

Date: 2003-04-29

Revision: 1.2

Putovanje kroz vrijeme

Krešimir Kumerički

Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu P.O.B. 331, HR-10002 Zagreb, kkumer@phy.hr

(bilješke za TV emisiju)

1 Definicija

Kroz vrijeme zapravo ne možemo *ne putovati* u smislu da ćemo iz vremenske točke koju zovemo “srijeda” neizbježno doputovati u kasniju vremensku točku, “četvrtak”. To se ipak ne običava nazivati “putovanjem kroz vrijeme”, već se taj izraz obično odnosi na mogućnost povratka u prošlost ili, ponekad, i na mogućnost ubrzanog puta u budućnost.

2 Teorija puta kroz vrijeme

Današnja fizika promatra prostor i vrijeme skoro isključivo u okviru Einsteinove teorije relativnosti — teorije koja daje precizan i nedvosmislen opis makroskopskih svojstava prostora i vremena. S druge strane, pouzdano znamo da Einsteinova teorija ne opisuje ispravno mikroskopska svojstva prostora i vremena, na udaljenostima mnogo manjim od atoma. Tamo je valja zamijeniti tzv. teorijom *kvantne gravitacije* koja usprkos velikom trudu fizičara još uvijek ne postoji.

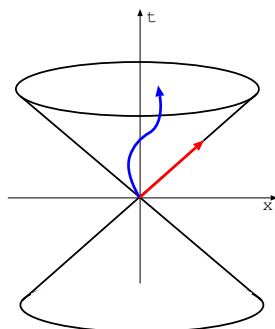
To je nesretna okolnost jer se ispostavlja da konačan odgovor na pitanje da li je moguće putovati u prošlost nije moguće dati bez poznavanja te potpunije teorije prostora i vremena. Ovo ipak ne sprečava fizičare da spekuliraju o mogućnosti puta kroz vrijeme u okviru prirodnih zakona koji su im trenutno poznati.

3 Relativistički blizanci — protok vremena ovisi o gibanju promatrača

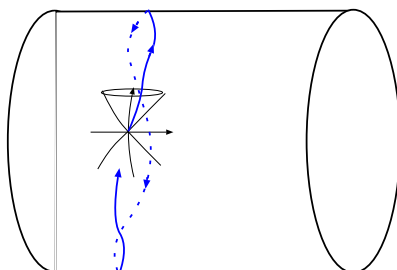
U specijalnoj teoriji relativnosti prostor i vrijeme gube svoju apsolutnu prirodu kakvu imaju u Newtonovoj klasičnoj mehanici, te postaju jedinstveni četverodimenzionalni entitet zvan *prostor-vrijeme*. (Slika 1)

Kao posljedica toga, protok vremena počinje ovisiti o gibanju promatrača. Poznat je slučaj blizanaca od kojih jedan putuje velikom brzinom kroz galaktiku i nakon povratka na Zemlju ustanovljava da je njegov brat ostario mnogo više od njega. Takve pojave se svakodnevno primjećuju u fizičarskim eksperimentima i zaista nema nikakve sumnje da je u određenoj mjeri moguće kontrolirati gibanje kroz vrijeme. Stvari međutim postaju krajnje problematične kad se upitamo da li je moguće otputovati u prošlost.

Specijalna teorija relativnosti sugerira matematičku mogućnost: gibanje brže od svjetlosti bi omogućilo gibanje u prošlost. Međutim, ista teorija apsolutno zabranjuje takvo gibanje i sasvim je sigurno da je nemoguće putovati u prošlost utrkujući se sa zrakom svjetlosti.



