

Fizika kao filozofski problem

Vukelja, Tihomir

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2006, 222, 92 - 98**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:777359>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-07**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)





Fizika kao filozofski problem

Tihomir Vukelja¹, Zagreb

Uvod

Premda su rezultati i narav fizike danas zanimljiv filozofski problem, nije uvijek bilo tako. Fizika je tijekom 2000 godina od Aristotela do Galileija i Newtona bila naprosto grana filozofije, nastojanje da se prirodne pojave koje zapažamo u svakidašnjem iskustvu objasne na temelju filozofskih pretpostavki o naravi svijeta. U 17. stoljeću fizičari razvijaju novu metodu istraživanja: oslanjanje na instrumente, pokus i matematiku – i odvajaju se od filozofije. Tada je tako osamostaljena fizika postala predmet filozofskih promišljanja.

U kojem se smislu fizika pojavljuje kao filozofski problem? S jedne strane, fizika je ljudska djelatnost kroz koju nastojimo upoznati i objasniti ponašanje prirode, razumjeti svijet u kojem živimo. S druge strane, među temeljnim filozofskim problemima nalazimo pitanja poput “Što je svijet?” i “Što možemo uistinu znati o svijetu?” Oslonimo li se u traganju za odgovorom na ta pitanja, na rezultate fizike, ona poprimaju oblik “Što je svijet po fizici?” i “Čime možemo opravdati tvrdnju da je svijet uistinu onakav kakvim ga fizika prikazuje?”.

Slika svijeta po Newtonovoj mehanici

Pitanje “Što je svijet po fizici?” je pitanje o tome što nam fizika kaže o svijetu, kakvu nam sliku svijeta nudi. Za ishodište takva razmatranja uzimamo neku fizičku teoriju te nastojimo oblikovati odgovarajuću predodžbu svijeta, odgovoriti na pitanja od čega je po toj teoriji svijet sazdan i kakva je narav tih njegovih sastavnica. Pitamo se, nadalje, je li takva slika svijeta zadovoljavajuća, vodi li ona možda do nekih neprihvatljivih zaključaka. Razmotrimo u osnovnim obrisima jedan primjer, sliku svijeta po Newtonovoj mehanici.

Newtonova je mehanika teorija koja opisuje i objašnjava gibanja tijelâ, a zamisli pomoću kojih to čini temelj su odgovarajuće slike svijeta. Prema toj slici se događaji u svijetu odvijaju na pozornici apsolutnog prostora i apsolutnog vremena (“apsolutnih” u smislu da posjeduju vlastiti nepromjenjivi ustroj i opstoje neovisno o tijelima i događajima), a koji su međusobno neovisni. “Glumci” koji nastupaju na toj pozornici su čestice zamišljene kao tvarne točke, beskonačno malena tijela koja u svakom trenutku

¹ Autor je viši asistent na Zavodu za povijest, filozofiju i socijologiju znanosti Fizičkoga odsjeka Prirodoslovno-matematičkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; e-mail: tvukelja@phy.hr

posjeduju svojstva koja možemo mjeriti (poput mase, položaja ili brzine) i koja nam omogućuju da ih međusobno razlikujemo, pri čemu tijela konačnih dimenzija shvaćamo kao nakupine takvih čestica. Pretpostavljamo da ponašanje tijelâ i sustavâ tijelâ u cjelosti slijedi iz ponašanja čestica koje ih čine i da se sva njihova svojstva mogu svesti na svojstava tih dijelova. Isto vrijedi za svijet u cjelini: svijet je naprosto zbroj neovisno razumljivih dijelova. Razumijevanje cjeline svijeta slijedi iz razumijevanja njegovih dijelova i njihovih odnosa. Ti odnosi dijelova svijeta, tijelâ u svijetu, su međudjelovanja: tijela se mogu privlačiti ili odbijati, utjecati jedno na drugo bez dodira ili “na daljinu”. Nadalje, jedine uloge koje ti svjetski glumci mogu igrati su gibanja kroz apsolutni prostor. Ta su gibanja jednoznačno određena međudjelovanjima, putem Newtonovih zakona gibanja. Stoga su svi budući događaji u svijetu posve predodređeni trenutnim stanjem stvari, odnosno položajima i brzinama tijelâ te njihovim međudjelovanjima, što nam omogućuje da ih pretkazemo. Čitav se svijet svodi na gibanja tvarnih točaka u apsolutnom prostoru i vremenu, jednoznačno određena međudjelovanjima i zakonima gibanja, i sve pojave u svijetu valja razumjeti na toj osnovi. Svijet mora biti takav da bi Newtonova mehanika davala ispravne rezultate.

