

p r e k 5

s e k

VII
1979 80



L. D. Landau - J. B. Rumer



KAJ JE TEORIJA RELATIVNOSTI

Nobelovec predstavi spremenjene
pogleda na prostor, čas in maso

LIST ZA MLADE

MATEMATIKE

FIZIKE

ASTRONOME

IZDAJA DMFA SRS



BESEDA UREDNICE

Letos praznujemo stoletnico rojstva velikega fizika Alberta Einsteina (zapis o tem ste lahko prebrali v peti številki Preseka 1979/80). Presekova knjižnica se praznovanju pridružuje z objavo dveh prispevkov iz teorije relativnosti, ki jo je postavil Albert Einstein. To sta knjižica L.D. Landaua in J.B. Rumerja *Kaj je teorija relativnosti*, v manjši nakladi pa bo izšla še knjižica J. Strnada *Relativnost za začetnike*.

Sovjetski fizik L.D. Landau in njegov sodelavec J.B. Rumer popeljeta v pričujoči knjižici bralca na domisel in poučen potep po posebni teoriji relativnosti. Skrbno ga vodita od spoznanj, ki jih ponujajo vsakdanje izkušnje, do nenavadnih sklepov, na katerih sloni teorija relativnosti. Potrpežljivo jih razlagata, da bi bralcu postali domači. Obravnavata spremenjen pogled na čas, dolžino ter maso. Drugih sprememb, ki jih prinese teorija relativnosti, se ne dotakneta - na primer spremembe elektromagnetnega polja ter ukrivljenosti štirirazsežnega prostora v bližini teles z veliko maso (energijo) - ker so precej bolj zahtevne, so za nepoznavalce morda manj zanimive.

Bralca posadita na vlak, ki vozi z zelo veliko hitrostjo premo enakomerno - imenujeta ga Einsteinov vlak - ali pa ga povabita na peron, mimo katerega ta vlak drvi. Takega poskusa se ne da uresničiti, saj takih vlakov ni, vendar pa je nazornejši, kot obravnavanje zelo majhnih delcev elektronov ali atomskih jeder. Pri teh pa lahko nove odnose, ki jih avtorja obravnavata, zares preverimo z merjenjem. Tako uspe Landau in Rumerju razložiti bistvene novosti, ki jih teorija relativnosti prinese k razumevanju narave. Težko je nepoznavalcu pojasniti teorijo, ki je polna enačb. Dosti lažje je o njej razpravljati s poznavalcem. Za tega ni treba veliko besed, zanj so pogosto bolj zgovorne enačbe. Vendar ima tudi pogovor z nepoznavalcem svoj mik. V njem je treba znati s poenostavljenimi primeri zgraditi preprosto sliko.

Zato nas ne preseneti, da je zamikalo razložiti relativnost nepoznavalcu Nobelobega nagrajenca za fiziko iz leta 1962 Leva Davidoviča Landaua. Rodil se je leta 1908 v Bakuju. Bil je zelo uspešen učenec, ki je srednjo šolo končal že s trinajstimi leti. Fiziko je študiral v Leningradu v času, ko se je porajala kvantna mehanika. Posvetil se je teorijski fiziki in pri speval številna izvirna dela s skoraj vseh njenih področij. Nobelovo nagrado je dobil za pionirsko teorijsko delo na območju zelo nizkih temperatur, predvsem za tekočine, pri katerih so bistveni kvantni pojavi. Bil je odličen učitelj, ki je vzgojil vrsto zelo uspešnih učencev. Napisal je veliko učbenikov (posebno znan je učbenik teorijske fizike), v katerih je strnil široko znanje iz fizike na izviran način. Študentom so ti učbeniki v veliko pomoč. Umrl je v šestdesetem letu starosti za posledicami hude prometne nesreče.

Med njegovimi poznejšimi sodelavci je tudi Jurij Borisovič Rumer, ki je svoje raziskovalno delo prav tako posvetil teorijski fiziki. Zgleduje se po učitelju, sodeloval je tudi pri pisanju učbenikov.

Teorija relativnosti je skupaj s kvantno mehaniko - ki ji je k rojstvu pomagal tudi Albert Einstein - močno spremenila naš pogled na svet. Landau in Rumer v knjižici sprašujeta: ali je res vse zgrešeno, kar smo pred rojstvom teorije relativnosti mislili o svetu? Odgovorjata: nič ni bilo napak.

"... brez dvoma drži, da opisuje [stara Newtonova] mehanika počasi se gibajoča telesa, nova fizika pa zelo hitro se gibajoča telesa ..."

"Kakor spreminjanje znanstvenih spoznanj o zgradbi in gibanju snovi ne ovirše objektivne realnosti zunanjega sveta, tako tudi spreminjanje človeških predstav o prostoru in času ne spodbi je njune objektivne realnosti."

V.I. Lenin

Minilo je že več kot sedemdeset let, odkar je Albert Einstein izoblikoval teorijo relativnosti. V tem času se je teorija, ki se je nekdanj zdel marsi komu poigravanje s paradoksi, spremenila v enega od temeljnih kamnov fizike. Sodobna fizika bi bila brez teorije relativnosti malodane tako nemogoča kot brez atomike. Dvomiva, da bi se nama posrečilo samo naštetih vse fizikalne pojave, ki bi jih brez teorije relativnosti sploh ne mogli razložiti. Na podlagi te teorije gradimo, na primer, tako zapletene naprave, kot so pospeševalniki osnovnih delcev, preračunavamo jedrske reakcije itd.

Žal pa teorijo relativnosti zelo malo poznajo ljudje, ki ne spadajo v ožek krog strokovnjakov. Saj na koncu koncev lahko zanjo rečemo, da jo moramo šteti med "težke" teorije. Tako od nefizika niti ne moremo zahtevati, da se bo znašel v njenem kar precej zapletenem matematičnem aparatu.

Vseeno pa meniva, da je mogoče razložiti temeljne pojme in zamisli teorije relativnosti tudi v obliki, ki bo dostopna širokemu krogu bralcev.

Upava, da bralcu, ki bo prebral najino knjižico, nikakor ne bo seglo v misel, da se teorija relativnosti izteka v ugotovitev, češ "vse na svetu je relativno". Nasprotno, dognal bo, da je teorija relativnosti - kakor vsaka pravilna fizikalna teorija - nauk o objektivni resnici, ki ni odvisna od želja ali okusa kogarkoli. Če se bomo poslovili od starih pojmovanj o prostoru in času in masi, bomo samo globlje spoznali naravo.

Pisca

1. RELATIVNOST, KI SMO JE NAVAJENI

V vsakdanjem življenju večkrat vzkliknemo: "To je pa relativno!", pa naj gre za ceno kakega blaga ali pa zato, kako všeč nam je bil kakšen film. S tem hočemo povedati, da naša presoja ne drži kot pribita in da pač zmerom velja tisti "kakor se vzame". Saj vemo, kolikokrat dobi kakšna trditev, na primer "Danes je pa vroče!", veljavo šele takrat, ko primerjamo današnje vreme, recimo, z vremenom prejšnjih dni, z običajnimi povprečnimi temperaturami v takem letnem času itd. ter se pri svojem ocenjevanju oziramo na vse to - ko torej upoštevamo "glede na včeraj", "glede na to, da smo v marcu" ali kaj podobnega.



sl. 1

Ima vsaka trditev smisel?

Očitno ne. Celo če izberemo popolnoma smiselne besede in jih združimo po slovničnih pravilih, lahko dobimo popoln nesmisel. Trditvi "Ta voda je trikotna" težko pripišemo kakršenkoli smisel.

Žal pa niso vsi primeri nesmisla tako očitni in pogosto se pripeti, da se nam kakšna ugotovitev zdi na prvi pogled razumna, ob podrobnejši razčlenitvi pa se izkaže za popolnoma nesmiselno.

Desno in levo

Oglejmo si sl. 1. Na kateri strani ceste stoji hiša - na desni ali na levi? Na to vprašanje ne moremo odgovoriti pri priči.

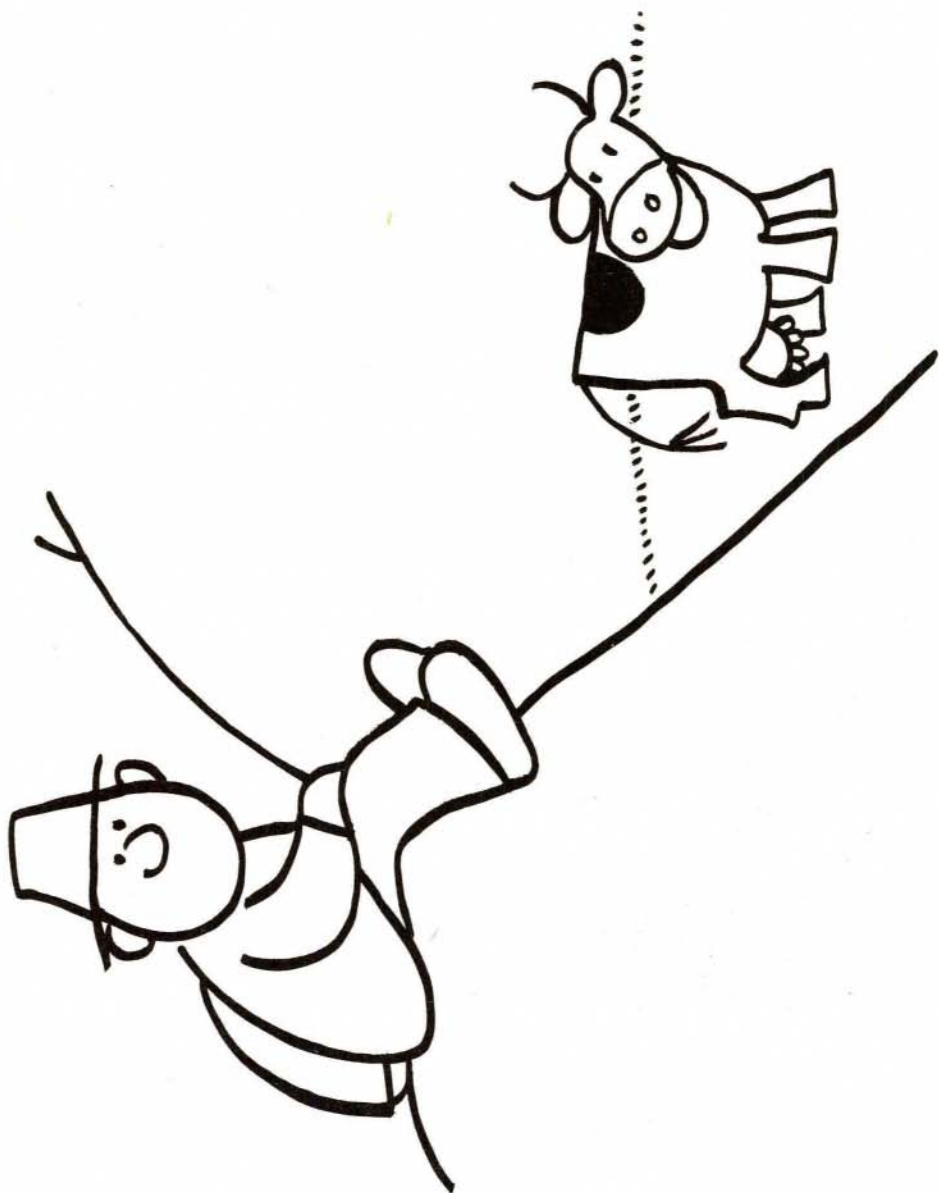
Če gremo od mostu proti gozdu, je hiša na levi, če pa gremo od gozda proti mostu, je hiša na desni. Očitno moramo, če govorimo o levi ali desni strani ceste, upoštevati smer, glede na katero rečemo "na levi" ali "na desni".

Govoriti o desnem bregu reke ima smisel samo zato, ker tok reke že določa smer. Podobno lahko preprosto ugotovimo, da avtomobili vozijo po desni strani ceste, ker pač njihova vožnja že določa eno od obeh smeri.