Slika 1: Uzmimo neki događaj u prostor-vremenu i postavimo ga u ishodište koordinatnog sustava. (Na gornjoj slici prostor ima samo dvije dimenzije od kojih je jedna označena osi x , a druga je okomita na nju i na papir. Vrijeme je treća dimenzija označena pomoću osi t . Stvarno prostor-vrijeme ima još jednu prostornu dimenziju, os z , koja je na gornjoj slici silom prilika zanemarena.). Zrake svjetlosti emitirane (crvena strelica) ili apsorbirane u tom događaju opisuju tzv. *svjetlosni stožac*. Sav utjecaj našeg događaja (iz ishodišta) i gibanje mase i energije (plava strelica) ograničeno je na taj stožac i ne može izaći iz njega jer se ne može gibati brže od svjetlosti. Kao posljedica toga, gibanjem u ravnom prostor-vremenu se ne može doći u u donji poluprostor tj. u prošlost.



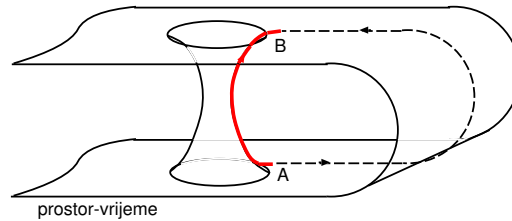
Slika 2: Prostor-vrijeme bi moglo u načelu imati oblik cilindra. U tom slučaju moguće je dospjeti u vlastitu prošlost, a da se nijednom ne prekrši pravilo o gibanju isključivo unutar svjetlosnog stošca. (Usput, imajte na umu da se to pravilo primjenjuje tako da nakon što ste se malo pomakli morate konstruirati novi stožac s vašim novim položajem kao ishodištem.)

4 Petlje u prostor-vremenu

Ono što nam preostaje jest iskoristiti činjenicu da prostor-vrijeme usljed gravitacijskog djelovanja mase i energije može biti zakrivljeno. U specijalnim okolnostima zakrivljenje bi moglo biti takvo da materija, gibajući se (sporije od svjetlosti) po neobičnoj petlji u prostor-vremenu, završi u svojoj vlastitoj prošlosti. (Slika 2.) Takve petlje se stručno nazivaju *zatvorene petlje vremenskog tipa*, no riječ je naprosto o dijelu prostor-vremena koji funkcionira kao vremeplov. Ključno je pitanje da li je u prirodi zaista moguće postojanje takvih petlji? Ako jest, da li je moguće umjetno manipulirati prostor-vremenom tako da načinimo vremeplov?

5 Konstrukcija vremeplova — crvotočine

Jedan od načina konstrukcije vremeplova je uporaba svemirskih crvotočina. Crvotočine su cijevi koje povezuju udaljene točke prostora tako da put kroz njih može biti mnogo kraći nego put kroz normalni prostor. (Slika 3.) U načelu, crvotočina bi mogla biti takva da nam omogući put na drugi



Slika 3: Crvotočina spaja dva udaljena dijela prostora. Tako je moguće od točke A do točke B doći kraćim putem kroz crvotočinu (crvena puna linija) brže nego što svjetlost obavi put kroz normalni prostor (crna crtkana linija).

kraj galaktike za svega par sekundi, dok svjetlost putujući kroz normalni prostor do tamo treba tisuće godina. Premda smo se sa svjetlošću utrivali nesporski upotrijebivši prečicu kroz crvotočinu rezultat se računa tj. ispada da smo efektivno putovali brže od svjetlosti i teorija relativnosti pokazuje da takvu crvotočinu (ako se njeni krajevi stave u relativno gibanje) možemo iskoristiti kao vremeplov i možemo se vratiti s drugog kraja galaktike prije nego smo uopće krenuli na put.

Ostaje pitanje da li je postojanje crvotočina u skladu sa svim poznatim zakonima fizike i ako jest da li bismo ih mogli konstruirati kad bismo raspolagali dovoljno naprednom tehnologijom. Na primjer, naivni pokušaj konstrukcije crvotočine nekakvim “rezanjem i lijepljenjem” prostora je vrlo težak jer implicira određene beskonačnosti u točki reza. Jedna od ideja za prevladavanje ovakvih “konstrukcijskih” problema se zasniva na činjenici da ono malo što znamo o gravitaciji u mikro-svijetu sugerira da prostor-vrijeme mikroskopski gledano nije kontinuirano već neka vrsta pjene prepune mikroskopskih crvotočina. Možda bi izvanredno napredna tehnologija mogla omogućiti da se neka od tih mikro-crvotočina uzme i “napuhne” do kozmičkih razmjera.

