

Albert Einstein

MOJA
TEORIJA

Prijevod i predgovor

Damir Mikuličić



§ 3. PROSTOR I VRIJEME U KLASIČNOJ MEHANICI

Ako bez velikih razmišljanja i detaljnih objašnjenja ovako formuliram zadatak mehanike: "Mehanika opisuje kako tijela vremenom mijenjaju svoje mjesto u prostoru", imat ću na savjesti nekoliko smrtnih grijehova počinjenih protiv svetog duha jasnoće; ove grijehove moramo razotkriti prije svega.

Nejasno je što se ovdje podrazumijeva pod riječima "mjesto" i "prostor". Stojim na prozoru željezničkog vagona i puštam da mi kamen iz ruke bez zamaha pada na nasip uz prugu. Vidim (zanemarim li utjecaj zraka) kako kamen pravocrtno putuje prema tlu. Međutim, neki pješak koji stoji uz prugu i promatra ovaj moj postupak zamjećuje

⁴⁾ Tek će u drugom dijelu ove knjižice, kad se bude govorilo o općoj teoriji relativnosti, biti potrebno mijenjanje i profinjenje ovog shvaćanja.

da kamen pada prema zemlji po luku parabole. Pitam sada: Leže li "mjesta", kroz koja "u stvarnosti" kamen pada, na pravcu ili na paraboli? Zatim, što ovdje znači gibanje "u prostoru"? Na osnovi razmatranja iz § 2. odgovor je sam po sebi razumljiv. Prije svega, ostavimo posve po strani tu mračnu riječ "prostor" pod kojom, iskreno priznavši, ne možemo zamisliti ama baš ništa; stavimo umjesto toga "gibanje u odnosu na neko praktički kruto referentno tijelo". Zovemo ga "referentno", zato jer se gibanje opisuje "u odnosu na" njega, a to u našem primjeru može biti vagon *ili* tlo. Ako umjesto "referentno tijelo" uvedemo za matematičko opisivanje prikladniji pojam "koordinatni sustav", možemo sada reći: Kamen putuje po pravcu u odnosu na koordinatni sustav kruto vezan sa željezničkim vagonom, a po paraboli u odnosu na sustav čvrsto vezan za tlo. Iz ovog je primjera jasno da neka staza gibanja ne postoji za sebe već samo kao staza gibanja u odnosu na neko određeno referentno tijelo.

Potpuni opis gibanja dobije se, međutim, tek onda kad navedemo kako tijelo vremenom mijenja svoje mjesto, što znači da se za svaku točku putanje mora navesti u koje vrijeme se tijelo tamo nalazi. Ovi se navodi moraju upotpuniti takvom definicijom vremena da se ove vremenske vrijednosti pomoću te definicije mogu smatrati za načelno uočljive veličine (rezultate mjerenja). Ovom zahtjevu udovoljavamo - stojeći i dalje na tlu klasične mehanike - u našem primjeru na sljedeći način: Zamislimo dvije posve jednako napravljene ure; jednu ima u ruci čovjek na prozoru željezničkog vagona, a drugu čovjek na putu uz prugu. Svatko od te dvojice ustanovljava na kojem se mjestu pripadnog referentnog tijela nalazi kamen upravo u trenutku kad se ura koju drži u ruci oglasi s "tik". Pri-

tom zanemarujemo problem netočnosti koja nastupa zbog konačnosti brzine širenja svjetlosti. O ovoj te o još jednoj ovdje postojećoj poteškoći bit će kasnije iscrpno govora.

