

FIZIKA

Željeznica i pojam vremena u fizici

Nenad Raos[1]

Teško da ima čovjeka koji se bar jednom u životu nije zapitao ima li *svemir kraj*, a *vrijeme početak. Što se nalazi iza Einsteinova velikog svemira ili što je bilo prije Velikog praska*, da prilagodimo to vječno pitanje našem vremenu. Ljudi se pitaju, traže odgovor, a opet ga ne nalaze – niti će ga ikad naći. Konačan odgovor na to pitanje (ako u filozofiji išta može biti konačno) dao je njemački filozof Immanuel Kant u *Kritici čistoga uma* 1787. godine. Prva njegova antinomija čistoga uma (ili točnije, "Prvi sukob transcendentnih ideja u antinomiji čistoga uma") glasi: "Svijet ima svoj početak u vremenu, i po prostoru je isto tako zatvoren u granice". To bi bila teza, a antiteza je: "Svijet nema nikakvog početka u vremenu niti ikakvih granica u prostoru, nego je, kako u pogledu vremena tako i u pogledu prostora, bezgraničan".

Ne može se dokazati ni teza niti antiteza, kaže Kant, jer govorimo o nečemu, prostoru i vremenu, što ne može biti predmet iskustva, jer za njemačkog filozofa vrijeme i prostor nisu imanentni nego transcendentni pojmovi. Drugim riječima, vrijeme i prostor su preduvjet svakog iskustava, ali oni sami po sebi nisu nešto što se može spoznati iskustvom. Mnogo se oko toga mudrovalo, napadalo Kanta s ove i s one strane, govorilo se da to što je rekao možda vrijedi za Newtonovu, ali ne i za Einsteinovu fiziku. No kako bilo da bilo, Kant je shvaćao prostor i vrijeme na svoj način, kao što ga je na svoj način shvaćao svaki filozof i fizičar. Za Kanta su prostor i vrijeme bile čiste forme opažanja. Jednostavno rečeno, sve što opažamo mora biti u nekom prostoru i u nekom vremenu, sve što se opaža ili se može opažati, mora biti takvo da se može opisati prostornim i vremenskim koordinatama (x, y, z, t), da kažemo jezikom fizike. Ne možemo govoriti o nečemu što se nije dogodilo nigdje i nikada, štoviše ne možemo nešto takvo ni zamisliti. Vrijeme i prostor omeđuju područje našeg, kako stvarnog tako i mogućeg iskustva, ali oni sami su "čisti" od svakog empirijskog sadržaja, od svakog iskustva.

No, pustimo sada Kanta i njegovu filozofiju. Razmotrimo li sve teorije vremena i prostora koje su postavljali fizičari i filozofi tijekom stoljećâ, izdvajaju se dvije skupine. Prva kaže da je vrijeme (i, naravno, prostor) subsistencija, a druga da je vrijeme inherencija. Jednostavnije rečeno, vrijeme i prostor su nužan uvjet postojanja stvari (subsistencija) ili su pak nužna poljedica postojanja stvari (inherencija). Još jednostavnije: kad ne bi bilo vremena i prostora ne bi moglo ništa postojati (prva teorija), kad ne bi ništa postojalo, ne bi postojao ni prostor ni vrijeme (druga teorija).

Newton očito shvaća vrijeme i prostor kao subsistencije, kao samostalna, dapače apsolutna bića. Ima indicija da je Newton svoje učenje o prostoru preuzeo iz židovske teologije (jer prostor ima atribute Boga), no ja ne bih išao tako daleko. Radije bih pošao od naslova njegova kapitalnog djela *Philosophiae naturalis principia mathematica* iz 1687. godine. Ako korijeni (*principia*) fizike (*philosophia naturalis*) leže u matematici, onda su i njezini osnovni pojmovi matematički. To se već vidi po tome kako Newton definira

[1] Autor je hrvatski kemičar i publicist. Od 1977. radio je u Institutu za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu. Dobitnik je nagrade Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti (1997.) i Državne nagrade za popularizaciju i promidžbu znanosti (2003.).

vrijeme (*tempus absolutum, verum et mathematicum*), ali ono vrijeme na temelju kojeg se jedino može izgraditi fizika (jer se na onom drugom, "pučkom" (*a vulgo*) vremenu, kaže Newton, fizika ne može zasnovati). Rekavši da je vrijeme apsolutno = istinsko = matematičko, sveo ga je zapravo na aksiom, na nešto što se, kako znamo, prihvaća, ali se ne dokazuje. Iz tog je aksioma potom izveo sve ostalo – brzinu, akceleraciju, silu, veličinu gibanja – kao teoreme.

Gledajući očima suvremenog fizičara, vidimo da je Newtonov *tempus absolutum* bilo zapravo astronomsko, zvjezdano vrijeme. To je vrijeme koje se mjeri pasažnim ili, kako se još zvao, meridijanskim instrumentom. Sat je bila Zemlja (u okretanju oko svoje osi) čije su "kazaljke" bile zvijezde stajačice. Newton očito nije bio svijestan činjenice da u svoj sustav uvodi Aristotelovu pretpostavku o *vječnom*, dakle nepromjenjivom gibanju zvijezda iako je upravo svojim zakonom inercije pobio Aristotelovu tezu o kružnom, a ne pravocrtnom gibanju kao vječnom gibanju.