6 Egzotična tvar

Crvotočina u prostor-vremenu se obično vrlo brzo steže i puca prije negoli bilo što može proći kroz nju. Da bi se ona učinila dovoljno stabilnom da može poslužiti kao vremeplov, nužno je ojačati je tzv. egzotičnom tvari. Ta tvar ima neobična svojstva: njena masa je negativna i ponaša se, grubo govoreći, antigravitacijski. Problem je da takvu tvar nismo nikad vidjeli u prirodi i ne znamo da li je njeno postojanje uopće dopušteno zakonima fizike.

Jedna od indicija da egzotična tvar nije samo san ambicioznih konstruktora vremeplova dolazi nam iz astronomskih promatranja koja posljednjih godina snažno ukazuju na to da je čitav svemir prožet nečim što se u žargonu naziva *tamna energija* koja se ponaša upravo kao i egzotična tvar — tjera svojim antigravitacijskim ponašanjem svemir na ubrzano širenje.

(Ova tamna energija je razmjerno novo otkriće posljednjih godina i različita je od misteriozne tamne tvari koja već tridesetak godina zaokuplja fizičare. Tamna tvar ima obična gravitacijska svojstva i pozitivnu energiju.)

S druge strane, moguće je da ova svemirska tamna energija nije u pravom smislu neka *tvar* od koje bi bilo moguće načiniti vremeplov već samo specijalno svojstvo vakuuma. (Slična je situacija s običnom energijom vakuuma, poznatom iz tzv. Casimirovog efekta, za koju znamo da postoji, ali je ne možemo iskoristiti u praktične svrhe poput grijanja vode u bojleru.)

Važna uloga egzotične tvari je dodatno istaknuta istraživanjima koja pokazuju da je bilo kakva konstrukcija vremeplova, pomoću crvotočina ili bilo kako drugačije, nemoguća bez takve tvari.

(Jedina iznimka su eventualni prirodni vremeplovi koji postoje oduvijek ili se beskonačno protežu

kroz prostor, poput tzv. Gödelovog svemira ili Gottovog sustava dvije kozmičke strune.)

7 Kvantna gravitacija i slutnja o zaštiti vremenskog uređenja

Pri konstrukciji vremeplova nailazimo i na probleme izazvane kruženjem energije u vremenskoj petlji. Kako jedan te isti foton (preciznije, riječ je o virtualnim fotonima iz kvantnih fluktuacija vakuuma) kruži on se višestruko superponira i zbraja sa samim sobom te u datoj točki prostor-vremena energija postaje enormno velika i uništava vremeplov čim isti nastane. Neke grube poluklasične-polukvantnomehaničke analize sugeriraju da je ovakvo ponašanje generičko tj. da prirodni zakoni sprečavaju nastanak zatvorenih vremenskih petlji. To nije dokazana činjenica već samo slutnja koju je Hawking nazvao slutnja o zaštiti vremenskog uređenja (*chronological protection conjecture*).

8 Kauzalnost i paradoks samoubojstva

Ukoliko zanemarimo fizikalne probleme pri konstrukciji vremeplova, ostaje nam pitanje da li je postojanje vremeplova u sukobu s elementarnom logikom. Klasičan je prigovor mogućnosti putovanja kroz vrijeme paradoks samoubojstva. Pretpostavimo da se temponaut vrati u prošlost i ubije samog sebe dok je još bio dijete. No onda on neće ni odrasti, a kamoli ući u vremeplov i ubiti se. Logička kontradikcija je očita i pitanje je kako priroda može spriječiti takvu situaciju, a da svejedno dopusti putovanje kroz vrijeme.