§ 4. GALILEJEV KOORDINATNI SUSTAV

Kao što znamo, temeljni zakon Galilej-Newtonove mehanike, poznat pod imenom zakona tromosti, glasi: Neko, od drugih tijela dovoljno udaljeno, tijelo ustraje u stanju mirovanja ili jednolikog gibanja po pravcu. Ovaj temeljni stavak izriče ne samo nešto o gibanju tijela već također i o dopuštenim referentnim tijelima ili koordinatnim sustavima koji se smiju primijeniti prilikom opisivanja u mehanici. Zvijezde stajačice sigurno su tijela na koja se taj zakon tromosti može primijeniti s velikim stupnjem točnosti. Upotrijebimo li sad neki koordinatni sustav koji je čvrsto vezan sa Zemljom, tada u odnosu na njega opisuje svaka zvijezda stajačica tijekom jednog (astronomskog) dana krug ogromnog polumjera, što je u suprotnosti s doslovnim izričajem zakona tromosti. Držimo li se dakle čvrsto tog zakona, tada se gibanje smije odnositi samo na one koordinatne sustave u odnosu na koje se zvijezde stajačice ne gibaju po kružnici. Neki koordinatni sustav, čije je stanje gibanja takvo da u odnosu na njega vrijedi zakon tromosti, nazivamo "Galilejev koordinatni sustav". Zakoni Galilej-Newtonove mehanike imaju pravo na valjanost samo u tim Galilejevim koordinatnim sustavima.

§ 5. NAČELO RELATIVNOSTI (U UŽEM SMISLU)

Da bismo postigli što je moguće veću jasnoću pođimo opet od primjera željezničkog vagona u ravnomjernom gibanju. Njegovo gibanje nazivamo i jednoličnom translacijom ("jednoličnom", jer je stalne brzine i smjera, a "translacijom" jer u odnosu na željeznički nasip vagon mijenja doduše stalno svoje mjesto, ali se pritom ne vrti. Neka zrakom leti jedan gavran pravocrtno i jednoliko - promatrano sa željezničkog nasipa. Promatrano iz vagona u gibanju, gavran doduše leti nekom drugom brzinom i drugim smjerom, ali je i u tom slučaju let pravocrtan i jednolik. Da se izrazimo apstraktnim jezikom: Giba li se masa m jednoliko i pravocrtno u odnosu na koordinatni sustav K , tada se giba jednoliko i pravocrtno i u odnosu na drugi koordinatni sustav K' , koji se u odnosu na K također giba jednoliko i pravocrtno. Uzevši u obzir i izlaganja iz prethodnih paragrafa, iz toga slijedi:

Ako je K Galilejev koordinatni sustav, tada je neki drugi koordinatni sustav K' također Galilejev ukoliko je u stanju jednolikog translacijskog gibanja u odnosu na K . U odnosu na K' vrijede zakoni Galilej-Newtonove mehanike jednako kao i u odnosu na K .

Pođimo u poopćenju još jedan korak dalje pa izrecimo stavak: Ako je K' koordinatni sustav koji se u odnosu na K jednoliko giba bez vrtnje, tada se prirodne pojave u odnosu na K' odvijaju prema točno istim općim zakonima kao i u odnosu na K . Ovaj iskaz nazivamo "načelo relativnosti" (u užem smislu).

Sve dok smo bili uvjereni da se sva prirodna zbi-

vanja daju predstaviti pomoću klasične mehanike, nije se moglo sumnjati u valjanost tog načela relativnosti. Razvitkom elektrodinamike i optike postajalo je sve jasnije da klasična mehanika više nije dovoljna osnova za cjelokupno fizikalno opisivanje prirode. Time se postavilo i pitanje valjanosti načela relativnosti pa se pokazalo kako nije isključeno da bi odgovor na to pitanje mogao biti i niječan.

Postoje ipak dvije opće poznate činjenice koje odmah govore u prilog valjanosti načela relativnosti. Ako, naime, klasična mehanika i ne pruža dovoljno široku osnovu za teorijsko predočavanje *svih* fizičkih pojava, mora joj ipak pripasti vrlo značajna količina istinitosti; jer ona s divljenja vrijednom točnošću daje činjenično gibanje nebeskih tijela. Stoga i načelo relativnosti mora svakako vrijediti s velikom točnošću na području *mehanike*. A priori je, međutim, malo vjerojatno da jedno tako općenito načelo, koje s takvom preciznošću vrijedi na *jednom* području pojavnog zbivanja, otkazuje pak na drugom području pojavnog zbivanja.

