

O IDEALIZACIJI U EVOLUCIJI FIZIKE

SAŽETAK: Einstein i Infeld u knjizi „The Evolution of Physics“ kroz zamišljene eksperimente uvode u sve apstraktnije koncepte i zakone fizike radi boljeg razumijevanja stvarnosti. Ovaj rad koristi nekoliko primjera iz tog klasika znanosti u namjeri da ilustrira ključan značaj idealizacije stvarnosti u evoluciji fizike, pa prema tome i u procesu učenja fizike.

KLJUČNE RIJEČI: zamišljeni eksperiment, povijest znanosti, evolucija fizike, metodika nastave

On the idealisation in the evolution of physics

ABSTRACT: Through idealized experiments in book “The Evolution of Physics” Einstein and Infeld introduce to more and more abstract concepts and laws of the physics with the goal of a better understanding of reality. This paper is using a few examples of that classic of science in intention to illustrate a key importance of the idealization of reality in the evolution of physics, and accordingly in the physics learning process.

KEYWORDS: idealised experiment, history of science, evolution of physics, teaching methodology.

1. UVOD

Studenti su se već mnogo puta susreli s procesom idealizacije stvarnosti u fizici. Idealizacija postoji samo kao zamisao. Na idealizaciju nailazimo u onim poglavljima fizike koja započinju riječima zamislimo, pretpostavimo ili konstrukcijom aproksimiramo li ili tijekom izvoda, a to je najčešće na svakom predavanju i vježbama. Skoro pa zvuči paradoksalno: praktični zadatci uče se rješavati zamišljanjem idealnih uvjeta i primjenom prikladnih fizikalnih koncepata ili zakona na pojedini aspekt stvarnosti. Pritom je svrha idealizacije pojednostavljenje stvarnog problema s ciljem njegovog približnog rješavanja, odnosno prepoznavanje i primjena pojedinog zakona u rješavanju.

Od akademske godine 2015/2016. preddiplomski studij geodezije i geoinformatike na Geodetskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu u svom programu V. semestra nudi novi izborni kolegij „Evolucija fizike“, čiji je sadržaj i temeljna literatura istoimena knjiga (Einstein i Infeld, 1938). Sama je knjiga kvalitativnim opisima fizikalnih koncepata doslovno materijalizacija apstraktnog razmišljanja te studente poziva na rekapitulaciju već (na)učenog. Namjera autora knjige da ugrubo skiciraju pokušaje ljudskog uma da pronade vezu između svijeta ideja i svijeta pojava, omogućuju više razina učenja, pružajući jasne uvide u sadržaje fizike i u primjene znanstvene metode, istovremeno ispraćene pogledom filozofije znanosti. Fizikalni koncepti, kao kreacije ljudskog uma, nisu jedinstveno određeni vanjskim svijetom, stoga je empirija uglavnom početak i, svakako, kraj našeg znanja o stvarnosti. Iako nije pisana kao udžbenik, „The Evolution of Physics“ svojom napetošću zapleta omogućuje jedinstveno iskustvo istraživanja procesa nastanka, nestanka ili evolucije fizikalnih koncepata, odnosno zakona. Mjesto idealizacije, koje ćemo pokušati sagledati kroz primjere iz mehanike, elektrodinamike, specijalne i opće teorije relativnosti te kvantne mehanike, bilo je i jest ključno u razvitku fizike.

2. IDEALIZACIJA STVARNOSTI I EVOLUCIJA FIZIKE

Galileo je došao do jednog od najznačajnijih postignuća u povijesti ljudske misli, koje označava pravi početak moderne fizike. Razmotrimo tijelo u mirovanju; da bismo mu promijenili položaj, nužno je djelovati na nj. Iskustvo nas može navesti na pomisao da npr. moramo jače gurati tijelo da bi se ono gibalo brže. Čini se prirodnim zaključiti da će tijelo imati veću brzinu što je jača sila primijenjena na njega, no ne treba uvijek vjerovati intuiciji, makar se ona temelji na neposrednom opažanju. Zamislimo sada tijelo koje se giba bez djelovanja trenja ili bilo kakvih vanjskih sila. Galileo zaključuje da se takvo tijelo giba jednoliko, konstantnom brzinom duž pravca (što će kasnije Newton formulirati u Zakon inercije). Zaključak je dobiven spekulativnim razmatranjem eksperimenta koji u stvarnosti ne može biti izveden s obzirom na to da je nemoguće apstrahirati sve vanjske utjecaje.