Primjetimo najprije da nam se tu umiješalo pitanje da li čovjek u životu postupa po svojoj slobodnoj volji ili je on samo dio velikog svemirskog mehanizma pa je svaki naš čin, uključujući ulazak u vremeplov i ubijanje samog sebe određen zakonima fizike i početnim uvjetima u trenutku nastanka svemira. Kako bi izbjegli zadiranje u to kompleksno filozofsko pitanje znanstvenici se ograničavaju na analizu maksimalno jednostavnih mehaničkih sustava. Tako se na primjer pitaju što se događa ako instaliramo vremeplov na bilijarski stol i pošaljemo bilijarsku kuglu u prošlost upravo tako da nakon izlaska iz vremeplova udari i skrene samu sebe s putanje prema vremeplovu. To je paradoks skoro ekvivalentan paradoksu samoubojstva, ali kojeg je moguće egzaktno opisati jednadžbama fizike.

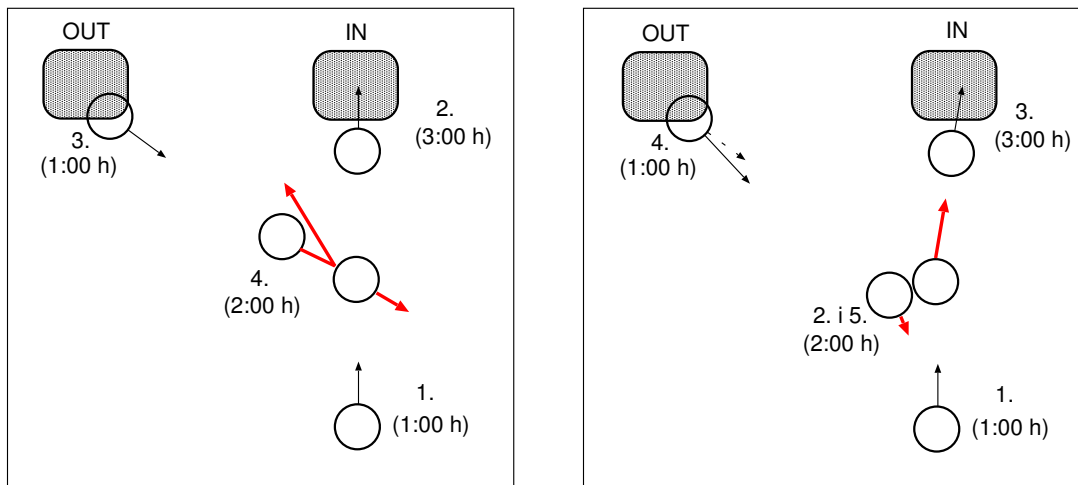
Analize pokazuju da uvijek postoji konzistentno rješenje situacije. U primjeru s bilijarom kugla može uz iste početne uvjete samo okrnuti samu sebe i malo se skrenuti s putanje tako da nakon prolaska kroz vremeplov ne dođe do čeonog sudara već samo do spomenutog okrnuća i kontradikcija nestaje. (Slika 4.)

Analogno samoubojica loše gađa i samo ranjava samog sebe što mu naruši zdravlje i više ne može vješto rukovati oružjem pa zato loše gađa u tom pokušaju samoubojstva. Tako putovanje vremeplovom postaje vrlo čudno, uzroci i posljedice se miješaju i gube svoj identitet, ali elementarno logičko protuslovlje je izbjegnuto.

(Zanimljivo je da studije pokazuju da vremeplov zapravo u većini slučajeva ne ograničava moguće događaje u prirodi već upravo suprotno: isti početni uvjeti mogu rezultirati brojnim neprotuslovnim mogućnostima. Dolazi do neke nove vrste temeljne neodređenosti u prirodi, različite od one koju nam donose kvantna mehanika ili teorija kaosa.)