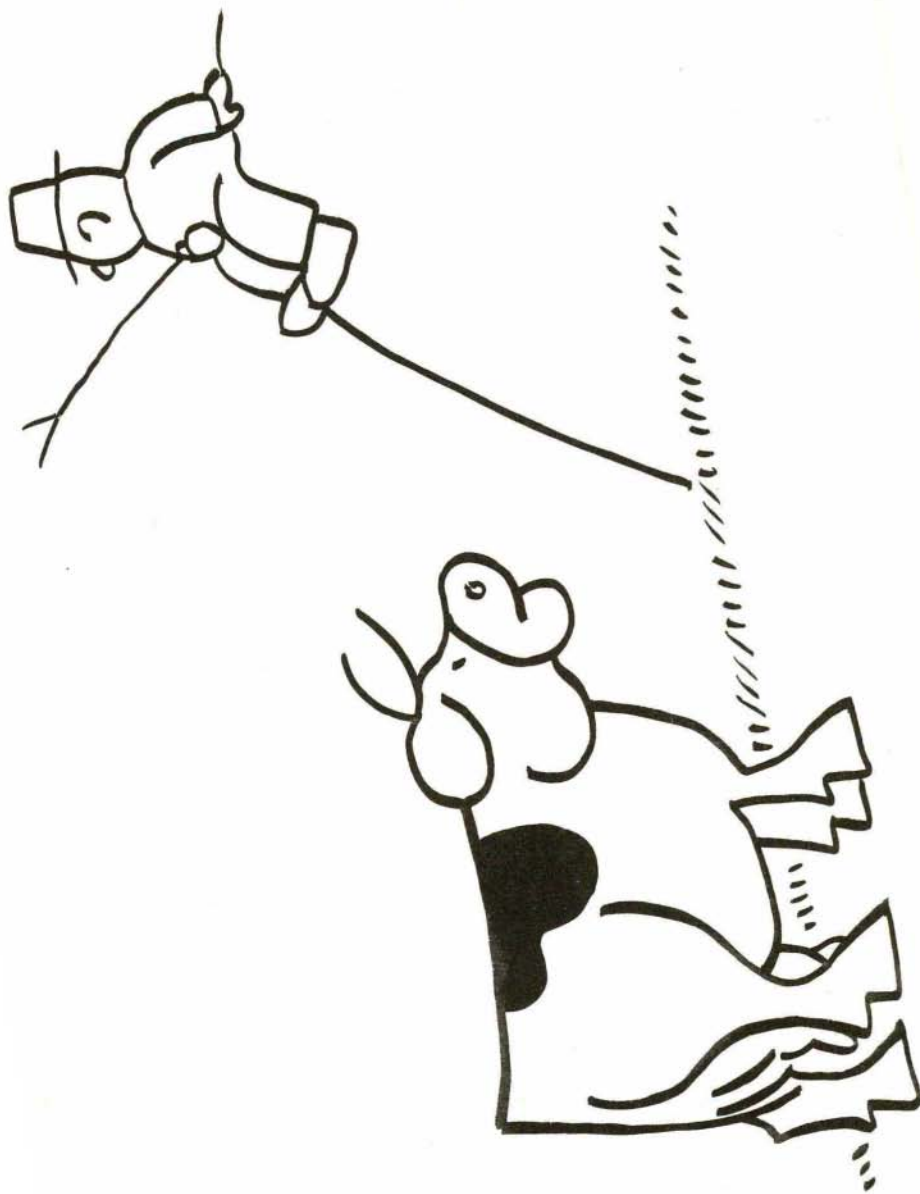
Tako sta torej pojma "levo" in "desno" relativna: pomen dobita šele, ko naznačimo smer, glede na katero smo ju določili.

Kaj je zdajle - dan ali noč?

Odgovor je odvisen od kraja, kjer sprašujemo. Če je v Moskvi dan, je v Vladivostoku noč. V tem ni nobenega protislovja. Gre za preprosto dejstvo, da sta "dan" in "noč" relativna pojma in da na prejšnje vprašanje ne moremo odgovoriti, če ni navedeno, glede na katero točko na zemeljski obli je bilo zastavljeno.



s.2



Kdo je večji?

Na sl. 2 je pastir očitno večji od krave, na sl. 3 pa je krava večja od pastirja. Pa tudi v tem ni nobenega protislovja. Tako je zaradi tega, ker sta risbi narisala človeka, ki sta opazovala z različnih mest: eden je stal bliže kravi, drugi bliže pastirju. Pri risbah ne odločajo dejanske razsežnosti predmetov, ampak zorni koti, pod katerimi jih vidimo. Očitno so tudi zorni koti predmetov relativni. Nobenega smisla nima govoriti o zornih kotih predmetov, če ne označimo točke v prostoru, iz katere jih opazujemo. Če rečemo, na primer, "Ta stolp vidimo pod kotom 45 stopinj", s tem ne povemo prav ničesar. Toda ugotovitev, da vidimo stolp pod kotom 45 stopinj z oddaljenosti 15 metrov, ima svoj pomen; iz tega lahko namreč vsakdo sklepa, da je stolp visok 15 metrov.

Relativno je videti absolutno

Če za malenkost premaknemo opazovalno točko, se zorni koti spremenijo le za majhno vrednost. Zato v astronomiji pogosto uporabljamo zorne kote. Zvezdna karta ponavadi navaja kot med zvezdami, to je kot, pod katerim vidimo razdaljo med dvema zvezdama z zemeljske površine.

Zvezde na nebu vidimo zmerom enako oddaljene drugo od druge, pa naj se premaknemo na Zemlji kamorkoli in si izberemo katero koli opazovališče. Zvezde so namreč tako neznansko daleč, da so premiki po zemeljski površini v primerjavi s temi razdaljami zelo majhni ter jih lahko mirno zanemarimo. Zato lahko v tem posebnem primeru vzamemo kote za absolutne.

Če izrabimo kroženje Zemlje okrog Sonca, lahko opazimo razlike v kotih med zvezdami, čeprav so te razlike zelo majhne. Če pa bi svoje opazovališče preselili na kako drugo zvezdo, npr. na Sirij, bi se vsi koti spremenili tako močno, da bi potem lahko videli zvezde, ki so na našem nebu daleč vsaksebi, tesno drugo ob drugi in nasprotno.



Absolutno se izkaže za relativno

Pogosto pravimo: "zgoraj" - "spodaj". Sta ta dva pojma absolutna ali relativna?

V raznih zgodovinskih obdobjih so na to vprašanje odgovarjali različno. Dokler ljudje niso vedeli, da je Zemlja krogla, in so mislili, da je ploščata kot mlinec, so "navpično" šteli med absolutne predstave. Bili so prepričani, da je navpična smer ista po vsej zemeljski površini in da je povsem naravno, če govorimo o absolutnem "zgoraj" in absolutnem "spodaj".

Ko so ugotovili, da je Zemlja krogla, se je navpičnica - v glavah ljudi - zamajala. Kajti če je Zemlja krogla, je smer navpičnice na vsak način odvisna od tega, kje na Zemlji določamo navpičnico.

V različnih točkah zemeljske površine imajo navpičnice različne smeri. Brž ko pojma "zgoraj" in "spodaj" nimata pomena, če hkrati ne navedemo točke na Zemlji, na katero se nanašata, se spremenita iz absolutnih v relativna. V veselju ni nikake edine navpične smeri. Zato lahko za katerosibodi smer v prostoru najdemo na zemeljski površini točko, kjer je ta smer "navpična".



Dandanašnji se nam zdi vse to razumljivo in nesporno. Toda pričevanje zgodovine kaže, da v preteklosti ljudje niso tako lahko razumeli relativnosti pojmov "zgoraj" in "spodaj". Pojmom bi radi pripisovali absoluten pomen vse dotlej, dokler vsakdanje izkušnje ne dokažejo njihove relativne narave (kot pri pojmih "levo" in "desno").

Spomnimo se samo smešnega pomisleka zoper okroglo Zemljo, ki se je ohranil iz srednjega veka: "Kako pa bi ljudje hodili z glavami navzdol?!"

Napačnost takega dokazovanja izvira iz tega, da pojmu navpičnosti niso priznali relativnosti, ki je posledica okrogle Zemlje.

Če zavrremo načelo relativnosti navpične smeri in štejemo, recimo, navpičnico v Moskvi za absolutno, potem moramo priznati, da hodijo prebivalci Nove Zelandije z glavami navzdol. Toda tedaj moramo pomisliti tudi na to, da se pa za Novozelandce Moskovčani sprehajajo naokrog z glavami navzdol. Vendar v tem ni protislovja, kajti pojem navpičnosti ni absoluten, temveč relativen.

Opozoriti moramo na to, da začnemo čutiti stvarni pomen, ki ga ima relativnost navpičnosti, šele takrat, ko primerjamo dva med seboj dovolj oddaljena kraja na zemeljski površini, na primer Moskvo in Novo Zelandijo. Dokler imamo opraviti z dvema bližnjima točkama, na primer z dvema hišama v Moskvi, lahko imamo za praktične namene obe navpičnici za vzporedni, se pravi, lahko štejemo ugotovljeno navpično smer za absolutno.

Šele ko se moramo ukvarjati s področjem, ki ni majhno v primeru z vso zemeljsko površino, nas vsak poskus, da bi uporabili nekakšno absolutno navpičnico, pripelje k nesmislu in protislovju.

Naši zgledi so torej pokazali, da je marsikateri pojem, ki ga uporabljamo vsak dan, relativen, se pravi, da dobi pomen šele takrat, ko navedemo okoliščine pri opazovanju.

2. PROSTOR JE RELATIVEN

Na istem kraju ali ne?

Pogosto pravimo, da sta se dva dogodka pripetila na istem kraju. Takega govorjenja smo tako navajeni, da bi ugotovitvi najraje pripisali absoluten pomen. V resnici pa taka ugotovitev sploh ničesar ne pomeni. Nič boljša ni, kot če bi rekli: "Ura je pet", ne da bi dodali, kje pravzaprav je ura pet - v Moskvi ali v Chicagu.

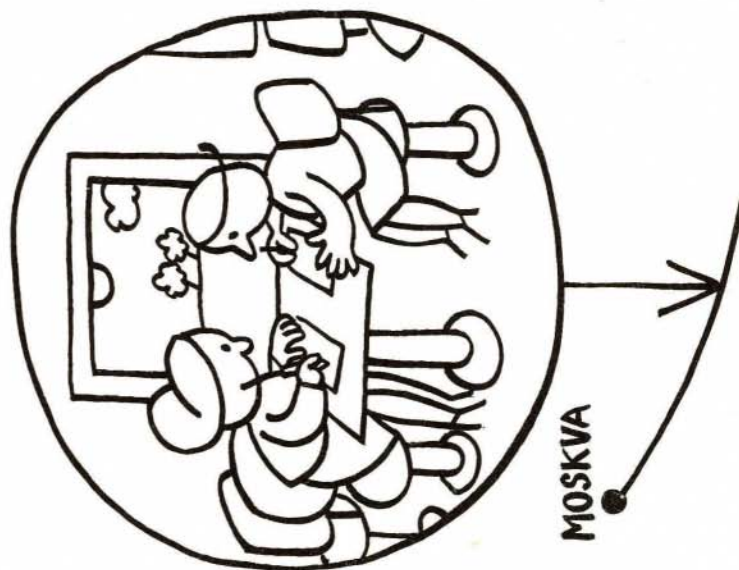
Da bi to dokazali, si zamislimo dve potnici, ki se vozita v brzcu iz Moskve v Vladivostok in sta se domenili, da se bosta sestali vsak dan vožnje na istem kraju v vlaku ter napisali pismi svojima soprogoma. Njuna moža pa se bosta težko strinja-la s tem, da sta se ženi sestajali na istem kraju v prostoru. Imela bosta namreč vse razloge za ugotovitev, da so bili kraji, kjer sta se njuni ženi dobivali iz dneva v dan, na tisoče kilo-metrov narazen. Dobila sta namreč pismi iz Jaroslavlja in Per-me, iz Sverdlovska in Tjumene, iz Omska in Habarovska.