Drugi argument, na koji ćemo se kasnije još vratiti, je sljedeći. Ako načelo relativnosti (u užem smislu) ne vrijedi, tada Galilejevi koordinatni sustavi K , K' , K'' itd, koji se jedan prema drugom jednoliko gibaju, neće za opisivanje prirodnih zbivanja biti *jednako vrijedni*. Tada bi bilo jedva nešto drugo zamislivo osim da se prirodni zakoni dadu formulirati posebno jednostavno i prirodno samo onda ako bi među svim Galilejevim koordinatnim sustavima kao referentno tijelo bio izabran *jedan* (K_0) s određenim stanjem gibanja. Njega bi tada s pravom (zbog njegovih prednosti u opisivanju prirode) obilježili kao "apsolutno mirujućeg", a sve preostale sustave K kao "pokretne". Ako bi, na primjer, naš željeznički našip bio taj sustav K_0 , tada

bi željeznički vagon bio sustav K u odnosu na kojeg bi vrijedili manje jednostavni zakoni negoli u odnosu na K_0 . Ova umanjena jednostavnost bi se svodila na to da se vagon ("doista") kreće u odnosu na K_0 . U općim prirodnim zakonima formuliranim u odnosu na K morala bi određenu ulogu igrati brzina i smjer vožnje vagona. Bilo bi, na primjer, za očekivanje da će ton jedne pištaljke čija je os postavljena paralelno sa smjerom vožnje vagona biti drukčiji negoli u slučaju kad je njena os okomita na taj smjer. Našu Zemlju možemo usporediti s vagonom koji se giba po tračnicama oko Sunca brzinom od oko 30 km u sekundi. Za očekivanje bi bilo stoga, u slučaju nevaljanosti načela relativnosti, da trenutni smjer gibanja Zemlje uđe u prirodne zakone, da bi dakle fizikalni sustavi u svojim ponašanjima trebali ovisiti o prostornoj orijentaciji prema Zemlji. Jer, zbog tijekom godine stalnih promjena smjera vektora brzine kružnog gibanja Zemlje oko Sunca, ne može ona cijele godine biti mirna prema hipotetskom sustavu K_0 . No unatoč svoj pažnji nije se nikada mogla zamijetiti takva anizotropija zemaljskih fizikalnih prostora, to jest fizikalna nejednakovrijednost različitih smjerova. To je jak dokaz u prilog načela relativnosti.

§ 6. TEOREM ZBRAJANJA BRZINA U KLASIČNOJ MEHANICI

Neka onaj, već često promatrani, željeznički vagon vozi po tračnicama stalnom brzinom v . Uzduž vagona neka hoda čovjek, u smjeru vožnje, brzinom w . Kako brzo, odnosno kojom brzinom W se čovjek u hodu pomiče naprijed u odnosu na željeznički nasip? Čini se da jedini mogući odgovor proizlazi iz sljedećeg razmišljanja:

Kad bi čovjek stajao mirno jednu sekundu, on bi se u odnosu na željeznički nasip pomaknuo naprijed za komad puta jednak brzini vagona v . U stvarnosti, međutim, prođe on hodajući u odnosu na pod vagon, dakle također i u odnosu na željeznički nasip, u toj sekundi i komad puta w koji je jednak brzini njegova hoda. Tijekom promatrane sekunde on dakle prevaljuje u odnosu na nasip ukupni put

$$W = v + w$$

Kasnije ćemo vidjeti da ovo razmišljanje, koje izražava teorem zbrajanja brzina u klasičnoj mehanici, ne može biti održivo, da se dakle upravo gore napisan zakon u stvarnosti ne obistinjuje. No još neko vrijeme gradit ćemo dalje razlaganje kao da je on točan.

§ 7. PRIVIDNA NESPOJIVOST ZAKONA ŠIRENJA SVJETLOSTI S NAČELOM RELATIVNOSTI

Jedva da postoji u fizici zakon jednostavniji od onog prema kojem se svjetlost širi u praznom prostoru. Svako školsko dijete zna ili misli da zna da se svjetlost širi pravocrtno brzinom $c = 300.000$ km/sek. Znamo doista s velikom točnošću da je ova brzina za sve boje svjetlosti ista; jer kad ne bi bilo tako, tada se prilikom prekrivanja neke zvijezde stajačice njenim tamnim pratiocem ne bi registrirao minimum zračenja istodobno za sve boje. Sličnim razmišljanjem, a u svezi s promatranjem dvojnih zvijezda, mogao je nizozemski astronom De Sitter također pokazati da brzina širenja svjetlosti ne može ovisiti o brzini gibanja tijela koje tu svjetlost emitira. Pretpostavka da bi ova brzina širenja ovisila od smjera "u prostoru" sama je po sebi nevjerojatna.