U sljedećem primjeru zamislimo česticu koja se giba po krivulji pod utjecajem vanjskih sila. Tako smo zamislili ili pretpostavili okolnosti za idealizirani ili zamišljeni eksperiment u kojem se pitamo kolika je npr. brzina čestice kao funkcija položaja i vremena u trenutku kada sile prestanu djelovati. U mislima smo opet eliminirali sve vanjske utjecaje. Pitamo se: „što će se dogoditi ako ...“, te prosuđujemo ispravnost izvedenih zaključaka prema slaganju s eksperimentom. Zaključujemo da gibanje u zamišljenom eksperimentu prema zakonu inercije mora biti jednoliko: u trenutku prestanka djelovanja sila na krivulju tangencijalan vektor određivat će smjer i iznos brzine čestice. Spekulativno razmišljanje mora biti konzistentno s opažanjima te voditi razumijevanju stvarnih eksperimenata ili tumačenju pomoću poznatih zakona ili fizikalnih koncepata.

Idealizacija može pomoći i u razumijevanju koncepta valova, kao i njegovoj redukciji na mehanički koncept. Pokušajmo zamisliti ogroman

prostor ispunjen vodom ili zrakom u čijem se središtu nalazi sfera. Na početku eksperimenta nema gibanja; iznenada, sfera započne ritmično disati, ekspandirajući se, kontrahirajući i pritom zadržavajući oblik: znamo da u mediju nastaju longitudinalni valovi. Ako je medij žele, a sfera se rotira, tada nastaju transverzalni valovi. Primjeri su prikladni za ilustraciju mehaničkih valova (v.sliku: Einstein i Infeld, 1938). Nadalje, razmatra se kakav je val svjetlo, tj. putuje li kroz medij koji je nalik zraku ili želeu.

Idealizirani eksperiment jedan je od glavnih koraka i u procesu induktivnog zaključivanja koje vodi Maxwellovim jednadžbama koje predviđaju postojanje elektromagnetskog vala. Prisjetimo se najprije Faradayjevog eksperimenta, odnosno zakona: električna struja može nastati u žičanoj petlji promjenom magnetskog fluksa na različite načine. Partikularni opisi svih mogućih načina promjene fluksa nužno bi vodili kompliciranoj teoriji. Taj problem možemo pojednostaviti ako iz razmatranja eliminiramo sve što se odnosi na oblik petlje, duljinu ili površinu koju ona zatvara. Zamislimo petlju kako postaje sve manja i manja (po volji malom) sve dok ne zatvori neku točku u prostoru. U limesu, dakle, zatvorena se krivulja sažima u točku, pa oblik i veličina nestaju iz razmatranja. Slično iz Gaussovog zakona za električno polje, Gaussovog zakona za magnetsko polje, te (modificiranog oblika) Amperovog zakona slijede četiri Maxwellova zakona koji povezuju promjene magnetskog i električnog polja u proizvoljnoj točki prostora u nekom trenutku. Uočimo: idealizacija je usko povezana s pojednostavljenjem i poopćenjem, pod cijenu veće apstrakcije.

Zamislimo malu električki nabijenu sferu koja prisilno, pod djelovanjem vanjske sile, brzo i ritmično titra kao njihalo. Kako opisati jezikom polja sve što se ovdje događa? Titranje naboja stvara promjene električnog polja, a njih uvijek prate promjene magnetskog polja. Postavi li se u blizinu zatvorena žičana petlja, tada će promjenjivo magnetsko polje pratiti inducirana električna struja u petlji. Maxwellovim jednadžbama matematičkom dedukcijom opisujemo svojstva polja koje okružuje titrajuću sferu, njegovu strukturu blizu i daleko od izvora i promjene u vremenu. Rezultat dedukcije je elektromagnetski val. Energija zrači iz titrajuće sfere putujući konačnom brzinom (a to je brzina svjetlosti) kroz prostor, pri čemu je prijenos energije tipičan za valne pojave.

Možda su najglasovitiji zamišljeni eksperimenti baš oni iz specijalne teorije relativnosti, npr. oni s gibajućom prostorijom. Lorentzove transformacije moraju biti primjenjive na sve događaje u vanjskom svijetu, ne samo zakoni mehanike već i svi prirodni zakoni moraju jednako vrijediti u inercijalnim koordinatnim sustavima. Maxwellove jednadžbe, tj. zakoni polja su npr. invarijantni u odnosu na Lorentzove transformacije, baš kao što su zakoni mehanike invarijantni u odnosu na klasičnu transformaciju. No postoji li uopće inercijalni sustav?