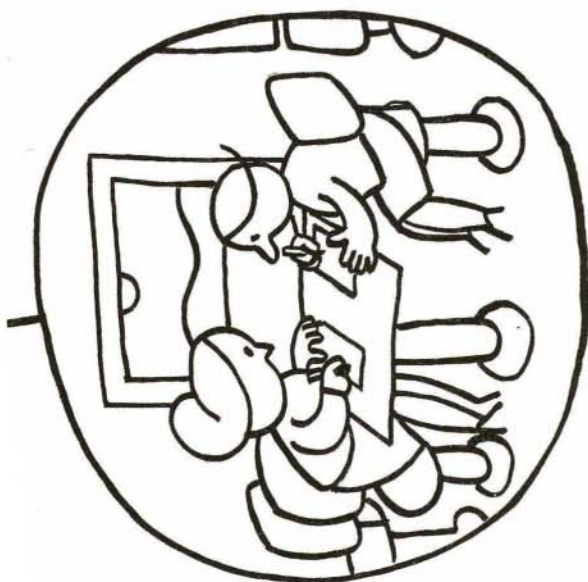
Torej sta se oba dogodka, to je pisanje pisem prvi dan in dru-gi dan vožnje dogodila na istem kraju s stališča potujočih že-na, toda tisoče kilometrov vsaksebi s stališča njunih mož.

Kdo ima prav? Potnici ali njuna moža? Nimamo razloga, da bi da li prednost komurkoli. Očitno ima pojem "na istem kraju v pro-storu" samo relativen pomen.

Prav tako ima ugotovitev, da sta na nebesnem svodu dve zvezdi na istem kraju, svoj pomen samo tedaj, če povemo, da smo ju o-pazovali z Zemlje. Da se je dvoje dogodkov dogodilo na istem kraju v prostoru, lahko rečemo pač šele takrat, ko označimo ne-kaj teles, glede na katera smo določili kraj obeh dogodkov.

Tako je relativen tudi pojem "lega v prostoru". Ko govorimo o legi telesa v prostoru, si zmerom mislimo, da to pomeni njego-vo lego glede na druga telesa. Če bi zahtevali, da bi nam v od-govoru na vprašanje, kje je določeno telo, ne bilo treba omeni





ti še drugih teles, bi vsekakor morali priznati, da je tako vprašanje brez smisla.

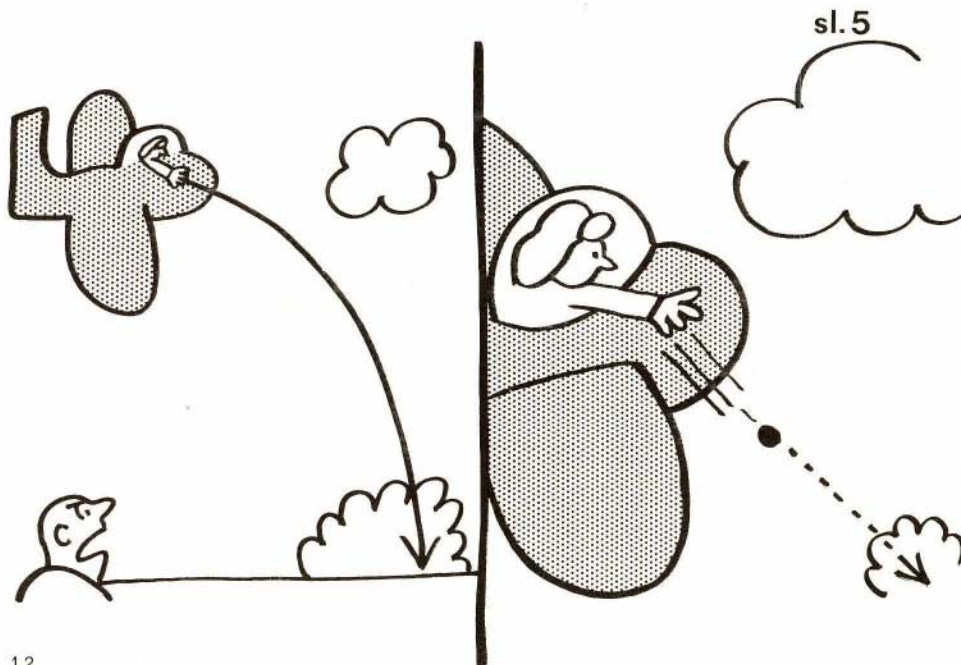
Kako se telo giblje v resnici?

Iz vsega tega sledi, da je relativen tudi pojem "premik telesa v prostoru". Če rečemo, da se je neko telo premaknilo, pomeni to samo, da je spremenilo svojo lego glede na druga telesa.

Zamislimo si, da opazujemo gibanje kakega telesa iz dveh različnih laboratorijev, se pravi krajev, kjer opravljamo razna opazovanja in meritve. Če se ta dva laboratorija gibljeta drug glede na drugega (na primer letalo in pašnik pod njim), bo gibanje opazovanega telesa videti povsem različno.

Kamen, ki smo ga vrgli iz letala, pade glede na letalo v ravni črti, glede na Zemljo pa opiše krivuljo, ki jo imenujemo parabola (glej sl. 5).

Kako pa se giblje kamen v resnici?



To vprašanje ima prav toliko soli kot vprašanje: "Pod kakšnim kotom vidimo Mesec v resnici?" Ali gre za kot, pod katerim bi ga videli s Sonca, ali za kot, pod katerim ga opazujemo z Zemlje?

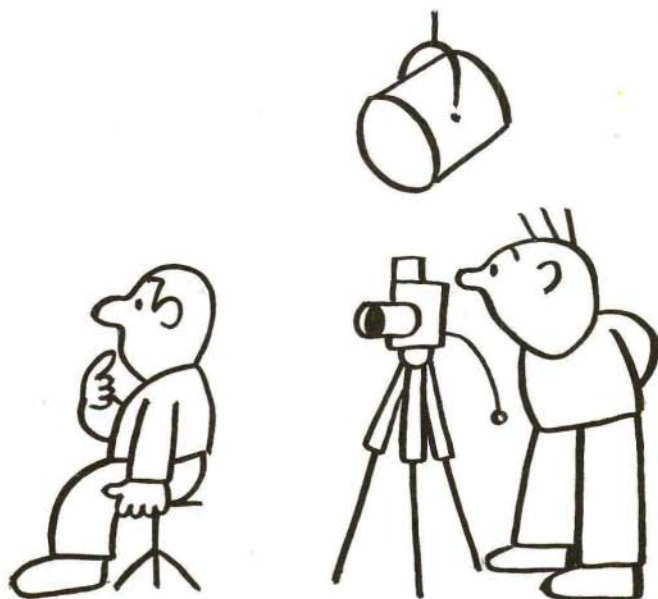
Geometrijska oblika krivulje, ki se po njej giblje telo, to je tir, je prav tako relativna, kot fotografija kakšne zgradbe. Glede na to, ali jo bomo posneli od spredaj ali od zadaj, bomo dobili pač različne fotografije. Prav tako dobimo glede na to, ali opazujemo gibanje telesa iz tega ali onega laboratorija, različne krivulje za njegov tir.

Ali so vse opazovalne točke enakovredne?

Če bi nas pri opazovanju gibanja telesa v prostoru zanimal samo tir, bi si izbrali opazovališče, iz katerega bi bil tir naj preprostejši.

Ko dober fotograf izbira, s katerega mesta bo fotografiral,

sl.6



skrbi za ubranost v razporeditvi predmetov na posnetku in tudi za lepoto posnetka.

Pri preučevanju gibanja teles po prostoru nas seveda zanima ne kaj več. Ni nam do tega, da bi spoznali zgolj tir, temveč si tudi želimo, da bi znali tir vnaprej določiti in napovedati, po kakšnem tiru se bo gibalo telo v danih okoliščinah. Z drugimi besedami, radi bi poznali zakone za gibanje, zakone, ki silijo telo, da se giblje tako in nič drugače.

Preiščimo vprašanje relativnosti gibanja s tega vidika - pa bomo videli, da niso vsi položaji v prostoru enakovredni.

Če se gremo slikat za potni list, seveda želimo, da bo na fotografiji obraz, ne pa tilnik. Ta želja določi položaj v prostoru, s katerega nas mora fotograf slikati. Za katerikoli drug položaj bi rekli, da ne ustreza postavljenim pogojem.

Odkrili smo mirovanje

Na telesa delujejo zunanji vplivi. Imanujemo jih sile. Preučevanje delovanja sil nam omogoči, da se lahko lotimo vprašanja gibanja še s povsem novega vidika.

Vzemimo, da na telo ne deluje nobena sila. Glede na to, od kod ga opazujemo, se bo telo gibalo na različne, bolj ali manj čudne načine. Vendar ne gre zanikati, da je najbolj naravno tisto opazovališče, s katerega vidimo, da opazovano telo miruje.

Torej lahko podamo novo definicijo mirovanja, ki ni odvisna od tega, ali se določeno telo giblje glede na druga telesa ali ne. Definicijo izoblikujemo takole: telo, na katerega ne deluje nobena zunanja sila, miruje.

Mirujoči laboratorij

Kako lahko dosežemo mirovanje? Kdaj smo lahko prepričani, da na določeno telo ne delujejo sile?

Za kaj takega bi vsekakor morali odmakniti tako telo kar najdlje od vseh drugih teles, ki bi lahko delovala nanj.

Iz takih mirujočih teles bi si lahko - vsaj v domišljiji - sestavili cel laboratorij in potem govorili o gibanju teles glede na ta mirujoči laboratorij.

Če se gibanje, opazovano iz kakega drugega laboratorija, razlikuje od gibanja v mirujočem laboratoriju, imamo vso pravico trditi, da se drugi laboratorij giblje.

Ali se vlak premika?

Zdi se, da je pojem gibanja zgubil svojo relativnost, saj smo ugotovili, da veljajo za gibanje v gibajočih se laboratorijih drugačni zakoni kot v mirujočih. Odslej moramo pri govorjenju o gibanju upoštevati, da imamo v mislih gibanje glede na mirujoč laboratorij, in tako gibanje imenovati absolutno gibanje.

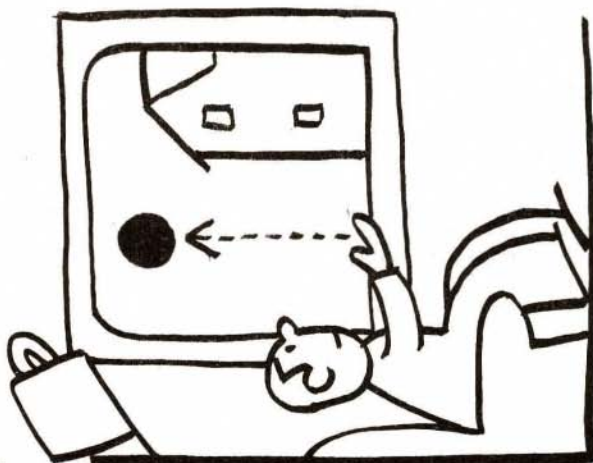
Toda ali bomo lahko v vsakem primeru premika laboratorija opazili razhajanje z zakoni, ki veljajo za gibanje teles v mirujočem laboratoriju?