Kratko rečeno, držimo da se s pravom može vjerovati jednostavnom školskom zakonu o konstantnoj brzini svjetlosti c (u vakuumu)! Tko bi pak uopće mogao pomisliti da je ovaj jednostavan zakon fizičare, sklone savjesnom promišljanju svijeta, uvalio u najveće moguće misaone poteškoće. Ove se poteškoće očituju u sljedećem.

Samu pojavu širenja svjetlosti moramo dakako, kao i svaku drugu, dovesti u vezu s nekim krutim referentnim tijelom (koordinatnim sustavom). Uzmimo opet da je to naš željeznički nasip. Zamislimo da smo iznad njega odstranili zrak. Duž nasipa pošaljemo jednu zraku svjetla čiji "vrh" u odnosu na nasip putuje brzinom c . Po željezničkoj pruzi neka opet vozi naš željeznički vagon brzinom v i to u

istom smjeru u kojem se širi svjetlost samo, dakako, mnogo sporije. Pitamo se kolika je brzina širenja svjetlosti u odnosu na vagon. Lako se vidi da ovdje možemo primijeniti razmatranje iz prethodnog paragrafa; jer čovjek u hodu u odnosu na vagon igra ulogu svjetlosne zrake. Umjesto njegove brzine W u odnosu na željeznički nasip stupa ovdje brzina svjetlosti u odnosu na nasip; w je tražena brzina svjetlosti u odnosu na vagon i za nju dakle vrijedi:

$$w = c - v$$

Brzina napredovanja svjetlosne zrake u odnosu na vagon ispada dakle manja od c .

Ovaj rezultat kosi se, međutim, s načelom relativnosti izloženim u § 5. Zakon o širenju svjetlosti u vakuumu morao bi naime prema načelu relativnosti, kao i svaki drugi opći prirodni zakon, glasiti jednako za vagon kao referentno tijelo kao i za prugu kao referentno tijelo. No to se u našem razmatranju pokazuje kao nemoguće. Ako svaka svjetlosna zraka napreduje u odnosu na nasip brzinom c , tada se baš poradi toga čini da zakon o širenju svjetlosti u odnosu na vagon mora biti drukčiji - u suprotnosti s načelom relativnosti.

S obzirom na tu poteškoću proizlazi da je neophodno napustiti ili načelo relativnosti ili jednostavan zakon širenja svjetlosti. Čitatelj koji je pažljivo slijedio dosadašnje izlaganje zasigurno će očekivati da načelo relativnosti, koje se svojom prirodnošću i jednostavnošću preporuča duhu kao gotovo neotklonjivo, bude podržano, ali da bi se zakon širenja svjetlosti u vakuumu morao nadomjestiti složenijim zakonom koji se može pomiriti s načelom relativnosti. No razvoj teorijske fizike pokazuje da tim pu-

tem ne možemo ići. Prijelomna teorijska istraživanja H. A. Lorentza o elektrodinamičkim i optičkim zbivanjima u tijelima u pokretu pokazuju naime da iskustva na tom polju s važnom nužnošću vode do teorije elektromagnetskih pojava koja, kao neotklonjivu posljedicu, ima konstantnost brzine svjetlosti u vakuumu. Stoga su teorijski fizičari radije bili skloni oboriti načelo relativnosti, premda se nije mogla naći ni jedna iskustvena činjenica koja bi tome načelu protusloвила.

Ovdje se usadila teorija relativnosti. Analizom fizikalnih pojmova prostora i vremena pokazalo se da *nespojivost načela relativnosti i zakona o širenju svjetlosti zapravo uopće ne postoji*, da se sustavnim pridržavanjem oba ova zakona štoviše dolazi do jedne logički besprijekorne teorije. Ova teorija, koju za razliku od njenog kasnijeg proširenja nazivamo "specijalna teorija relativnosti", bit će na sljedećim stranicama predstavljena u svojim temeljnim zamislama.