Ta se teorija, kao što znamo, uistinu pokazala veoma uspješnom. No, s druge strane, opisana slika svijeta otvara mnoge filozofske probleme. Primjerice, Newtonova predodžba apsolutnog prostora i vremena podrazumijeva pojam *apsolutnog* gibanja, gibanja u odnosu na sam prostor. Takva su nam gibanja načelno nedohvatljiva; uvijek opažamo i opisujemo samo *relativna* gibanja, gibanja tijela u odnosu na neko drugo tijelo. Je li onda opravdano rabiti u fizici pojam apsolutnog prostora i vremena i tvrditi na temelju fizikalne teorije da su prostor i vrijeme uistinu apsolutni? Da li je fizički primjerenija predodžba *relacijskog* prostora i vremena, prema kojoj oni ne opstojе neovisno od tijela i događaja, već se smatraju skupovima mogućih odnosa među tijelima i događajima (nalik skupu rodbinskih odnosa, koji ne opstojе neovisno od ljudi koji čine obitelj)? Nadalje, u opisanoj se slici svijeta brzina tijela ne ograničava, zbog čega, primjerice, mogućnost razlikovanja tvarnih točaka postaje upitna. Treba li je stoga ograničiti, što nužno dovodi do povezivanja prostora i vremena? Kako razumjeti međudjelovanje na daljinu, uzajamni utjecaj tijelâ bez dodira ili posrednika? Može li se svaki sustav, čak i živo biće, smatrati naprosto zbrojem svojih dijelova? Možemo li na temelju pretkazivosti nekih događaja zaključiti da je svijet posve predodređen? Ako je uistinu tako, što je s ljudskom slobodom i odgovornošću?

Fizičke teorije kao nagađanja o svijetu

Sljedeće filozofsko pitanje koje nam se nameće jest kako opravdati tvrdnju da je opisana slika svijeta ispravna i da se fizičke teorije općenito mogu smatrati pravim znanjem o svijetu? U čemu je posebnost ili “tajna” fizike? Što se našeg primjera tiče, stožer ocrtane slike svijeta je Newtonov zakon gibanja, ona sadrži pretpostavke o svijetu nužne za uspostavu tog zakona. Ako je taj zakon valjan, onda s priličnim pouzdanjem možemo reći barem da smo na pravom putu. Stoga se moramo upitati kako znamo da je Newtonov zakon gibanja valjan.

Uobičajen odgovor na gornje pitanje je da se naše pouzdanje u taj zakon temelji na iskustvu, na opažanjima, mjerenjima i pokusima. Njegova je valjanost potvrđena na mnoštvu različitih primjera, od gibanja planeta do padanja kamena. To pokazuje da je zakon ispravan, a time u biti i opisana slika svijeta. No takav odgovor nije posve zadovoljavajući. Prije svega, znamo da postoje gibanja koja se ne mogu podvesti pod taj zakon, poput gibanja planeta Merkura ili atomskih predmeta (atoma, neutrona i sl.).

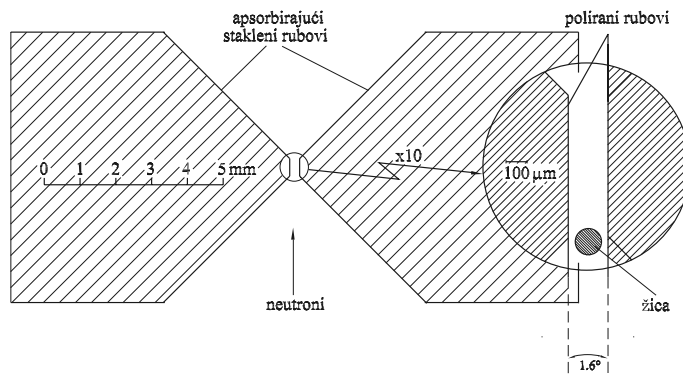
Ti slučajevi zahtijevaju primjenu drukčijih zakona gibanja, razvijenih u okviru teorije relativnosti i kvantne mehanike. No te teorije upućuju na slike svijeta poprilično drukčije od one opisane i stoga ona naprosto ne može biti valjana.