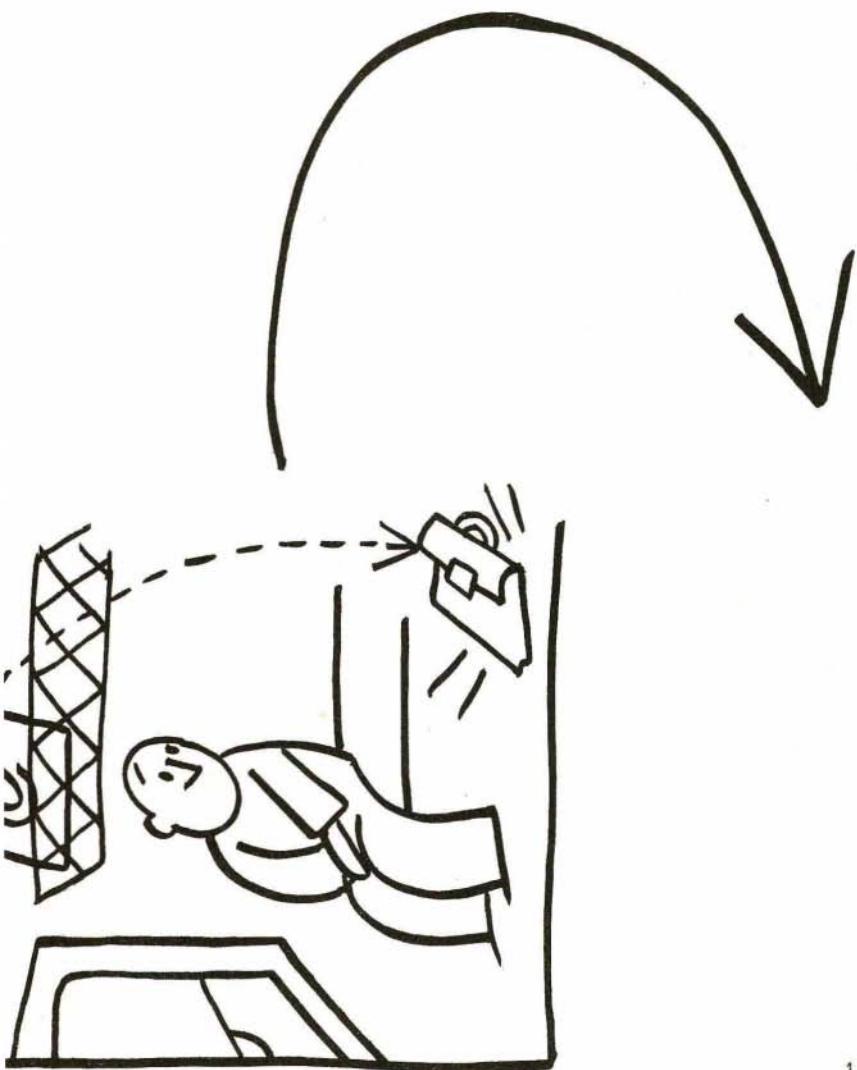
Sedimo v vlak, ki vozi premo z enakomerno hitrostjo. Opazujemo gibanje teles v vagonu in ga primerjajmo s tem, kar bi opazili v mirujočem vlaku.

Vsakdanje izkušnje nam povedo, da so opazovanja v vlaku, ki gibe po ravni progi in z enakomerno hitrostjo, enaka kot v mirujočem vlaku. Vsakdo ve, da pade v takem vagonu žoga, ki smo jo vrgli navpično navzgor, naravnost nazaj v roko in ne opiše krivulje s sl. 8.

Če odmislimo neogibne tresljaje in sunke, poteka v vagonu, ki se giblje premo enakomerno, vse čisto tako kot v mirujočem vlaku.

Nekaj drugega pa je, če vlak zmanjša ali poveča hitrost. Pri zaviranju vlaka občutimo, da nas vrže naprej, pri pospeševanju pa nazaj: obakrat jasno opazimo razloček v primeri z mirovanjem.





če vlak vozi enakomerno, a spreminja smer, pa nas na ostrih zavojih v desno vrže v levo, na levih zavojih pa v desno.

Posplošimo ta opazovanja. Dokler se laboratorij giblje premo in z enakomerno hitrostjo glede na mirujoči laboratorij, ne moremo zaslediti nobenega razločka v obnašanju teles v njiju. Brž ko pa gibajoči se laboratorij spremeni hitrost ali pa smer, se to takoj pokaže v obnašanju teles v njem.

Mirovanje je dokončno šlo po gobe

Presenetljiva lastnost premega enakomernega gibanja laboratorija, da ne vpliva na obnašanje predmetov, ki so v njem, nas sili, da znova preiščemo pojem mirovanja. Pokazalo se je namreč, da ne razločujemo mirovanja in premo enakomernega gibanja nekega laboratorija. Laboratorij, ki se giblje premo enakomerno glede na mirujoči laboratorij, lahko celo štejemo za mirujoč laboratorij. To pomeni, da ni nobenega - absolutnega - mirovanja, marveč nepregledna množica različnih "mirovanj". Torej ni nobenega "mirujočega" laboratorija, temveč nešteto "mirujočih" laboratorijev, ki se vsi gibljejo drug glede na drugega premo enakomerno z različnimi hitrostmi.

Ker mirovanje ni absolutno, ampak relativno, moramo torej zmerom navesti, glede na kateri laboratorij izmed neštetih laboratorijev, ki se gibljejo drug glede na drugega premo enakomerno, opazujemo dano gibanje.

Torej se nam nikakor ni posrečilo, da bi gibanje napravili za absoluten pojem.

Zmerom moramo namreč odgovoriti na vprašanje: "Glede na katero "mirovanje" opazujete tole gibanje?"

Tako smo prišli do zelo pomembnega zakona narave, ki ga ponavadi imenujemo načelo relativnosti.

To načelo pravi: V vseh laboratorijih, ki se gibljejo drug glede na drugega premo enakomerno, veljajo za gibanje teles enaki zakoni.

Zakon vztrajnosti

Iz načela relativnosti izhaja, da se lahko telo, na katero ne deluje nobena zunanja sila, premo enakomerno giblje ali miruje. To ugotovitev poznamo v fiziki kot zakon vztrajnosti.

V vsakdanjem življenju je ta zakon nekoliko skrit in se ne kaže tako neposredno. Po njem bi moralo telo, ki se giblje premo enakomerno, nadaljevati to svoje gibanje v neskončnost, dokler ne bi začele nanj delovati kakšne zunanje sile. Vendar iz opazovanj vemo, da se telesa prej ali slej ustavijo.

To pojasnimo s tem, da deluje na ta telesa zunanja sila - namreč trenje. Potemtakem ni izpolnjen temeljni pogoj, da na telo ne deluje nobena zunanja sila in zato ne velja zakon vztrajnosti. Toda če nenehoma zmanjšujemo trenje, se lahko približamo okoliščinam, v katerih velja zakon vztrajnosti. Tako lahko dokažemo, da velja ta zakon tudi v vsakdanjem življenju.

Odkritje načela relativnosti je eno izmed največjih odkritij v znanosti. Brez njega se ne bi mogla razviti fizika. To odkritje dolgujemo veleumu Galilea Galileia (rojen leta 1564, umrl leta 1642). Galileo Galilei je pogumno nastopil zoper Aristotlove nauke, ki so v tistih časih gospodovali v glavah ljudi in ki jih je s svojo avtoriteto podpirala katoliška cerkev. Aristotel je menil, da je gibanje možno le, če delujejo sile, in da brez njih neogibno poneha. Z mnogimi bleščečimi poskusi je Galileo Galilei pokazal, da zaustavlja gibajoča se telesa trenje, in da bi se v okoliščinah brez trenja telesa, ki bi jih enkrat pognali v gibanje, gibala brez prestanka.

Še hitrost je relativna

Zaradi načela relativnosti ima govorjenje, da se telo giblje premo enakomerno z določeno hitrostjo, če pri tem ne navedemo, glede na kateri mirujoči laboratorij merimo hitrost, komaj toliko smisla kot navajanje zemljepisne dolžine, če ne povemo, pri katerem poldnevniku smo jo začeli meriti.

Tudi hitrost je torej relativen pojem. Če določamo hitrost telesa glede na različne mirujoče laboratorije, dobimo različne podatke. Hkrati pa ima vsaka sprememba hitrosti - pospešitev, upočasnitev - ali sprememba smeri absoluten pomen in ni odvisna od tega, iz katerega mirujočega laboratorija opazujemo gibanje.

3. TRAGEDIJA SVETLOBE

Svetloba se ne razširi v hipu

Prepričali smo se, da velja načelo relativnosti in da obstaja neskončna množica "mirujočih" laboratorijev. V vseh teh laboratorijih veljajo za gibanje teles enaki zakoni. Toda eno gibanje na prvi pogled nasprotuje načelu, ki smo ga pravkar dognali: to je širjenje svetlobe.

Svetloba se širi z zelo veliko hitrostjo 300 000 kilometrov na sekundo. Takšno nezaslišano hitrost si težko predstavljamo, ko pa so hitrosti, ki jih srečujemo v vsakdanjem življenju, mnogo manjše. Celo hitrost vesoljskih raket doseže komaj 12 kilometrov na sekundo. Izmed vseh* teles v neposredni okolici se še najhitreje premika Zemlja, ko se vrti okoli Sonca. Vendar je celo njena hitrost komaj 30 kilometrov na sekundo.

Ali lahko spremenimo hitrost svetlobe?

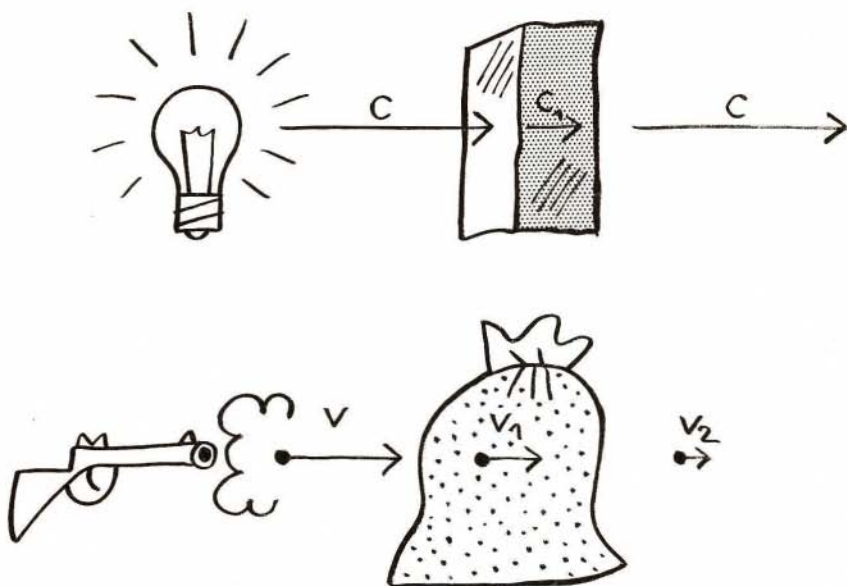
Velika hitrost svetlobe sama po sebi ne preseneča. Preseneča pa to, da je hitrost zmeraj enaka.

Telo lahko zavremo ali pospešimo. Celo puškini krogli zastavimo pot z zabojem peska: ko se bo prebijala skozi pesek, bo krogla izgubila del začetne hitrosti in bo potem letela počasneje.

S svetlobo pa je docela drugače. Hitrost krogle je odvisna od vrste strelnega orožja, toda hitrost svetlobe iz vseh svetil je enaka.

Zastavimo svetlobnemu curku pot s stekleno ploščo. Curek bo prodiral skozi ploščo z zmanjšano hitrostjo, ker je hitrost svetlobe v steklu manjša kot v praznem prostoru. Toda ko bo prodril skozi šipo, bo spet imel hitrost 300 000 kilometrov na sekundo.

* Tukaj so mišljena velika telesa. Majhni delci, npr. elektroni, lahko dosežejo hitrost, ki je samo malo manjša od svetlobne (op. ur.).



sl. 9

Širjenja svetlobe v praznem prostoru ne moremo niti zavreti niti pospešiti, kar ne velja za nobeno drugo gibanje. Naj doživi svetloba še takšne spremembe na poti skozi snov, v praznem prostoru ima spet prejšnjo hitrost.

Svetloba in zvok

Širjenje svetlobe je bolj podobno širjenju zvoka kot pa gibanju teles. Zvok je valovanje snovi, po kateri se širi. Zato je hitrost zvoka odvisna od narave te snovi in ne od lastnosti zvočila, ki oddaja zvok. Podobno kot hitrosti svetlobe tudi hitrosti zvoka ne moremo niti zmanjšati niti povečati, čeprav ga vodimo skozi vse mogoče snovi.

