlika ostaje to što koristi matematički jezik i to više nego ikad pre. U toj meri je ona ispisana jezikom jednačina da je pitanje da li se savremena teorijska fizika uopšte bavi "stvarnim" objektima i materijom ili samo matematičkim objektima. Ovo sve ide u prilog platonističkoj tezi da je materija suštinski iracionalna i nespoznatljiva i da jedino što mi možemo da spoznamo umom je svet matematičkih bića koji je načelan opažljivom "materijalnom" svetu i čije delovanje, u tragovima, mi prepoznajemo u tom "materijalnom" svetu. Ovde meni nije cilj da dajem ekspoziciju platonističke metafizike, već da ilustrujem kako nam treba ozbiljno tumačenje toga šta znače matematički objekti u fizici i u kakvom su oni odnosu sa "stvarnošću".

Paralelno, a i donekle u kontaktu, sa matematizovanom platonističkom fizikom u antici i srednjem veku se razvijala prirodna filozofija, fizika u aristotelovskom smislu. Ona je tada bila glavna disciplina mišljenja o prirodi. Već tada matematizovane optika i harmonija se nisu ni smatrale za deo fizike, već za kombinovane matematičke nauke. Prirodna filozofija nije koristila matematiku u ispitivanju prirode. Po rečima Aristotela matematika opisuje geometrijska svojstva predmeta, a ova nipošto ne iscrpljuju stvarnost. Umesto pravljenja matematičkih modela korisnih za predviđanja pojava ona se bavi razumevanjem toga šta je priroda i šta je materija, bavi se razumevanjem uzroka i suština bića i kretanja. Kada se moderna fizika izdvajala iz filozofije ono što se izdvojilo je zapravo platonistička grana koja je preuzela naziv fizike dok je tradicija filozofije prirode više opstala u okviru same filozofije. To naravno ne znači da se novovekovni fizičari tim pitanjima nisu bavili već da se ta pitanja nisu smatrala fizikom.

Filozofija fizike se razvila više u tradiciji ove prirodne filozofije nego opšte filozofije nauka. (Neki koriste pojam Filozofija Fizike tako da obuhvata i filozofiju naučnog metoda u fizici, što sam ja svrstao u opštu filozofiju nauke.) To je relativno nova disciplina koja se izdvojila upravo jer su matematički koncepti fizike postali sve udaljeniji od onoga što je intuitivno jasno. Modeli u fizici su prestali da budu matematičke apstrakcije opažljivog i postali matematičke konstrukcije stvarnosti. Naše najbolje teorije

koriste prostor-vreme ili talasnu funkciju u svojim objašnjenjima, a to su matematičke konstrukcije čiji smisao i postojanje, i nakon razumevanja matematičkog formalizma, nama ostaje nerazlašeno. Po rečima jednog od najznačajnijih filozofa fizike, Tima Modlina, teorije u savremenoj fizici su više recepti za predviđanja nego što su teorije koje nude objašnjenje i razumevanje pojave, i zbog toga mora da im se pridruži izvesno tumačenje. Ovaj zahtev za tumačenjem matematičkih formalizama fizike nije nov, još Njutn se time bavio, samo je danas očigledniji više nego ikad pre u fizici, a fizičari više nego ikad pre odbijaju da se time bave. Ova disciplina, koja se često naziva i Zasnivanje fizike ("Foundations of physics"), objedinjuje veliki broj fizičara, matematičara i filozofa upravo u pokušaju da se tom analizom i tumačenjem bave.

Šta je prostor? Šta je vreme? Šta je prostor-vreme? Šta je "sadašnjost"? Da li je svet deterministički? Da li uopšte postoje uzroci u prirodi? Da li je vreme usmereno i zašto? Šta su kvantni objekti i stanje superpozicije? Šta su talasi-čestice? Šta su polja i na koji način ona postoje? U kakvom su odnosu matematički objekti kojima se fizičare bave sa "stvarnim" materijalnim svetom? Oni koji se bave zasnivanjem i filozofijom fizike pokušavaju da na ova pitanja daju odgovore i ti odgovori ne samo što mogu služiti zadovoljenju naše potrebe za razumevanjem, već i unapređivanju same fizike.

Zaključak

"Ne znam za druge ljude, ali ja lično nisam zavoleo fiziku zato što sam oduševljen unapređivanjem tehnika za računanje. To jeste bitno, ali ne treba da bude cilj fizike. Poenta je razumeti kako priroda funkcioniše, i za to je osim poznavanja računa i matematike savremene fizike bitno i postavljati dublja pitanja o smislu svega toga.", u ovome se u potpunosti slažem sa Šonom Kerolom. Nažalost mnogi fizičari ne vide značaj filozofskog obrazovanja kod fizičara. To vidimo i na našem fakultetu gde nakon odlaska u penziju izvanrednog profesora Filozofije prirodnih nauka, Ilije Marića, naš fakultet ostaje bez ikakvih kurseva o filozofiji nauke ili filozofiji fizike jer nema interesovanja za pronalaženjem novog predavača. Ovaj problem postoji svuda u svetu. Tim Modlin u svom intervjuu, objašnjava kako jako dugo nisu postojale nikakve mogućnosti za fizičare da istražuju oblasti zasnivanja, temelja i filozofije fizike, a da ostanu zaposleni. Kao odgovor na nedostatak filozofskog obrazovanja fizičara i manjak mogućnosti za istraživanje i zapošljavanje, sa mnogim drugim fizičarima, filozofima i matematičarima, uključujući Kerola i Rovelija, osnovao je međunarodni "Džon Bel Institut za zasnivanje fizike" ("John Bell institute for the Foundations of Physics"). Paralelno sa tim sve češće nastaju i katedre ili čitave osnovne studije namenjene ne samo filozofiji nauke, nego i filozofiji fizike (u susedstvu osnovne studije Fizike i Filozofije već postoje u Rijeci). Nadam se da će se time u nekom trenutku voditi i naš fakultet, a za početak da neće ukinuti jedini kurs na fakultetu koji se ovom tematikom bavi.

Reference

1. <https://www.youtube.com/watch?v=hC3ckLqsL5M&list=LLVc1u2QUFsxkVhEez8XJAdw&index=136> - Intervju Tima Maudlina o stanju u savremenoj fizici
2. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1805/1805.10602.pdf> Karlo Roveli - "Zašto je fizici potrebna filozofija, zašto je filozofiji potrebna fizika"
3. Ilija Marić: "Stara fizika I fizika kod Srba" I "Platon I moderna fizika"
4. <http://www.preposterousuniverse.com/blog/2014/06/23/physicists-should-stop-saying-silly-things-about-philosophy/> Šon Kerol o glupim stvarima koje fizičari izjavljuju
5. <https://monthlyreview.org/2009/05/01/why-socialism/> Albert Ajnštajn - Zašto Socijalizam
6. Tim Modlin – Metafizika u fizici
7. <https://www.johnbellinstitute.org/> Sajt "Džon Bel institut za temelje fizike"

Autor: Jordan Grujić, student FF