No ponuđeni odgovor ne bi bio valjano rješenje postavljenog problema čak i da ne poznamo protuprimjere za Newtonov zakon. Taj je zakon, naime, po svojoj naravi *univerzalna* tvrdnja, tvrdnja koja se odnosi na sva gibanja svih tijela u svim okolnostima, drugim riječima, na beskonačno mnogo situacija. S druge strane, naše je iskustvo nužno ograničeno: niti je zakon iskušan na svim gibanjima, niti je to izvedivo. No iz ograničenog skupa istinitih opisa opažanja (primjerice, “opaženi labud L_1 je bijel”, “opaženi labud L_2 je bijel”, ... , “opaženi labud L_n je bijel”), koja su u skladu s nekom univerzalnom tvrdnjom (“svi su labudovi bijeli”), nije moguće logički strogo izvesti istinitost te univerzalne tvrdnje (jer je posve moguće da postoje i labudovi drugih boja, koje još nismo opazili; uistinu, iz Australije potječe crni labud, *Cygnus atratus*). Uopćenja potkrijepljena ograničenim skupom činjenica ne smijemo smatrati istinitim tvrdnjama, već tek *nagađanjima*, jer ne postoje jasna mjerila koja bi nam omogućila da opravdana uopćenja razlikujemo od neopravdanih. Imamo li to na umu, moramo se pomiriti s time da Newtonov zakon gibanja, kao i svi drugi fizički zakoni i teorije, ostaje, unatoč opsežnoj iskustvenoj potpori, tek pretpostavka, nagađanje koje se na temelju iskustva ne može jednom zauvijek potvrditi kao istinito i za koje možemo reći tek da je u nekim granicama i za neko vrijeme potkrijepljeno iskustvom.

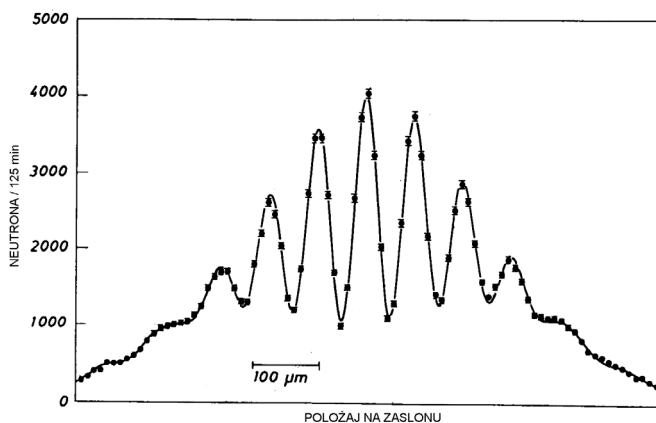
Dovodi li uvid da su fizičke teorije tek nagađanja o funkcioniranju prirode u pitanje ugled fizike kao puta do spoznaje svijeta? Ne nužno. Mnogi filozofi smatraju da su unatoč tome fizičke teorije najbolje znanje o svijetu koje su ljudi svojim razumom i iskustvom u stanju dohvatiti. Posebnost tih teorija je, tvrdio je primjerice filozof Karl Popper, u tome što smo pomoću njih u stanju precizno pretkazati ponašanje stvari. Newtonov zakon gibanja nam vrlo jasno kaže kako bi se neko tijelo trebalo gibati u zadanim okolnostima. Ako iskustvo pokaže da se stvarno gibanje tijela razlikuje od tog pretkazanja, poput gibanja planeta Merkura, to znači da je naše pretkazanje *opovrgnuto*, iskustveno je dokazana njegova neistinitost, a time i neistinitost univerzalnog zakona iz kojeg smo ga izveli. Posebnost fizičkih zakona kao nagađanja je, po Popperu, u tome što se pozivanjem na iskustvo može jednom zauvijek ustanoviti njihova *neistinitost*, a fizika, kao put do spoznaje, je posebna po tome što bez milosti odbacuje teorije koje su se pokazale neistinitim i na njihovo mjesto stavlja nove teorije, nova nagađanja, bolje prilagođena zbilji. Tajna fizike, kao pravoga puta do spoznaje svijeta, je u njezinoj nemilosrdnoj samokritičnosti, a ne u tobožnjoj utemeljenosti teorija na činjenicama; u fizici ne težimo apsolutnoj istini i sigurnosti, već napretku i poboljšanju našega razumijevanja svijeta. Premda se za fizičku sliku svijeta ne može reći da je konačna istina, može se reći da fizika stalno napreduje kroz odbacivanje opovrgnutih pretpostavki i njihovo nadomještanje novim, obuhvatnijim i zbilji primjerenijim pretpostavkama, i time se neprestano približava istini.