Če zvoku, na primer, zastavimo pot s kovinsko zapreko, bo sicer v pregradi imel drugačno hitrost, vendar bo dobil spet

prejšnjo hitrost, brž ko se bo prebil v prejšnjo snov.

Vzemimo vakuumsko črpalko, postavimo pod njen zvon električno žarnico in električni zvonec, pa začnimo iz njega izsesavati zrak. Zvonec bo zmerom manj glasen in na koncu ga sploh ne bomo več slišali, medtem ko bo žarnica še kar naprej enako svetila.

Ta poskus pokaže, da se zvok lahko širi samo po snovi, medtem ko lahko potuje svetloba tudi po praznem prostoru. To je bistvena razlika med njima.

Zdi se, da načelo relativnosti ne velja

Velika, vendar končna hitrost svetlobe v praznem prostoru je prišla navzkriž z načelom relativnosti.

Zamislimo si vlak, ki drvi s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo. Vzemimo, da smo na prednjem krajišču vlaka in da se na zadnjem krajišču prižge žarnica. Izmerimo čas, ki ga potrebuje svetloba za pot od enega krajišča do drugega.

Zdi se, da se ta čas razlikuje od časa, ki bi ga izmerili v mirujočem vlaku. Glede na vlak, ki se giblje s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo, bi morala svetloba imeti (v smeri, v katero se giblje vlak) hitrost samo

$$300\,000\text{ km/s} - 240\,000\text{ km/s} = 60\,000\text{ km/s}$$

(Svetloba dohiteva prednje krajišče vlaka, ki hiti proč od nje). Če pa prestavimo žarnico na prednje krajišče vlaka in merimo čas, ki ga porabi svetloba, da dospe do zadnjega krajišča, bi pričakovali, da bo hitrost svetlobe (v smeri, nasprotni gibanju vlaka) kar

$$240\,000\text{ km/s} + 300\,000\text{ km/s} = 540\,000\text{ km/s}$$

(Svetloba in zadnje krajišče vlaka hitita drug drugemu naproti).

Tako bi se torej morala svetloba širiti v različnih smereh z različnimi hitrostmi, medtem ko bi v mirujočem vlaku imela enako hitrost v obeh smereh.

S puškino kroglo je povsem drugače. Naj ustrelimo v smeri vožnje ali pa v nasprotno smer - hitrost kroglice glede na gibajoči se vlak bo enaka v vseh smereh in tudi enaka kot v mirujočem vlaku. Tako je zaradi tega, ker na hitrost kroglice vpliva hitrost premikajoče se puške. Hitrost svetlobe pa se, kot smo že povedali, nič ne spremeni, če se spremeni hitrost žarnice.

Zdi se, da naše razpravljanje jasno kaže, da je širjenje svetlobe v ostrem protislovju z načelom relativnosti. Medtem ko leti krogla glede na vlak z enako hitrostjo v mirujočem in v gibajočem se vlaku, pa se svetloba v vlaku, ki drvi s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo, širi, kakor se zdi, v eno smer petkrat počasneje kot v mirujočem vlaku, v drugo pa 1,8-krat hitreje.

Z merjenjem hitrosti svetlobe bi torej lahko dognali, kolikšna je absolutna hitrost vlaka. Porodi se nam trohica upanja: mar ne bi mogli uporabiti svetlobe, da bi določili pojem absolutnega mirovanja?

Za laboratorij, v katerem se svetloba širi v vseh smereh s hitrostjo 300 000 kilometrov na sekundo, bi lahko rekli, da absolutno miruje. V vsakem drugem laboratoriju, ki se giblje premo enakomerno glede na prvega, bi morala biti hitrost svetlobe v različnih smereh različna. Če je tako, ne bo ostalo prav ničesar več od relativnosti gibanja, relativnosti hitrosti in relativnosti mirovanja, ki smo jih dognali malo prej.

Eter

Kako naj si razložimo vse to? V prejšnjih časih je bilo v navadi pojmovanje, da je širjenje svetlobe podobno širjenju zvoka. Fiziki so uvedli posebno snov, tako imenovani eter, po katerem naj bi se širila svetloba, kakor se širi zvok po zraku. Pri tem so si predstavljali, da nobeno telo pri gibanju skozi eter

tega ne potegne s seboj - kakor, recimo, kletka iz tankih šib ne potegne s seboj vode, ko se giblje skozi njo.

Če naš vlak miruje glede na eter, se bo svetloba širila v vse smeri z enako hitrostjo. Kakršno koli gibanje vlaka glede na eter pa bo povzročilo, da bo hitrost svetlobe v različnih smereh postala različna.

Seveda smo se zaradi uvedbe etra - snovi, katere valovanje se kaže kot svetloba - znašli pred številnimi vprašanji, ki nas spravljajo v zadrego. Predvsem je sama domneva o obstoju etra očitno umetna. Lastnosti zraka lahko preučujemo ne samo z opazovanjem zvoka, ki se širi po njem, ampak tudi z drugimi fizikalnimi in kemijskimi poskusi. Eter pa se na skrivnosten način pri drugih poskusih sploh ne pokaže. Gostoto in tlak zraka lahko ugotovimo z zelo preprostimi merjenji. Toda vsi poskusi, da bi dognali karkoli o gostoti ali tlaku etra, so se popolnoma izjalovili.

Nastal je dokaj nesmiseln položaj.

Vsak naraven pojav lahko "pojasnimo", če uvedemo posebno snov z ustreznimi lastnostmi. Toda pravilna teorija o pojavih je več kot samo naštevanje znanih dejstev v učenem jeziku. Taka teorija napove več stvari, kakor jih pa nakazujejo neposredno dejstva, na katerih je bila zasnovana. Pojem atoma je, na primer, prišel v znanost iz kemije. Toda potem, ko smo ga sprejeli, je ta pojem omogočil razložiti in napovedati veliko pojavov, s katerimi nima kemija nobenega opravka.

Privzetek etra bi lahko po pravici primerjali s poskusom kakega divjaka, da bi pojasnil delovanje gramofona s posebnim "duhom gramofona", ki da je zaprt v tej skrivnostni skrinjici.

Seveda razlage take baže ne pojasnijo prav ničesar.

Še preden so si fiziki izmislili eter, so že imeli podobne žalostne izkušnje: gorenje so nekdaž "razlagali" s posebno snovjo, tako imenovanim flogistonom, toploto pa z drugo, kalorično snovjo. Mimogrede povedano, obe snovi sta se - tako kot eter - odlikovali po tem, da ju nikakor niso mogli zgrabiti in dokazati.

Zašli smo v težak položaj

Če načelo relativnosti ne velja za svetlobo, bi to moralo načelu vzeti veljavo tudi za gibanje teles. Zato je zagata, ki jo skušamo razvozlati, tako pomembna.

V resnici naletijo telesa, ki se gibljejo po katerikoli snovi, na upor. Zato bi moralo biti tudi gibanje teles v etru povezano z uporom. Gibanje teles bi moralo postajati počasnejše in se izteči v mirovanje. Toda Zemlja kroži okoli Sonca že več milijard let (po pričevanjih geologije) in nikjer ni sledu, da bi njeno gibanje postajalo zaradi upora v etru kaj počasnejše.

V prizadevanju, da bi razložili nenavadno obnašanje svetlobe v gibajočem se vlaku z etrom, smo se torej znašli v slepi ulici. Predstava o etru ne odstrani protislovja med obnašanjem svetlobe, ki krši načelo relativnosti, in gibanjem teles, za katere načelo velja.

Naj odloči poskus

Kaj naj storimo s tem protislovjem? Preden bomo izrekli takšno ali drugačno sodbo, pribijmo tole:

Pred protislovjem med širjenjem svetlobe in načelom relativnosti gibanja smo se znašli izključno zaradi našega razglabljanja. Resda so bila naša dokazovanja, to poudarjamo, prepričevalna. Toda če bi se omejili samo na to, bi bili podobni nekaterim antičnim filozofom, ki so poskušali odkriti zakone narave samo z razglabljanjem. Če bomo ravnali tako, bomo v nevarnosti, da bo slika sveta, ki si jo bomo izoblikovali, kljub vsem svojim odlikam le malo podobna resničnemu svetu.

Najvišji razsodnik nad katerokoli fizikalno teorijo je zmerom poskus. Zato se ne smemo omejiti na razglabljanje o tem, kako naj bi se širila svetloba v gibajočem se vlaku, ampak moramo preiti k poskusom, ki bodo pokazali, kako se svetloba dejansko širi v takih okoliščinah.

Izvedba takšnih poskusov je olajšana, ker živimo na gibajočem

se telesu. V svojem kroženju okoli Sonca se Zemlja nikdar ne giblje premo in zato nikoli ne more veljati za mirujoče telo, čeprav bi jo opazovali iz katerega koli mirujočega laboratorija.

Celo če vzamemo za izhodišče laboratorij, glede na katerega miruje Zemlja v januarju, se bo v njem gibala v juniju, ker se medtem spremeni smer njenega gibanja okoli Sonca. Če torej preučujemo, kako se širi svetloba na Zemlji, pravzaprav preučujemo širjenje svetlobe v gibajočem se laboratoriju, katerega hitrost - 30 kilometrov na sekundo - je za naše razmere vsekakor upoštevanja vredna. (Vrtenje Zemlje okoli lasne osi lahko zanemarimo, saj je pri tem hitrost komaj kakšnega pol kilometra na sekundo.)

Ali smemo primerjati Zemljo z gibajočim se vlakom, ki nas je zapeljal na ta slepi tir? Saj se vlak giblje vendar premo enakomerno - Zemlja pa kroži. Že res. Kljub temu lahko računamo, da se Zemlja tisti drobec sekunde, kolikor potrebuje svetloba za pot skozi laboratorijske naprave, giblje premo enakomerno. Napaka, ki jo prinese takšno sklepanje, je tako neznatna, da je sploh ne moremo ugotoviti.

Če smo že poistovetili vlak z Zemljo, lahko upravičeno pričakujemo, da se bo svetloba pri širjenju po Zemlji obnašala prav tako čudno kot v našem vlaku: da bo torej potovala v različnih smereh z različnimi hitrostmi.

Načelo relativnosti slavi zmago

Poskus, o katerem govorimo, je naredil leta 1881 A.A. Michelson (1852 - 1931), eden največjih eksperimentatorjev prejšnjega stoletja. Izredno natančno je izmeril hitrost svetlobe v različnih smereh glede na Zemljo. Da bi odkril pričakovano zelo majhno razliko med hitrostmi svetlobe v različnih smereh, je moral uporabiti domiselni način merjenja. Dosegel je tolikšno natančnost, da bi vsekakor moral odkriti še mnogo manjše razlike v hitrostih, kot pa so jih pričakovali.

Michelsonov poskus, ki so ga pozneje še večkrat ponovili v drugih izvedbah, je dal čisto nepričakovan izid. Širjenje svetlobe v gibajočem se laboratoriju se je pokazalo za popolnoma drugačno od prejšnjih napovedi. Michelson je namreč razkril, da se na gibajoči se Zemlji širi svetloba v vseh smereh natančno z enako hitrostjo. V tem je širjenje svetlobe prav takšno kot let puškine kroglice - ni odvisno od gibanja laboratorija - in hitrost svetlobe glede na gibajoči se laboratorij je enaka v vseh smereh.

Michelsonov poskus je pokazal, da širjenje svetlobe - v nasprotju z našo napovedjo - niti malo ne nasprotuje načelu relativnosti, ampak se z njim popolnoma sklada. Drugače povedano: naše dokazovanje na str. 23 in 24 se je izkazalo za zmotno.

Z dežja pod kap

Tako, poskus nas je rešil resnega protislovja med širjenjem svetlobe in načelom relativnosti. Protislovje se je izkazalo za navidezno in očitno ga je treba pripisati kakšni napaki v našem razglabljanju. Toda kje se skriva ta napaka?