Takva je predodžba vremena bila sasvim u skladu s načinom na koji se od pamtivijeka mjerilo vrijeme. Grci su mjerili vrijeme prema sjeni čovjeka ili štapa, poslije su se izrađivale svakojake vrste Sunčevih satova, a nakon toga – u Newtonovo vrijeme – u svakom je gradu postojao sat na zvoniku (ili sahat-kula) prema kojem su građani namještali svoje satove. Svako je mjesto imalo svoje, danas bismo rekli, lokalno vrijeme. No onda se sa željeznicom sve promijenilo.

Vlak ne može voziti kako god, kako se strojovođi svidi, nego po voznom redu. Vlak kreće iz Pariza u 12:00, a stiže u Dijon u 18:35. Kada stiže u Dijon? Da li onda kada sat na pariškom ili na dižonskom kolodvoru pokazuje 18:35? A što je s usputnim stanicama? Koje vrijeme pokazuju njihovi satovi?

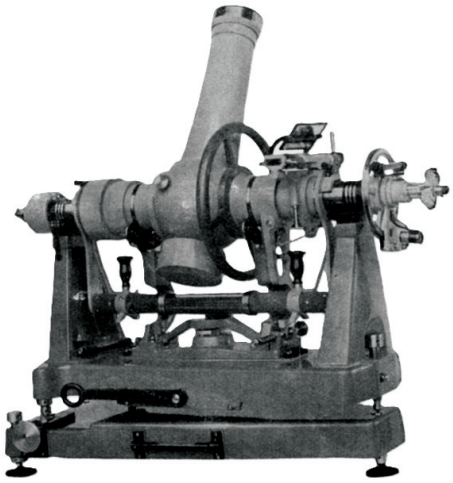
Četrdesetih godina 19. stoljeća željeznička su poduzeća u Engleskoj rješavala taj problem na upravo ingeniozan način: svako je poduzeće imalo svoje vrijeme! "Svakog jutra kurir je admiraliteta dežurnom službeniku poštanskog vlaka (Irish Mail), koji vozi od Eustona (londonskog kolodvora) za Holyhead, isporučio sat s točnim vremenom", piše neki suvremenik. "U Holyheadu sat bi se predavao službenicima kingstonske skele, koji bi ga odnosili u Dublin. Na povratku bi se sat u Eustonu ponovno predao kuriru admiraliteta". Jasno je: vrijeme se može definirati na mnogo načina – pa kako onda znati koje je vrijeme *apsolutno* i *istinsko*, baš ono njutnovsko?

Svu je dubinu tog problema shvatio francuski matematičar i astronom Jules Henri Poincaré (1854. – 1912.), kojega, ne bez razloga, smatraju pretečom, ako ne i suotkrivačem specijalne teorije relativnosti.[2] Ono što nas ovdje zanima je da se Poincaré bavio, između ostalog, standardizacijom vremena za potrebe željeznice, ali je sigurno bio upoznat i s problemom sinkronizacije javnih satova u Parizu. Oni su se isprva usklađivali tako da je u određeno doba dana do svakog sata stizao pneumatski (a kasnije električni) signal koji ga je podešavao na točno vrijeme. Zračni udar širi se cijevima brzinom zvuka, dakle 340 $\mathrm{m/s}$. Kada treba poslati impuls? Pošalje li signal svim satovima istovremeno, jasno je da će svaki sat pokazivati drugo vrijeme: sat udaljen 1360 metara kasnit će za satom udaljenim 340 metara za tri sekunde, a ni taj neće pokazivati isto vrijeme kao sat s kojeg je poslan signal. Možemo sada gledati dalekozorom, pokazuju li svi satovi isto vrijeme, no ni to ne rješava problem. Opet nekakav signal, ovaj put svjetlosni, putuje od sata do promatrača, pa će udaljeniji satovi zaostajati. To što se svjetlost širi milijun puta većom brzinom od brzine zvuka, pa je zaostajanje sata nemjerljivo, samo je tehnički problem, ništa se suštinski ne mijenja. Vrijeme ne postoji neovisno o načinu njegova mjerenja, ono teče

[2] Godine 1900. Poincaré je postavio četiri teze: 1. nema apsolutog prostora, 2. nema apsolutnog vremena, 3. ne možemo imati valjane predodžbe o dva simultana događaja na dva različita mjesta, 4. nije li Euklidova geometrija samo vrsta jezične konvencije?

upravo onako kako ga definiramo. Tako je željeznica dovela do rastakanja Newtonovog pojma vremena, apsolutnog vremena ili – filozofski rečeno – vremena kao subsistencije. Vrijeme je opet postalo inherencija, *opći poredak stvari*, kako je rekao Leibniz.