Slika svijeta po kvantnoj mehanici

Razmotrimo jedan primjer opovrgavanja Newtonova zakona gibanja, koji ima dalekosežne posljedice po fizičku sliku svijeta². Neutroni prolaze kroz pukotinu u koju je umetnuta žica (slika 1) i detektiraju se na zaslonu iza pukotine. Pretpostavljamo da između pukotine i zaslona na neutrone ne djeluje nikakva sila. Izbrojimo li detekcije neutrona u svakoj pojedinoj točki zaslona vidimo da raspodjela broja detekcija po zaslonu slijedi *interferentni* obrazac (slika 2). No iz pretpostavke da se neutroni gibaju u skladu s Newtonovim zakonom gibanja slijedi *zvonolika* raspodjela detekcija i stoga moramo zaključiti da je u ovom slučaju taj zakon opovrgnut.



Slika 1.



Slika 2.

Za ispravno teorijsko reproduciranje i pretkazivanje rezultata pokusa izvedenih s atomskim predmetima, poput ovog upravo opisanog, morala je biti razvijena nova teorija gibanja – kvantna mehanika (na slici 2 točke prikazuju mjerene vrijednosti, a puna linija

² A. Zeilinger, R. Gähler, C. G. Shull, W. Treimer i W. Mampe, *Single- and double-slit diffraction of neutrons*, *Reviews of Modern Physics*, **60** (1988) 1067–1073. Slike 1 i 2 su preuzete iz tog članka.

kvantnomehaničko pretkazanje). No u okviru te teorije se gibanje atomskih predmeta ne opisuje putanjom kroz fizički prostor, već “valnom funkcijom” u apstraktnom “konfiguracijskom” prostoru, koja, u gornjem slučaju, određuje vjerojatnost da neutron bude detektiran u nekoj točki zaslona. Takva narav zakona gibanja atomskih predmeta ima za posljedicu da se slika svijeta po kvantnoj mehanici korjenito razlikuje od one prije opisane. Premda u toj novoj slici svijeta pozornicu na kojoj se odvijaju događaji i dalje čine apsolutni prostor i vrijeme, glumci koji na njoj nastupaju, atomski predmeti, su posve drukčije naravi. To nisu stvarne točke, već posve nepredočiva bića, a opazivi pojedinačni događaji u takvu svijetu, poput detekcije neutrona na zaslonu, nisu predodređeni, već slučajni – ništa ne određuje jednoznačno u kojoj će točki zaslona neki neutron biti detektiran.

Fundamentalni problem te slike svijeta jest kako iz tako shvaćena “mikrosvijeta” izrasta “makrosvijet” našeg svakidašnjeg iskustva? Zašto se izravno opaziva tijela ponašaju drukčije od atoma od kojih su po pretpostavci sazdana, zašto nikad ne opažamo njihovo “kvantnomehaničko” ponašanje? Kako je moguće da atomi, koji po kvantnoj mehanici ne slijede određene putanje kroz prostor, čine tijela koja slijede takve putanje, kako je moguće da se slučajna događanja iz mikrosvijeta slože u predodređene događaje makrosvijeta? Među fizičarima danas nema jednodušnosti glede rješenja tog problema i on jasno pokazuje da nešto nije u redu ili s uobičajenom kvantnomehaničkom slikom svijeta ili s našim svakidašnjim iskustvom svijeta ili s našim shvaćanjem kvantne mehanike.

Opovrgava li uistinu gibanje atomskih predmeta Newtonov zakon?

Na jedan mogući izlaz iz tog problema ukazuje pitanje razmatranje pitanja je li Newtonov zakon gibanja uistinu opovrgnut rezultatima opisanog pokusa s neutronima i drugih pokusa s atomskim predmetima. Naime, nije uvijek lako nedvosmisleno opovrgnuti neku fizičku pretpostavku pozivanjem na iskustvo, imamo li na umu činjenicu da je u fizička objašnjenja ishoda pokusa nužno uključeno mnoštvo pretpostavki i da često nije jasno na koju od njih valja svaliti krivnju kad se teorijska očekivanja ne poklope s opažanjima.