Opća teorija relativnosti, koja odgovara na to pitanje, započinje s dva eksperimenta. Zamislimo lift na vrhu nebodera, puno višeg nego što je bilo koji postojeći. Iznenada uže koje drži lift pukne i on slobodno pada prema zemlji. Opažatelj u liftu izvode eksperimente tijekom pada i u njihovu opisu ne trebamo brinuti o otporu zraka ili trenju jer ih možemo zanemariti u našim idealiziranim uvjetima. Jedan opažatelj uzme rupčić i sat iz svog džepa i baci ih. Razmotrimo sa stajališta različitih opažatelja, unutar i izvan lifta, što se događa s ova dva tijela? U drugom eksperimentu

pretpostavimo da postoji inercijalni sustav: možemo zamisliti što se događa u liftu koji miruje u takvom inercijalnom sustavu, u njemu vrijede zakoni mehanike. Zamislimo da je netko izvana pričvrstio uže za lift te ga povlači konstantnom silom i poslušajmo objašnjenja unutrašnjeg i vanjskog opažatelja o pojavama unutar lifta. Ovi eksperimenti pozivaju čitatelja Einsteina i Infelda (1938) da otkrije kako je problem Opće teorije relativnosti blisko povezan s gravitacijom i zašto je ekvivalentnost gravitacijske i inercijalne mase esencijalna za ovu vezu. Apsolutno gibanje i inercijalni sustav iz fizike je izopćila opća teorija relativnosti u kojoj su formulirani zakoni fizike koji vrijede za sve koordinatne sustave. Idealizacija je pomogla da prijedor između Ptolomejeva i Kopernikova pogleda postane besmislen. A kakva je veza (specijalne) teorije relativnosti i geometrije? Zamislimo ogroman disk s vrlo malom i vrlo velikom koncentričnom kružnicom koji se rotira vrlo brzo u odnosu na vanjskog opažatelja u inercijalnom sustavu. U njegovu sustavu vrijedi Euklidska geometrija jer je inercijalan, a vanjski opažatelj otkriva da je odnos opsega dviju kružnica jednak odnosima njihovih polumjera. No što je s opažateljem na disku? Ovaj zamišljeni eksperiment pokazat će da prava relativistička fizika ne može biti temeljena na Euklidskoj geometriji, te vodi daljnjoj generalizaciji koncepata prostora i vremena.

Svijet kvantne mehanike čini se fantastičnijim od mašte. Primjer s dvije rupice na zaslonu pokazuje da si ne možemo predočiti putovanje kvanta materije, elektrona, ili kvanta energije, fotona, na način na koji smo si mogli predočiti gibanje tijela u klasičnoj mehanici. Elektron, ili foton, čini se kao da istodobno prolazi kroz obje rupice. No zamislimo isti eksperiment ponavljan ponovo i ponovo, na potpuno jednak način, tako da svi elektroni imaju jednake brzine i da se, jedan za drugim, gibaju u smjeru rupica. U slučaju da promatramo gomilu elektrona i ne brinemo o individualnom, rezultat, tamni i svjetli krugovi u slučaju jedne rupice, odnosno tamne i svjetle pruge u slučaju dviju rupica, postaje razumljiv. Kvantna fizika napušta individualne zakone elementarnih čestica i uspostavlja statističke zakone koji vladaju agregacijama. Jednadžbe kvantne fizike određuju val vjerojatnosti, a značenje fizikalnih koncepata apstraktniji je nego u slučaju elektromagnetskog i gravitacijskog polja.

3. ZAKLJUČAK

Namjera ovog rada bila je pozvati, studenta ponajprije, na čitanje Einsteina i Infelda (1938). U radu je izabranim primjerima ocrtano mjesto idealizacije u znanstvenoj metodi te vezani učinci, kao i doprinosi povijesti fizike onako kako su to prikazali Einstein i Infeld 1938. Stvarni i kompleksni fizikalni proces dijeli se u više aspekata da bi ih se moglo bolje razumjeti ili da bi se mogli primijeniti koncepti koji mogu (bolje) objasniti svaki od aspekata, ili pak dovesti do novih zakona. Sama fragmentacija stvarnosti vodi do idealizacije jer fizikalni proces u kojem je promatran isključivo jedan aspekt, a eliminiran neki drugi, može biti zamišljen, ali ne i ostvaren. Ključno je da, koliko god ona bila fantastična, ta idealizacija ipak mora biti konzistentna s opažanjima stvarnosti i voditi boljem razumijevanju ili formulaciji zakona za neki aspekt stvarnosti. Iako danas često čujemo, pa i sami pomislimo, da je za razvitak znanosti i tehnologije prijeko potrebna praktična primjena, razvidno je i idealizacija jednako nužna pri formulaciji zakona prirode bez kojih nema ni primjene ni razumijevanja oba svijeta, i stvarnosti i fizike.

AUTORI | AUTHORS

Mario Brkić, prof. dr. sc., Geodetski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, e-mail: mbrkic@geof.hr