Skoraj četrt stoletja - od leta 1881 do leta 1905 - so si fiziiki po vsem svetu belili glave, kako bi odgovorili na to vprašanje. Vendar so vse predlagane razlage neogibno vodile v nova in nova protislovja med teorijami in poskusi.

Če kletko iz tankih žic, v kateri sta zvočilo in opazovalec, naglo premikamo, čuti opazovalec močan veter. Ko izmerimo hitrost zvoka glede na kletko, je manjša v smeri gibanja kot v nasprotni smeri. Toda če postavimo zvočilo v vagon s tesno zaprtimi vrati in okni in v njem merimo hitrost zvoka, ugotovimo, da je hitrost zvoka enaka v vseh smereh, ker se tokrat zrak, po katerem se prenaša zvok, giblje z vlakom vred.

Pri primerjanju zvoka in svetlobe bi se lahko komu, ki poskuša razložiti rezultate Michelsonovega poskusa, utrnila tudi takale misel: Kaj če Zemlja, ko hiti skozi prostor, etra ne pušča

pri miru in ne prehaja skozenj, kot gre skozi zrak žičnata kletka. Vzemimo raje, da Zemlja nekako nosi eter s seboj, tako da se eter in Zemlja gibljeta skupaj kot celota. Potem bi postal rezultat Michelsonovega poskusa povsem razumljiv.

Na nesrečo nasprotuje takšen privzetek množici drugih poskusov, na primer poskusu, pri katerem se širi svetloba po vodi, ki se giblje po cevi. Če bi privzetek, da se eter giblje skupaj s telesi, obveljal, bi morali pri merjenju hitrosti svetlobe v smeri vodnega toka dobiti seštevek hitrosti svetlobe v mirujoči vodi in hitrosti vode. Neposredna merjenja pa dajo manjšo hitrost.

Omenili smo že docela nenavaden pojav, da telesa, ki se gibljejo skozi eter, ne nalete na nikakršen upor. Celo če ne prodirajo skozi eter, ampak ga nosijo s seboj, bi vsekakor morali opaziti upor.

Tako so se klavrno končali vsi poskusi, da bi obšli protislovje, ki izhaja iz nepričakovanega rezultata Michelsonovega poskusa.

Napravimo zdaj račun.

Michelsonov poskus je potrdil načelo relativnosti ne samo za telesa, ampak tudi za širjenje svetlobe, se pravi, za vse pojave v naravi.

Načelo relativnosti vodi, kot smo videli že prej, neposredno k relativnosti hitrosti: za različne laboratorije, ki se gibljejo drug glede na drugega, morajo biti vrednosti hitrosti različne. Na drugi strani pa je hitrost svetlobe 300 000 kilometrov na sekundo enaka v vseh laboratorijih. Torej ta hitrost ni relativna, ampak absolutna.

4. POKAŽE SE, DA JE ČAS RELATIVEN

Ali gre zares za protislovje?

Na prvi pogled se zdi, da smo zadeli ob čisto logično protislovje. Dejstvo, da je hitrost svetlobe enaka v vseh smereh, namreč potrjuje načelo relativnosti, hkrati pa je hitrost svetlobe absolutna.

Ampak spomnimo se, kako je srednjeveški človek sprejel dejstvo, da je Zemlja krogla: zanj je to bilo v ostrem protislovju z obstojem teže, saj bi se po njegovem morala vsa telesa skotaliti "dol" z Zemlje. Zanesljivo pa vemo, da tu ni nobenega logičnega protislovja. Pojma "gor" in "dol" preprosto nista absolutna, ampak relativna.

Natanko tako je s svetlobo.

Zaman bi iskali kakšno logično protislovje med načelom relativnosti in absolutno hitrostjo svetlobe. Do protislovja je prišlo samo zaradi tega, ker smo se pri tem oprijeli - ne da bi to opazili - še nekaj drugih domnev. Ravnali smo kot srednjeveški zemljani, ki so pri spodbijanju prepričanja, da je Zemlja krogla, šteli pojma "gor" in "dol" za absolutna. Do tega za nas smešnega verovanja v absolutni "gor" in absolutni "dol" je prišlo zaradi omejenih možnosti za neposredne izkušnje. V tistih časih so ljudje le zelo malo potovali in so poznali le majhne dele zemeljske površine. Očitno se je nekaj podobnega pripetilo tudi nam; zdi se, da smo zaradi naših omejenih izkušenj vzeli za absolutno nekaj, kar je v resnici relativno.

Kaj pravzaprav?

Da bomo odkrili svojo napako, se bomo odslej opirali samo na ugotovitve, ki jih bomo dohnali s poskusom.

Vsedimo se na vlak

Zamislimo si vlak, ki je dolg 5 400 000 kilometrov in se giblje premo enakomerno s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo.

Vzemimo, da se v izbranem trenutku sredi vlaka prižge žarnica. Prvi in zadnji vagon imata avtomatična vrata, ki se odpro, brž ko pade nanje svetloba. Kaj bodo videli ljudje v vlaku, kaj pa ljudje na peronu, mimo katerega vozi vlak?

Kot smo se domenili, se bomo pri odgovarjanju na taka vprašanja opirali samo na dejstva, ki jih poznamo iz izkušenj.

Ljudje, ki sedijo sredi vlaka, bodo videli tole: ker potuje



svetloba glede na vlak (v skladu z Michelsonovim poskusom) z enako hitrostjo v vseh smereh - se pravi s 300 000 kilometri na sekundo - bo dosegla prvi in zadnji vagon hkrati, in to po

$$2\,700\,000\text{ km} : 300\,000\text{ km/s} = 9\text{ sekundah}$$

Oboja vrata se bodo torej odprla sočasno.

Kaj pa bodo videli ljudje na peronu? Tudi glede na postajo potuje svetloba s hitrostjo 300 000 kilometrov na sekundo. Toda zadnji vagon se giblje svetlobi nasproti. Torej se bo svetloba srečala z zadnjim vagonom po

$$\begin{aligned} 2\,700\,000\text{ km} : (300\,000\text{ km/s} + 240\,000\text{ km/s}) &= \\ &= 5\text{ sekundah} \end{aligned}$$

Prednji vagon pa svetloba dohiteva in zato ga bo dosegla šele po

$$\begin{aligned} 2\,700\,000\text{ km} : (300\,000\text{ km/s} - 240\,000\text{ km/s}) &= \\ &= 45\text{ sekundah} \end{aligned}$$

Tako se bo torej ljudem na peronu pokazalo, da se vrata na vlaku ne odpro sočasno. Najprej se bodo odprla vrata v zadnjem vagonu in šele po

$$45\text{ s} - 5\text{ s} = 40\text{ sekundah}$$

se bodo odprla vrata v prvem vagonu.*

Torej sta dogodka - namreč trenutka, ko doseže svetloba prednja in zadnja vrata v vlaku in se ta odpro - sočasna za ljudi na vlaku, za ljudi na peronu pa sta 40 sekund narazen.

Osramočena "zdrava pamet"

Je v tem kakšno protislovje? Ali ni pojav, ki smo ga opisali, popoln nesmisel - kot če bi rekli: "Krokodil je od repa do gla

* Kasneje bomo o tem spregovorili še nekoliko podrobneje (str. 53)

ve dolg dva metra, od glave do repa pa en meter"?

Poskusimo razmisliti, zakaj se nam zdi dobljeni rezultat tako nesmiseln, čeprav se popolnoma sklada z izkustvenimi dejstvi?

Razmišljamo lahko kolikor hočemo, ne bo se nam posrečilo odkriti logičnega protislovja v tem, da sta dva dogodka, ki se za potnike v vlaku zgodita sočasno, za ljudi na peronu za 40 sekund narazen.

V tolažbo si lahko rečemo samo to, da naše sklepanje nasprotuje "zdravi pameti".

Toda spomnimo se, kako se je "zdrava pamet" srednjeveškega človeka upirala dejstvu, da kroži Zemlja okoli Sonca. Saj so temu človeku njegove vsakdanje izkušnje zanesljivo govorile, da Zemlja miruje in da Sonce kroži okoli nje. Mar ni ljudem prav "zdrava pamet" narekovala tiste smešne dokaze, da Zemlja sploh ne more biti krogla?

Kako se "zdrava pamet" skrega z izkustvenimi dejstvi, pove zgodnica o rovtarju, ki se je v živalskem vrtu znašel pred žirafo in vzkliknil: "Takšno bitje vendar ni mogoče!"

Tako imenovana "zdrava pamet" je samo preprosta posplošitev predstav in navad, ki so zrasle v vsakdanjem življenju.

"Zdrava pamet" ustreza ravni pojmovanja na doseženi stopnji izkušenj.

Vsa težava pri razumevanju dejstva, da se za ljudi na peronu dva dogodka, ki sta za potnike na vlaku sočasna, ne zgodita sočasno, je podobna opisani zadregi rovtarja, ki ga je zmedel pogled na žirafo. Kakor rovtar še nikoli prej ni videl take živali, tako se mi še nikoli nismo gibali s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo. Nič presenetljivega ni, če fiziki pri tako velikih hitrostih naletijo na dejstva, ki so drugačna kot v vsakdanjem življenju.

Nepričakovani rezultat Michelsonovega poskusa je fizike postavil pred ta nova dejstva. Prisilil jih je, da so - čeprav proti "zdravi pameti" - znova preiskali navidez jasen in domač po

jem, kot je sočasnost dveh dogodkov.

Seveda bi lahko ostali zvesti staremu prepričanju, se pravi "zdravi pameti", in spodbijali obstoj novih dejstev. Toda s takšnim ravnanjem bi bili podobni rovtarju iz zgodbe.

Čas zadene ista usoda kot prostor

Znanosti ni strah spopadov s tako imenovano "zdravo pametjo", boji se le neskladij med dotedanjimi predstavami in novimi eksperimentalnimi dejstvi. Če pa že pride do takega neskladja, znanost brez usmiljenja zavrže stare predstave in se dvigne na višjo stopnjo.

Prej smo menili, da sta dva dogodka, ki sta sočasna v enem laboratoriju, sočasna tudi v katerem koli drugem laboratoriju. Poskus pa nas je pripeljal do drugačnega sklepa. Pokazalo se je, da to drži samo za laboratorije, ki drug glede na drugega mirujejo. Če pa se dva laboratorija gibljeta drug glede na drugega, moramo računati s tem, da dogodka, ki sta sočasna v enem laboratoriju, nista sočasna za opazovalce v drugem laboratoriju. Pojem sočasnosti postane relativen: pomen ima le, če označimo, kako se giblje laboratorij, v katerem opazujemo dogodka.

Spomnimo se relativnosti kotov, ki smo jo obravnavali na šesti strani. Kako je bilo tam? Vzemimo, da smo za kot med dvema zvezdama, ki ju opazujemo z Zemlje, ugotovili, da je 0^0 , ker ležita obe pač v isti smeri. V vsakdanjem življenju nikoli ne bomo prišli v protislovje, če štejemo to ugotovitev za absolutno. Toda stvari se spremenijo, brž ko zapustimo meje našega Osončja in opazujemo isti zvezdi iz kakšne druge točke v vesolju. Tedaj kot med njima ne bo več 0^0 , ampak bo drugačen.

Sodobnemu človeku je jasno, da se dve zvezdi, ki se pri opazovanju z Zemlje pokrivata, ne bi pokrivali, če bi ju opazovali z drugih točk v vesolju. Toda za srednjeveškega človeka, ki si je nebo predstavljal kot z zvezdami posut svod, bi bilo to nekaj nesmiselnega.

Predstavljajte si, da bi vas nekdo vprašal: "Kako pa je v resnici, če se ne oziramo na noben laboratorij: ali sta oba dogodka sočasna ali ne?" Žal to vprašanje nima nič več smisla kot vprašanje: "Kako pa je v resnici, če pošljemo k vragu vse opazovalne točke: ali ležita obe zvezdi na isti črti ali ne?"