§ 8. O POJMU VREMENA U FIZICI

Na dva, jedno od drugog daleko udaljena, mjesta *A* i *B* našeg željezničkog nasipa udarila je munja u tračnice. Izjavljujem sada tvrdnju da su se oba udara dogodila *istodobno*. Ako te sada, dragi čitaooče, zapitam ima li ta izjava nekog smisla odgovorit ćeš mi s uvjerljivo "da". No ako pak navalim na tebe s molbom da mi točnije pojasniš smisao te izjave, primjećuješ nakon ponešto razmišljanja da odgovor na ovo pitanje nije tako jednostavan kako to na prvi pogled izgleda.

Nakon nekog vremena doći će do svijesti možda sljedeći odgovor: "Značenje izjave je samo po sebi jasno i nije joj potrebno neko daljnje pojašnjenje; s nekim razmišljanjem bih se svakako morao pomučiti dobijem li zadatak da promatranjem saznam da li su se u ovom konkretnom slučaju oba događaja zbila istodobno ili ne." No s ovim odgovorom ne mogu se zadovoljiti iz sljedećeg razloga. Neki spretan meteorolog bi oštroumnim razmišljanjem ustanovio da na mjesta A i B munja mora uvijek istodobno udariti, no tada imamo zadatak da ispitamo odgovara li ovaj teorijski rezultat stvarnosti ili ne. Isto je i sa svim fizičkim izjavama u kojima neku ulogu igra pojam "istodobno". Ovaj pojam postoji za fizičara tek tada kada je dana mogućnost da se u konkretnom slučaju ustanovi da li se pojam obistinjuje ili ne. Treba nam, dakle, takva definicija istodobnosti da ta definicija daje u ruke metodu po kojoj bi se u izloženom slučaju moglo pokusom ustanoviti jesu li oba udara munje doista uslijedila istodobno ili nisu. Tako dugo dok ovaj zahtjev nije ispunjen, žrtva sam kao fizičar (uostalom, kao i nefizičar!) jedne varke ako povjerujem da izjavi o istodobnosti mogu pridružiti neki smisao. (Prije nego li ovo s punim uvjerenjem ne priznaš, dragi čitatelju, ne čitaj dalje.)

Nakon nekog vremena razmišljanja nudiš sljedeći prijedlog za ustanovljavanje istodobnosti. Razmak AB izmjeri se duž pruge, a u sredini S te udaljenosti postavi se jedan promatrač opskrbljen uređajem koji mu omogućava istodobno optičko praćenje oba mjesta A i B (na primjer dva zrcala pod kutem od 90°). Zamijeti li taj promatrač istodobno obje munje, onda su one doista istodobne.

Ja sam s ovim prijedlogom vrlo zadovoljan, no mislim da stvar ipak još nije posve razjašnjena pa osjećam potre-

bu za sljedećim prigovorom: "Tvoja definicija bi bila bezuvjetno točna, ukoliko bih znao da se svjetlost, putem koje promatrač u S opaža pojave munje, širi istom brzinom na putu $A \rightarrow S$ kao i na putu $B \rightarrow S$. Provjera ove pretpostavke bila bi, međutim, samo tada moguća ako imamo na raspolaganju sredstva za mjerenje vremena. Čini se, dakle, da se ovdje vrtimo u logičkom krugu."

Nakon ponešto razmišljanja ti mi, međutim, s pravom dobaciš sumnjičav pogled i objasniš mi: "Unatoč tome, ostajem kod svoje ranije definicije, budući da ona u stvari uopće ništa ne pretpostavlja o svjetlosti. Na definiciju istodobnosti postavljen je samo *jedan* zahtjev, da ona u svakom stvarnom slučaju omogući empirijsku odluku o tome da li se istodobnost obistinila ili nije. Neosporno je da moja definicija to pruža. To da je svjetlosti za prevađivanje puta $A \rightarrow S$ potrebno isto toliko vremena koliko za prevađivanje puta $B \rightarrow S$ nije u stvarnosti nikakva *pretpostavka ili hipoteza* o fizičkoj prirodi svjetlosti već *tvrdnja* koju ja prema slobodnoj procjeni mogu izabrati da bih došao do definicije istodobnosti."