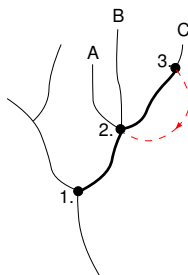
9 Multiverzum

Drugačiji pristup ovakvim logičkim problemima je putem takozvane ideje multiverzuma. Riječ je o neobičnoj mogućnosti da se svemir u svakom trenutku rascjepljuje na mnoštvo svemira i svaka



Slika 4: Vremeplov je u oba slučaja predstavljen područjima IN i OUT. Sve ono što uđe u IN izađe dva sata ranije iz OUT i to, ovog primjera radi, sa smjerom impulsa zakrenutim za 120 lučnih stupnjeva. **Lijeva strana:** Kugla kreće prema vremeplovu IN u 1:00 h (1.). Kugla ulazi u vremeplov (2.) i izlazi iz njega dva sata ranije (3.). Kugla u 2:00 udara u svoju mlađu varijantu (4.), odbije je s putanje i tako sprečava njen originalni upad u vremeplov. Imamo kontradikciju: kugla i jest i nije ušla u vremeplov. **Desna strana:** Kugla kreće prema vremeplovu IN u 1:00 h (1.) s *identičnim početnim uvjetima* kao u lijevom slučaju. U 2:00 biva okrznuta (2.) i malo skrenuta s putanje. Kugla ulazi u vremeplov (3.) i izlazi iz njega dva sata ranije (4.) sa smjerom gibanja malo zakrenutim nego u lijevom slučaju. Kugla u 2:00 udara u svoju mlađu varijantu (5.), ali budući da joj je smjer gibanja malo drugačiji ona je ne odbije sasvim s putanje već je samo malo skreće, baš kao što smo vidjeli u (2.). Sve je konzistentno.

mogućnost se realizira u nekom od paralelnih svemira. U nekima od tih svemira Thuram je pao preko one lopte i Hrvatska je prvak svijeta u nogometu, a u nekima od svemira naš samoubojica je zaista uspio u svojem naumu i ubio se. (Slika 5.) Kontradikcije nema jer on ne mora preživjeti u svakom svemiru. Ovo može zvučati kao znanstvena fantastika, ali mnogi ugledni fizičari ozbiljno shvaćaju ovakve ideje koje su zapravo inspirirane neobičnim svojstvima kvantne mehanike.



Slika 5: Naš temponaut se rađa (1.), odrasta (2.), ulazi u vremeplov (3.), putuje unatrag u vremenu (crvena crtkana linija) i izvršava samoubojstvo (2.). Samoubojstvo je uspješno, ali samo u paralelnim svemirima A i B.

10 Strijela vremena

Problemi koje vidimo u putovanju u prošlost su dobrim dijelom ukorijenjeni u našem osobnom razlikovanju prošlosti i budućnosti, uzroka i posljedica. Međutim, to je u mnogome samo manifestacija naše psihološke strijele vremena, a manje opće svojstvo prirode. Svi mikro-zakoni su (efektivno) invarijantni na inverziju toka vremena, a time i na zamjenu uloga uzroka i posljedica. (Jedino drugi zakon termodinamike jasno sugerira smjer toka vremena.) To znači da još uvijek ne razumijemo sasvim sve aspekte kauzalnosti u prirodi, niti ne znamo pravo porijeklo razlike između vremena i prostora.

11 Posjetioci iz budućnosti

Često se postavlja pitanje: Ako je putovanje u prošlost moguće, gdje su posjetioci iz budućnosti? Jedno od sasvim realnih objašnjenja je da neće biti moguće putovati u vrijeme prije konstrukcije prvog vremeplova. Naime, tek će se tada u prostor-vremenu pojaviti područje koje dopušta zatvorene vremenske petlje.

Literatura

1. K. Kumerički, K. Mišak and P. Prester, with special guest appearance by mr. Gorilla Eucalipto, *Na rubu znanosti*, emisija HRT, 28. travnja 2003. 23:00, 1. program
2. K. S. Thorne, *Black holes and time warps*, W.W. Norton, 1994.
3. S. W. Hawking, *Universe in a nutshell*, Bantam Press, 2001.
4. F. Arntzenius and T. Maudlin, *Time Travel and Modern Physics*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2000 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <http://plato.stanford.edu/archives/spr2000/entries/time-travel-phys/>
5. M. Visser, The quantum physics of chronology protection, <http://arXiv.org/abs/gr-qc/0204022>