Saj v tem grmu tiči zajec. Če se dve zvezdi znajdeti v isti smeri, to ni posledica samo njunih položajev v vesolju, ampak je tako tudi zaradi točke, iz katere ju opazujemo. Prav tako pa tudi sočasnost dveh dogodkov ni odvisna samo od obeh dogodkov samih, ampak še od laboratorija, v katerem ju opazujemo.

Dokler smo imeli opraviti s hitrostmi, ki so bile neznatne v primeri s hitrostjo svetlobe, nismo mogli odkriti, da je pojem sočasnosti relativen. Šele ko smo začeli preučevati gibanja pri hitrostih, ki niso majhne v primeri s hitrostjo svetlobe, smo bili prisiljeni ponovno pretehtati pojem sočasnosti.

Natanko tako so morali ljudje znova preučiti pojme "zgoraj" in "spodaj", ko so pričeli potovati v daljave, ki niso bile majhne v primeri z razsežnostjo Zemlje. Dotlej pa predstava, da je Zemlja ploščata, na koncu koncev ni mogla pripeljati v prav ni kakršno protislovje z izkušnjami.

Zares za zdaj še ne moremo potovati s hitrostmi blizu hitrosti svetlobe, tako da še nimamo neposrednih izkušenj o dejstvih, ki se zdijo po naših starih predstavah nemogoča. Toda s sodobnimi poskusi lahko ta dejstva zanesljivo ugotovimo pri mnogih fizikalnih pojavih.

Tako je zdaj usoda, ki jo je bil doživel prostor, zadela tudi čas. Besede "ob istem času" pomenijo prav tako malo kot besede "na istem kraju".

Če hočemo navesti časovni razmik med dvema dogodkoma, moramo - tako kot pri navajanju njunega krajevnega razmika - označiti še laboratorij, v katerem velja ugotovitev.

Odkritje, da je čas relativen, pomeni globok prevrat v našem pojmovanju narave. To odkritje je ena izmed največjih zmag človeškega razuma nad popačenimi predstavami, ki so vladale stoletja. Nastali prevrat lahko primerjamo samo z revolucijo v predstavah ljudi, ki jo je povzročilo odkritje, da je Zemlja krogla.

Relativnost časa je odkril leta 1905 največji fizik dvajsetega stoletja - Albert Einstein (1879 - 1955). To odkritje je štiriindvajsetletnega Einsteina uvrstilo med velikane človeške misli. Einsteina imamo zdaj obenem s Kopernikom in Isaacom Newtonom za velikega utiralca novih poti v znanosti. Leninu je bil Einstein eden od največjih preoblikovalcev naravoslovja.

Hitrost ima meje

Pred drugo svetovno vojno so letala letela počasneje od zvoka, dandanes pa gradimo nadzvočna letala. Radijski valovi potujejo tako hitro kot svetloba. Toda ali ne bi mogli imeti "nadsvetlobne" telegrafije, da bi z njo prenašali signale s hitrostjo, ki bi bila večja od hitrosti svetlobe? To se izkaže za nemogoče.

Ko bi mogli prenašati signale z neskončno hitrostjo, bi bilo mogoče ugotavljati sočasnost dveh dogodkov. Lahko bi namreč rekli, da sta se dva dogodka pripetila hkrati, če bi neskončno hiter signal o prvem dogodku prispel ob istem času, kot signal o drugem dogodku. S tem bi sočasnost postala absolutna in bi ne bila odvisna od gibanja laboratorija, v katerem smo jo ugotovili.

Toda ker je eksperiment spodbil absolutnost časa, sklepamo, da se signal ne more razširiti v hipu. Hitrost, s katero lahko potuje kak pojav iz ene točke prostora v drugo, ne more biti neskončna; ne more preseči neke končne mejne hitrosti.

Ta mejna hitrost je hitrost svetlobe.

Po načelu relativnosti morajo namreč biti zakoni narave enaki v vseh laboratorijih, ki se drug glede na drugega gibljejo premo enakomerno. Tudi trditev, da nobena hitrost ne more prekoračiti mejne hitrosti, je zakon narave. Zato mora biti mejna hitrost enaka v vseh laboratorijih. Kot vemo, velja to za hitrost svetlobe.

Tako torej hitrost svetlobe ni zgolj hitrost, s katero se širi ta pojav, ampak ima še izredno pomembno vlogo mejne hitrosti.

Odkritje, da obstaja mejna hitrost, je eno izmed največjih zmagoslavij človeškega duha in človekovih eksperimentalnih zmoglosti.

Fizik prejšnjega stoletja se nikakor ne bi mogel dokopati do ugotovitve, da imamo na svetu opraviti z mejno hitrostjo in da lahko to dokažemo. Še več, tudi če bi v svojih poskusih naletel na mejno hitrost v naravi, bi ne mogel biti prepričan, da je to zakon narave, ne pa samo posledica trenutne omejitve pri poskusih, ki jo utegne prihodnji razvoj preseči.

Načelo relativnosti kaže, da je mejna hitrost zasidrana v sami naravi. Ne moremo pričakovati, da bo napredek tehnike omogočil večje hitrosti od hitrosti svetlobe. To bi bilo prav tako smešno, kot če bi trdili, da so na Zemlji točke več kot 20 000 kilometrov narazen in da dejtvo, da jih ni, ni geografski zakon, ampak posledica omejenosti našega znanja in da se bo z razvojem geografije posrečilo najti kraje, ki bodo dalj oddaljeni drug od drugega.

Hitrost svetlobe ima v naravi izjemno vlogo prav zaradi tega, ker je to mejna hitrost. Katerikoli drug pojav se širi s hitrostjo, ki je manjša od svetlobne ali pa ji je kvečjemu enaka.

Če bi se Sonce razklalo na dvoje in bi potlej bilo dvojna zvezda, bi se gibanje Zemlje spremenilo.

Fizik prejšnjega stoletja, ki ni vedel za mejno hitrost, bi menil, da bi se hitrost Zemlje spremenila še isti hip, ko bi se Sonce razklalo. Toda svetloba bi potrebovala za pot od razklanega Sonca do Zemlje osem minut.

V resnici bi se torej tudi spremembe v gibanju Zemlje pričele šele osem minut po razcepu Sonca. Dotlej pa bi se Zemlja gibala še povsem tako, kot da se s Soncem ni nič zgodilo. Nasploh ne more noben pojav, ki bi se pripetil v Soncu, vplivati na Zemljo ali na njeno gibanje, preden ne poteče teh osem minut.

Mejna hitrost, s katero še lahko potujejo signali, nam ne jemlje možnosti za ugotavljanje sočasnosti dveh dogodkov. Upoštevati moramo pač čas, ki ga je porabil signal za svojo pot, kar ponavadi tudi delamo.

Takšen postopek pri ugotavljanju sočasnosti dveh dogodkov je popolnoma v skladu z relativnostjo pojma sočasnosti. Če hočemo namreč izračunati čas, ki je potekel med dvema dogodkoma, moramo deliti razdaljo med krajema, kjer sta se pripetila, s hitrostjo signala. Po drugi strani pa smo že takrat, ko smo obravnavali pošiljanje pisma z brzca Moskva - Vladivostok, videli, da je celo lega v prostoru relativen pojem.

Prej in kasneje

Vzemimo, da v našem vlaku s prižigajočo se lučko (rekli mu bomo kar Einsteinov vlak) mehanizem avtomatičnih vrat ne deluje pravilno in da potniki opazijo, da se vrata v prednjem vagonu odpro 15 sekund prej kot vrata v zadnjem vagonu. Toda ljudje na peronu ugotovijo, da se prej odpro vrata v zadnjem vagonu in sicer

$$40 \text{ s} - 15 \text{ s} = 25 \text{ sekund prej.}$$

Torej bi se to, kar se v enem laboratoriju zgodi prej, v drugem zgodilo pozneje.

Temu se takoj upremo, čaš da mora relativnost pojmov "prej" ali "kasneje" vendar imeti svoje meje. Težko bi se sprijaznili - glede na kateri koli laboratorij - z mislijo, da se je, na primer, otrok rodil prej kot njegova mati.

Oglejmo si ta pojav.

Na Soncu je nastala pega. Astronom, ki je s teleskopom opazoval Sonce, je pego zagledal osem minut po nastanku. Za vse, kar astronom stori potem, velja, da se je zgodilo absolutno pozneje, kot je nastala pega, in to pozneje glede na kateri koli laboratorij, iz katerega so lahko opazovali oboje, sončno pego in astronoma. In nasprotno: vse, kar se je astronomu pripetilo vsaj osem minut prej, preden je nastala sončna pega (tako da je signal o tem dogodku lahko prispel na Sonce še do izbruha sončne pege), se je zgodilo absolutno prej.

Toda če si je astronom, recimo, nataknil očala v nekem trenutku med tema mejama, časovni odnos med nastankom sončne pege in astronomovim natikanjem očal ne bo več absoluten. Naše gibanje glede na astronoma in glede na sončno pego je lahko bilo takšno, da smo videli, kako si je astronom nataknil očala prej ali kasneje ali pa ob istem času, kot je nastala sončna pega - kar je odvisno pač od hitrosti in smeri našega gibanja.

Tako nam načelo relativnosti kaže, da imamo tri tipe časovnega razmerja med dvema dogodkoma: absolutno prej, absolutno pozneje in "niti prej niti pozneje", torej prej *ali* pozneje, odvisno od tega, iz katerega laboratorija opazujemo oba dogodka.

5. URE IN RAVNILA UGANJAJO NORČIJE

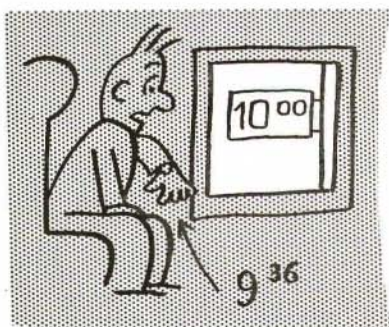
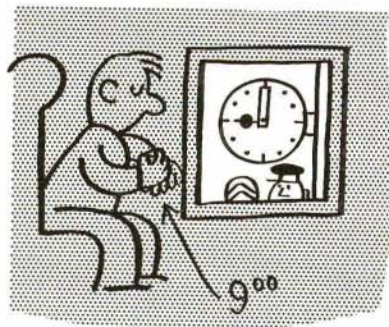
Spet smo na vlaku

Pred nami je zelo dolga železniška proga, po kateri pelje Einsteinov vlak. Dve postaji na tej progi sta 864 milijonov kilometrov narazen. S hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo potrebuje Einsteinov vlak za to razdaljo natanko eno uro.

Na vsaki postaji je ura. Potnik, ki vstopi na prvi postaji, si tik pred odhodom naravna ročno uro po postajni uri. Ob prihodu na drugo postajo pa ves presenečen ugotovi, da njegova ura zagotavlja za postajno, čeprav mu je urar zatrdil, da je popolnoma v redu.

Kaj se je zgodilo?

Da bi se znašli v tej uganki, si predstavljajmo, da potnik usmeri proti stropu blisk iz bliskovne luči, pritrjene na podu. Na stropu je nameščeno zrcalo, na katerem se svetloba odbije nazaj k luči. Pot svetlobe, kakor jo vidi potnik v vagonu, je narisana na zgornji polovici slike 12. Za opazovalca na peronu, mimo katerega pelje vlak, pa je ta pot docela drugačna. Tačas, ko potuje svetloba od luči do zrcala, se zrcalo premika, kakor se premika vlak. In medtem ko se vrača, napravi enako pot tudi luč.



Vidimo torej, da napravi svetloba za opazovalca na peronu daljšo pot kot za opazovalca na vlaku. Po drugi strani pa vemo, da je hitrost svetlobe absolutna hitrost in enaka za potnika na vlaku in za ljudi na peronu. To nas sili k sklepu, da preteče na postaji med odhodom in povratkom svetlobnega bliska več časa kot pa na vlaku.

Razmerja med tema dvema časoma ni težko izračunati.