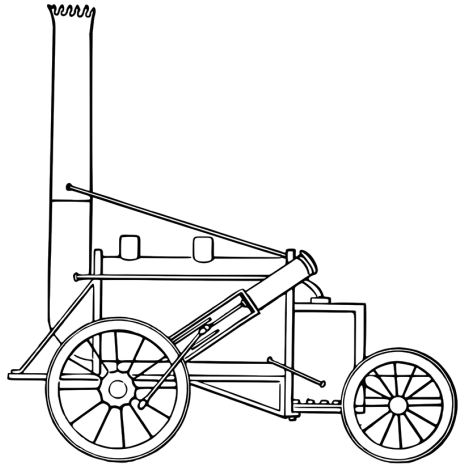
No željeznica nije dovela samo do rastakanja pojma vremena, nego i pojma prostora. Njemački pisac Wolfgang Schivelbusch donosi nam u knjizi *Povijest putovanja željeznicom* mnoga svjedočanstva o tome. Ljudi su se pojavom željeznice suočili s brzinom putovanja nezamislivom u vrijeme kada su se poštanske kočije kretale brzinom od jedva 10–15 km/h: "Jurili smo brže nego da nas je Apolon vozio u sunčevim kolima", opisao je neki suvremenik svoje prvo putovanje željeznicom. Njemački pjesnik Heinrich Heine piše 1843. godine povodom otvaranja nove linije od Pariza do Rouena i Orleansa: "Kakve li sad promjene moraju nastupiti u našem načinu gledanja i predočavanja! Poljuljali su se čak i elementarni pojmovi prostora i vremena. Željeznicom se ubija prostor i preostaje nam još samo vrijeme. Čini mi se kao da se brda i šume svih zemalja približavaju Parizu."



Slika 1. Uređaj za mjerenje apsolutnog vremena: pasažni instrument. Mjeri vrijeme prelaska (pasaža) određene zvijezde preko meridijana kroz koji prolazi os teleskopa.

O kojem i kakvom to prostoru i vremenu govori Heine? Govori, rekli bismo, o našem doživljaju prostora i vremena, dakle o čisto psihološkoj, a ne fizičkoj kategoriji. No nije baš tako. Brzina je funkcija prostora i vremena, ali su vrijeme i prostor isto tako funkcije brzine. Newton je izveo brzinu iz apsolutnog prostora i isto tako apsolutnog vremena, no nije li trebalo učiniti upravo obratno, vrijeme i prostor izvesti iz brzine?

Ta mi je misao pala na pamet kad sam čitao predavanja američkog filozofa Alfreda Northa Whiteheada. On je naime rekao za materiju da je "pogrešno smještena konkretnost". Što to znači? Materija, a ja bih rekao prostor i vrijeme, nije nešto što je neposredno dano, nešto što se može kao takvo iskusiti (Kant!). Ono što neposredno doživljavamo je događaj i od njega, od onoga što je neposredno dano, izvodimo pojmove. Svaki pojam, kažu pozitivisti, mora biti izveden iz iskustva, neposrednog i konkretnog. To vrijedi i za pojmove prostora i vremena. Oni proizlaze iz promjene ili točnije, iz brzine promjene. Vrijeme je promjena (brzina) bez prostora; prostor je promjena (brzina) bez vremena. Tako se prostor i vrijeme pokazuju kao prikaz idealiziranih događaja, onih koji ne postoje u prirodi, ali se mogu zamisliti. Riječ je dakle o misaonom eksperimentu. Na njega smo se, međutim, već toliko navikli da ga više i ne smatramo plodom mašte, nego ga uzimamo kao nešto zbiljsko, konkretno.



Slika 2. Prva lokomotiva predviđena za putnički promet, Stevensonov Rocket iz 1827. godine, mogla je postići brzinu od $47\ km/h$. *Sredinom 19. stoljeća lokomotive su već mogle voziti brzinom od* $120–130\ km/h$.

I sada, možda, postaju jasniji paradoksi teorije relativnosti[3] i kvantne fizike, novi pojmovi prostora i vremena protiv kojih govori zdrav razum, pa ipak nužno proizlaze iz eksperimenata nove fizike. Tako mora biti jer su naši pojmovi prostora i vremena u neposrednoj vezi s našim svakodnevnim iskustvom (koje ne prelazi granice klasične, Newtonove mehanike) dok su pojmovi prostora i vremena u kvantnoj fizici povezani s događajima u svijetu molekula, atoma i još sitnijih čestica, a u teoriji relativnosti s događajima koji vode do postanka zvijezda i galaksija, pa i čitavog svemira. Zbog istog su razloga vrijeme i prostor pri putovanju željeznicom dobili drugi smisao od onih koji im je dao Newton, usprkos činjenici – koju autor knjige *Povijest putovanja željeznicom* često ističe – da je željeznica tehnički izum koji najbolje utjelovljuje prvi Newtonov zakon mehanike.

[3] Prema jednoj anegdoti Einstein je došao do specijalne teorije gledajući se u zrcalo na suprotnom zidu kupea: "Bih li se vidio u zrcalu da vlak juri brzinom svjetlosti?" Evo još jedne veze željeznice s Einsteinovom teorijom!