Jasno je da ova definicija može biti upotrijebljena da se dade točan smisao izjavi o istodobnosti ne samo *dva* događaja već po volji mnogo događaja čija mjesta se mogu nalaziti negdje u odnosu na referentno tijelo⁵⁾ (ovdje je to željeznički nasip). Time dolazimo i do definicije "vremena" u fizici. Zamislimo naime u točkama A, B, C željez-

⁵⁾ Pretpostavimo dalje, da ako se tri događaja A, B, C , tako dogode na raznim mjestima, da ako je A istodoban s B , a B istodoban s C (istodoban u smislu gornje definicije), da je ispunjen kriterij istodobnosti i za događajni par $A - C$. Ova pretpostavka je fizikalna hipoteza o zakonu širenja svjetlosti; ona mora biti bezuvjetno ispunjena priznaje li se zakon o konstantnosti brzine svjetlosti u vakuumu.

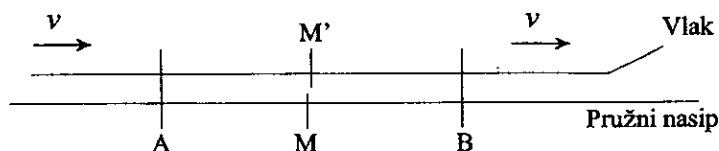
ničke pruge (koordinatnog sustava) tri istovrsne ure tako podešene da su položaji kazaljki istodobno (u gornjem smislu) isti. Tada pod pojmom "vrijeme" jednog događaja podrazumijevamo vremenski navod (položaj kazaljke) one od tih ura koja je događaju (prostorno) u neposrednoj blizini. Na taj će način svakom događaju biti dodijeljena jedna vremenska vrijednost koja se u načelu može promatrati.

Ova tvrdnja sadrži još jednu fizikalnu hipotezu u čije obistinjenje jedva da se može posumnjati bez iskustvenih proturazloga. Pretpostavlja se naime da sve ove ure idu "jednako brzo", ukoliko su istih stvojestava i građe. Točno formulirano: Ako se dvije mirujuće ure nalaze na dva različita mjesta referentnog tijela i tako su podešene da je *jedan* položaj kazaljke jedne ure *istodoban s istim* položajem kazaljke druge ure (u gornjem smislu), tada su isti položaji kazaljki općenito istodobni (u smislu gornje definicije).

§ 9. RELATIVNOST ISTODOBNOSTI

Dosad smo naše razmatranje vezivali uz određeno referentno tijelo, uz "pružni nasip". Neka sad po pruzi vozi jedan vrlo dugi vlak stalnom brzinom v , u smjeru prikazanom na crtežu 1. Ljudima koji putuju u tom vlaku bit će od koristi ako vlak smatraju krutim referentnim tijelom (koordinatnim sustavom); oni sve događaje promatraju u odnosu na vlak.

Svaki događaj koji se zbiva duž pruge zbiva se ta-



Crtež 1.

kođer u nekoj određenoj točki vlaka. Definicija istodobnosti može se dati u odnosu na vlak na točno isti način kao i u odnosu na pružni nasip. No ovdje prirodno nastaje sljedeće pitanje:

Da li su dva događaja (na pr. oba udara munja A i B), koja su istodobna u odnosu na pružni nasip, istodobna također i u odnosu na vlak? Odmah ćemo pokazati da odgovor na ovo mora biti niječan.

Kad kažemo da su udarci munja A i B u odnosu na pružni nasip istodobni, to znači ovo: svjetlosne zrake što su pošle s mjesta udara munja A i B susreću se u središnjoj točki M dijela pruge $A-B$. No događajima A i B odgovaraju također i mjesta A i B na vlaku. Neka je M' središnja točka odsječka $A-B$ vlaka u vožnji. Ova točka M' poklapa se doduše u trenutku udara munja⁶⁾ s točkom M , no i giba se brzinom v vlaka u desno (na crtežu). Kad neki opažач u vlaku u točki M' ne bi imao tu brzinu v , on bi trajno ostao u M i do njega bi u tom slučaju stigle istodobno svjetlosne zrake odaslane s mjesta udara munja A i B , znači obje ove zrake srele bi se točno kod njega. U stvarnosti, međutim, on juri (prosuđivano s pružnog nasipa) ususret zraki koja

⁶⁾ Prosuđivano s pružnog nasipa!