Zgodan primjer iz povijesti fizike je otkriće planeta Neptuna. Motrenja gibanja Urana u 19. st. su pokazala da njegova putanja znatno odstupa od one koju predviđa Newtonov zakon gibanja. To se iskustvo moglo tumačiti kao opovrgavanje tog zakona, ali to nije bilo jedino moguće objašnjenje. Moglo se umjesto toga pretpostaviti da zakon gravitacije nije valjan ili da optički zakoni koji ravnaju opažanjima nisu valjani (lom svjetlosti u lećama teleskopa i u atmosferi) ili da u računu nisu uzete u obzir sve sile koje djeluju na Uran itd. Kao pokušaj prevladavanja tih problema pretpostavljeno je postojanje dotad neopaženog planeta u blizini Urana, gravitacijski utjecaj kojeg bi trebao biti odgovoran za opažena odstupanja putanje. Položaj tog planeta je izračunat na temelju odstupanja Uranove putanje i Newtonove teorije, a teleskopsko opažanje je potvrdilo postojanje planeta, na tom mjestu, kojeg danas nazivamo Neptunom. Tako je ta epizoda od mogućeg opovrgavanja Newtonova zakona gibanja postala njegov veliki uspjeh.

Kakve posljedice ima taj uvid po našu raspravu o gibanju neutrona? Interferentnu raspodjelu detekcija neutrona smo protumačili kao bjelodano opovrgavanje Newtonova zakona gibanja, jer bi po njemu neutroni koji se slobodno gibaju morali dati zvonoliku raspodjelu detekcija. No valjanost Newtonova zakona gibanja možemo očuvati tako da promijenimo neku drugu pretpostavku u tumačenju eksperimentalne situacije. Primjerice,

u opisu pokusa smo pretpostavili da se u prostoru između pukotina i zaslona neutroni gibaju slobodno, jer tu na njih ne djeluje nikakva sila poznata klasičnoj fizici. Pretpostavimo li pak da na neutrone tu zapravo djeluje neka sila zbog koje se oni gibaju, u skladu s Newtonovim zakonom gibanja, upravo tako da daju interferentnu raspodjelu detekcija, možemo spasiti taj zakon od opovrgavanja. Štoviše, fizičar David Bohm je pokazao da je takvu silu moguće strogo definirati i za svaki konkretan slučaj izvesti iz odgovarajuće kvantnomehaničke valne funkcije. Po njemu je standardna, općenito prihvaćena kvantna mehanika tek dio priče o atomskom svijetu, dio koji smo krivo protumačili kao potpun prikaz tog svijeta.

Ta nas pretpostavka vodi na posve drukčiju predodžbu atomskog svijeta, mnogo sličniju onoj izvedenoj iz Newtonove mehanike. U okviru te slike se atomski predmeti ne shvaćaju kao nepredočiva bića, već kao obične čestice koje se deterministički gibaju po određenim putanjama, u skladu s Newtonovim zakonom gibanja, a pod utjecajem klasičnih sila i jedne neklasične, "kvantne" sile. Između svijeta atoma i svijeta našeg svakidašnjeg iskustva nema fundamentalne razlike, osim učinaka kvantne sile. No i u takvoj slici svijeta nailazimo na ozbiljne probleme, od kojih je najveći narav kvantne sile, koja ima neka veoma teško razumljiva i nepoželjna svojstva. Kako bilo da bilo, Newtonov zakon gibanja ne možemo mirne duše smatrati opovrgnutim na slučaju gibanja atomskih predmeta.

Za koju se sliku svijeta odlučiti?

Tragajući za slikom svijeta po kvantnoj mehanici našli smo se u neočekivanoj situaciji. Imamo pred sobom dvije teorije gibanja atomskih predmeta, u biti različite, premda sadrže neke zajedničke elemente. Obje su u stanju objasniti i pretkazati rezultate svih izvedenih pokusa s atomskim predmetima, ali na temeljito različite načine, i stoga upućuju na temeljito različite slike svijeta. Prema jednoj se atomski svijet korjenito razlikuje od svijeta svakidašnjeg iskustva, to je svijet slučajnih događaja i nepredočivih bića kojima vladaju kvantnomehanički zakoni, a iz kojeg, na nama još uvijek nejasan način, izranja predodređen i predočivi svijet makroskopskih tijela i događaja. Prema drugoj je atomni svijet u biti jako nalik svijetu svakidašnjeg iskustva, čine ga predočive čestice koje se gibaju u skladu s Newtonovim zakonom gibanja, a pod utjecajem tajnovite kvantne sile. Kako se u takvoj situaciji odlučiti, na temelju čega možemo reći koja je od tih slika ispravna ili barem bliža zbiljskom stanju stvari u svijetu atoma?