dolazi iz B , a bježi ispred zrake koja ga sustiže u A . Opažać će dakle vidjeti ranije zraku što polazi iz B negoli onu što polazi iz A . Opažači koji koriste željeznički vlak kao referentno tijelo moraju dakle doći do rezultata da se udar munje u B dogodio prije negoli udar munje u A . Izvodimo dakle važan zaključak:

Događaji koji su u odnosu na pružni nasip istodobni, nisu istodobni u odnosu na vlak i obratno (relativnost istodobnosti). Svako referentno tijelo (koordinatni sustav) ima svoje posebno vrijeme; vremenski navod ima smisla samo tada ako je navedeno referentno tijelo na kojeg se taj navod odnosi.

Fizika je pak prije teorije relativnosti uvijek prešutno pretpostavljala da je značenje vremenskog navoda apsolutno, to jest neovisno o stanju gibanja referentnog tijela. No upravo smo vidjeli da je ovaj navod nespojiv s definicijom istodobnosti; napustimo li ga, tada nestaje i sukob (naveden u § 7) zakona širenja svjetlosti s načelom relativnosti.

Tom sukobu vodi naime razmišljanje u § 6, koje se sada više ne može podržavati. Tamo zaključismo da čovjek u vagonu, koji u odnosu na vagon prelazi udaljenost w u *jednoj sekundi*, prelazi ovu udaljenost također i u odnosu na pružni nasip u *jednoj sekundi*. Ali kako, prema upravo provedenim razmišljanjima, vrijeme potrebno nekom određenom događaju u odnosu na vagon ne smije biti stavljeno sa znakom jednakosti s trajanjem istog događaja u odnosu na pružni nasip kao referentno tijelo, ne može se tvrditi da je čovjek svojim hodanjem u odnosu na tračnice prevalio put w u vremenu koje je - prosuđivano s pružnog nasipa - jednako jednoj sekundi.

Razmišljanje u § 6. počiva uostalom na još jednoj

drugoj pretpostavci koja se u svjetlu strožeg razmišljanja pojavljuje samovoljna, iako je također i prije postavljanja teorije relativnosti stalno (prešutno) bila činjena.

§ 10. O RELATIVNOSTI POJMA PROSTORNE UDALJENOSTI

Promatrajmo dva određena mjesta u vlaku⁷⁾ koji brzinom v vozi duž pružnog nasipa i pitajmo se koliko su međusobno udaljena. Već znamo da je za mjerenje udaljenosti potrebno neko referentno tijelo u odnosu na kojeg se udaljenost mjeri. Najjednostavnije je sam vlak upotrijebiti kao referentno tijelo (koordinatni sustav). Opažać koji se vozi u vlaku mjeri taj razmak tako da u ravnoj crti prislanja svoj mjerni štap duž podova vagona sve dok od jedne označene točke ne dođe do druge. Broj koji izriče koliko je puta prislonjen mjerni štap je tada tražena udaljenost.

Drukčije je ako je potrebno tu udaljenost određivati s pruge. Za to nam se nudi sljedeća metoda. Nazovimo A' i B' obje točke vlaka čiju udaljenost tražimo. Obje te točke putuju brzinom v duž pružnog nasipa. Pitamo se prvo za točke A odnosno B pružnog nasipa kod kojih su obje točke A' i B' u jednom određenom vremenu t - prosuđivano s pružnog nasipa - projurile. Ove točke A i B pružnog nasipa su saznatljive uz pomoć definicije vremena u § 8. Potom se razmak točaka A i B mjeri ponavljanim prislanjanjem mjernog štapa duž pružnog nasipa.

⁷⁾ Recimo u sredini između 1. i 100. vagona.

A priori to nipošto ne znači da ovo posljednje mjerenje mora davati isti rezultat kao prvo. Mjereno s pružnog nasipa, može također i dužina vlaka biti drukčija negoli ona mjerena u samom vlaku. Ova pak okolnost daje jedan drugi prigovor protiv prividno tako jasnog razmatranja u § 6. Prevaljuje li naime čovjek u vagonu u jednoj vremenskoj jedinici - *mjereno u vlaku* - put w , tada - *mjereno s pružnog nasipa* - također ni ovaj put ne mora biti jednak w .