Očigledno se ne možemo odlučiti na temelju iskustva, jer obje slike, barem koliko danas znamo, jednako dobro pretkazuju rezultate svih pokusa. Neki filozofi smatraju da pri odlučivanju u takvim situacijama važnu ili čak odlučujuću ulogu igraju fizičari izvanjski čimbenici, poput filozofskih i estetskih sklonosti, ustroja znanstvene zajednice, pa čak i političkih uvjerenja i društvenoga statusa: fizičari se u pravilu ne mogu racionalno, tj. na temelju iskustva, opredijeliti za neku od raspoloživih alternativa te se stoga povijest fizike može razumjeti jedino na temelju psiholoških i socioloških istraživanja znanstvene zajednice. Takva istraživanja uloge društvenih faktora u oblikovanju i prihvaćanju fizičkih teorija, koja u ekstremima vode na shvaćanje fizičke slike svijeta kao suvremenog mita kojeg fizičari svojim autoritetom nameću društvu, danas su prilično popularna u okviru sociologije znanosti.

Ogradimo li se od takvih pretjerivanja, moramo ipak priznati da još ne postoje neupitni razlozi koji bi nas nužno prisilili da prigrlimo jednu od ocrtanih alternativnih slika atomskog svijeta. Situaciju dodatno usložnjavaju drukčiji stavovi o naravi kvantne mehanike, poput onih Nielsa Bohra i Alberta Einsteina. Obojica su, iz različitih

razloga, tvrdili da nije opravdano utemeljiti sliku svijeta na toj teoriji. Po Bohru kvantna mehanika uopće ne opisuje ponašanje samih atomskih predmeta, već ponašanje nerazdruživih cjelina koje oni u pokusima čine s mjernim uređajima u koje su uronjeni, što je istodobno krajnja granica naših mogućnosti prodora u atomski svijet. Po njemu je makroskopski svijet valjano opisan klasičnom fizikom, dok se kvantna fizika ne odnosi na atomski svijet, već na “međusvijet” u kojem se susreću i stapaju atomski predmeti i mjerni uređaji. Stoga nije opravdano izvoditi iz kvantne mehanike zaključke o naravi atomskoga svijeta. Einstein je pak smatrao da se tu radi o pomoćnoj, privremenoj teoriji, koja statistički opisuje ponašanje mnoštva atomskih predmeta, a ne ponašanje jednog jedinog (stoga iz nje ne smijemo izvoditi zaključke o naravi pojedinačnih atomskih predmeta) te da fizika tek treba razviti takvu teoriju.

Nakon stotinjak godina razvoja kvantne teorije još uvijek nema jednodušnosti o tome na kakvu nas sliku svijeta navodi suvremena fizika. U takvoj je situaciji korisno svratiti pogled na povijest fizike i uočiti da su prilike, unatoč nekim važnim razlikama, ipak poprilično nalik onima u ranim danima obnovljenoga sukoba Ptolemejeve geocentrične i Kopernikove heliocentrične slike svijeta u drugoj polovici 16. stoljeća. Tadašnji su astronomi raspolagali s dva geometrijska modela svemira (kojima se uskoro pridružio i treći, onaj Bracheov), koji su se podjednako dobro slagali s rezultatima motrenja i koji su dijelili mnoštvo teorijskih pretpostavki, a koji su, s druge strane, upućivali na korjenito različite slike svijeta. Premda se astronomi u to vrijeme uistinu nisu mogli “racionalno”, tj. na temelju čvrstih argumenata, opredijeliti za neku od raspoloživih alternativa (a ipak se općenito jesu opredjeljivali), danas pouzdano znamo da se Zemlja vrti oko Sunca, a ne obratno. A taj nas primjer, kao i suvremena filozofska promišljanja, uči upravo tome da se kroz instrumente i pokuse zbilja svijeta naposljetku probija u fizičku sliku svijeta i odlučujuće je oblikuje i pročišćuje, ma koliko se u toj slici možda zrcalila naša preduvjerenja, sklonosti i društvene metafore; da je razvoj fizike uistinu napredak u razumijevanju zbilje, a ne tek niz po dogovoru prihvaćenih bajki o svijetu neovisnih o zbilji, te da je fizika u stanju unutar sebe naći sredstva za razrješenje opisane dvojbe, premda će ono očigledno zahtijevati dodatne teorijske i eksperimentalne napore iz kojih mogu uslijediti velika iznenađenja.