Vzemimo, da opazovalec na peronu ugotovi, da je med odhodom in povratkom svetlobnega bliska preteklo 10 sekund. Med temi desetimi sekundami je svetloba prepotovala

$$300\,000\text{ km s}^{-1} \cdot 10\text{ s} = 3\,000\,000\text{ kilometrov}$$

Torej merita stranici AB in BC v enakokrakem trikotniku ABC (na spodnji polovici sl. 11) vsaka po 1 500 000 kilometrov. Osnovnica AC je očitno enaka razdalji, ki jo prevozi vlak v desetih sekundah:

$$240\,000\text{ km s}^{-1} \cdot 10\text{ s} = 2\,400\,000\text{ kilometrov}$$

Višino BD v trikotniku ABC zlahka ugotovimo: to je prav višina vagona.

Spomnimo se na Pitagorov izrek, da je v pravokotnem trikotniku (v našem primeru trikotniku ABD) kvadrat nad hipotenuzo (stranico AB) enak vsoti kvadratov nad katetama (stranicama AD in BD). Iz enačbe

$$AB^2 = AD^2 + BD^2$$

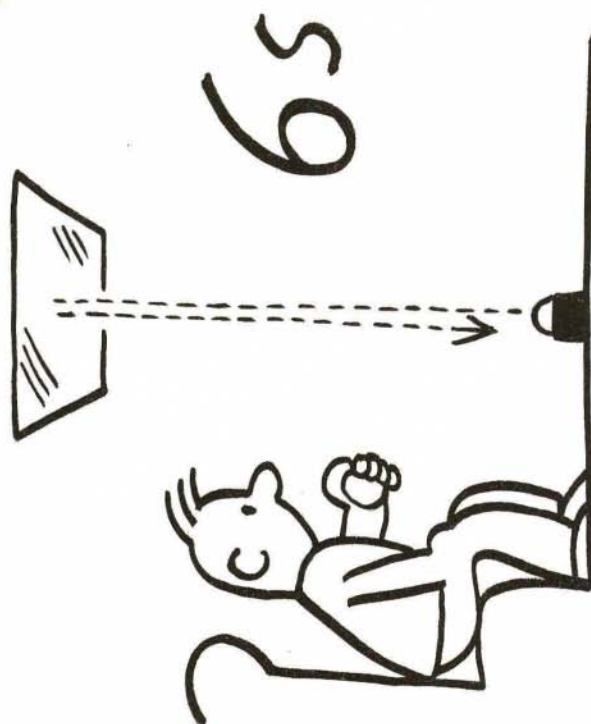
dobimo, da je višina vagona

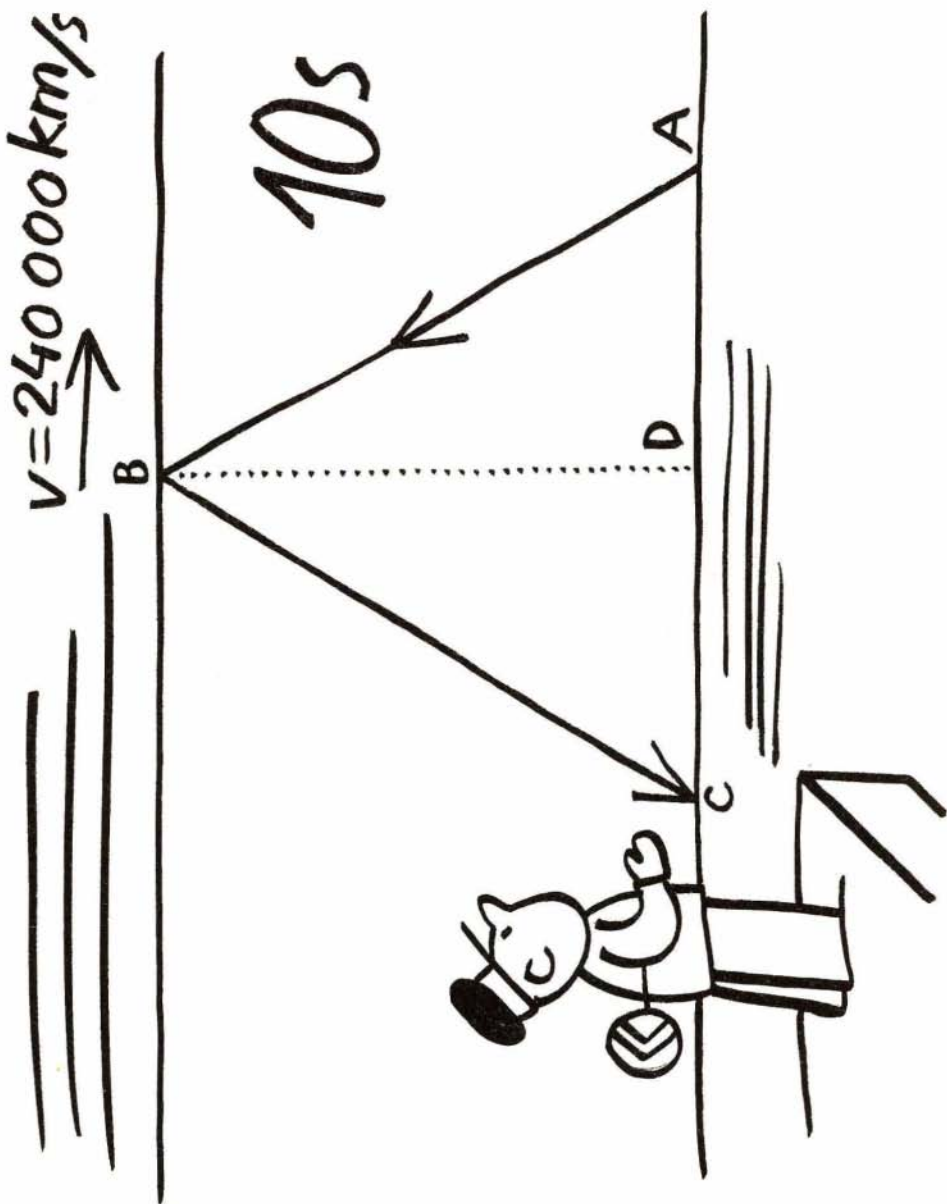
$$BD = \sqrt{AB^2 - AD^2}$$

Vstavimo znana podatka za AB in AD, pa dobimo:

$$BD = \sqrt{1\,500\,000^2 - 1\,200\,000^2}\text{ km} = 900\,000\text{ kilometrov}$$

Kar precejšnja višina, vendar nič presenetljivega nasproti





astronomskim razsežnotim Einsteinovega vlaka.

Pot, ki jo prepotuje svetloba od poda do stropa in nazaj, je za potnika očitno enaka dvojni višini vagona, to je

$$2.900\,000\text{ km} = 1\,800\,000\text{ kilometrov}$$

Za tolikšno razdaljo potrebuje svetloba

$$1\,800\,000\text{ km} : 300\,000\text{ km/s} = 6\text{ sekund}$$

Ure sistematično zaostajajo

Na postaji preteče deset sekund, medtem ko preteče na vlaku samo šest sekund. Se pravi: če je po postajni uri pripeljal vlak z ene postaje na drugo v eni uri, je po potnikovi uri potreboval za isto pot samo

$$60\text{min.}(6/10) = 36\text{ minut}$$

Tako je potnikova ura v primerjavi s postajno zaostala v eni uri kar za 24 minut.

Ni težko ugotoviti, da potnikova ura tem bolj zaostaja, čim večja je hitrost vlaka. Čim bolj narašča hitrost vlaka in se bliža hitrosti svetlobe, tem bolj se stranica AD, to je pot vlaka, bliža hipotenuzi AB, to je poti svetlobe. Temu ustrezno se spreminja razmerje med stranico BD in hipotenuzo AB. To razmerje pa ravno določa razmerje med časom po uri na vlaku in časom po uri na postaji. Če bi se bližala hitrost vlaka hitrosti svetlobe, bi lahko dosegli, da bi v eni uri postajnega časa minil na vlaku samo kratek trenutek. Če bi bila hitrost vlaka 0,9999 svetlobne hitrosti, bi v eni uri, izmerjeni z uro na postaji, potekla na vlaku samo ena minuta.

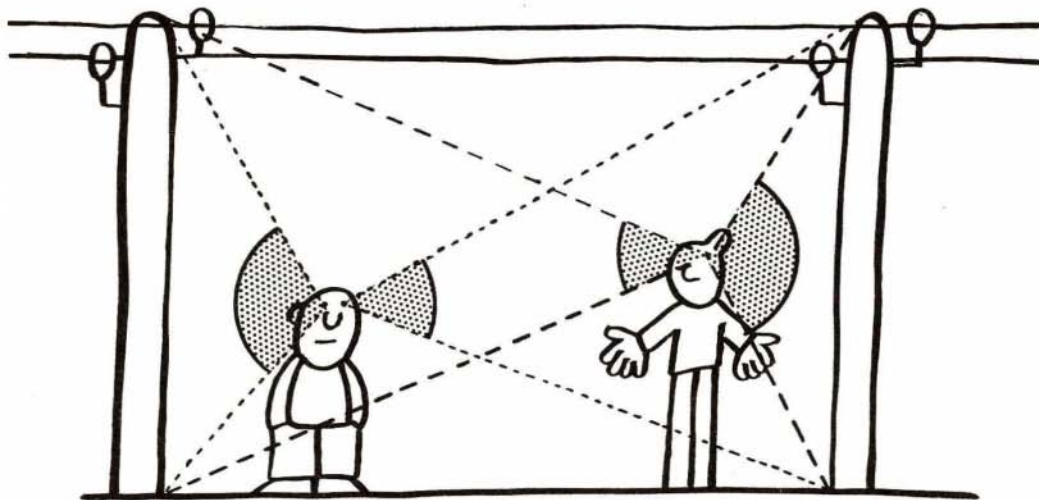
Torej vsaka ura, ki se giblje, zaostaja v primeri z mirujočo uro. Toda ali ta ugotovitev ne nasprotuje načelu relativnosti, ki je bilo naše izhodišče? Ali to ne pomeni, da je ura, ki prehiteva vse druge, v absolutnem mirovanju?

Ne, kajti ure na vlaku smo primerjali z urami na postajah v popolnoma neenakih okoliščinah. Saj nismo uporabili dveh ur, ampak tri. Potnik je primerjal svojo uro z dvema različnima urama na dveh različnih postajah. Obratno: če bi bili na vlaku dve uri, ena v prednjem vagonu in ena v zadnjem, bi opazovalec na postaji pri primerjanju postajne ure z urama, ki ju vidi skozi okna mimo drvečih vagonov, ugotovil, da zaostaja postajna ura.

V tem primeru, ko se vlak giblje premo enakomerno glede na postajo, lahko upravičeno štejemo, da vlak miruje in da se giblje postaja. Naravni zakoni morajo biti enaki na obeh.

Vsak opazovalec, ki miruje glede na svojo uro, bo ugotovil, da druge ure, ki se glede nanj gibljejo, prehitevajo: večja je njihova hitrost, bolj prehitevajo.

Ta ugotovitev je čisto podobna zatrjevanju dveh opazovalcev, stoječih pri telegrafskih drogovih, da vidita svoj drog pod večjim kotom kot pa drog svojega tovariša.



Predstavljajmo si, da Einsteinov vlak ne drvi po ravni, ampak po krožni progi in da se po določenem času vrne na izhodiščno postajo. Kot smo že ugotovili, bo potnik v vlaku odkril, da njegova ura zaostaja in da zaostaja tem bolj, čim hitreje vozi vlak. S povečanjem hitrosti Einsteinovega vlaka na krožni poti lahko dosežemo takšno razmerje, da bo med tem, ko bo potniku minila ena ura, za postajnega načelnika preteklo več let. Če bi se potnik vrnil s take vožnje na začetno postajo po enem dnevu (po svoji uri), bi videl, da so vsi njegovi prijatelji in sorodniki že zdavnaj pomrli.

Če je potnik prej, pri vožnji od ene postaje do druge, primerjal svojo uro z dvema različnima postajnama urama, pa zdaj, na krožni vožnji, ne primerja med seboj več treh ur, ampak le dve - namreč svojo uro v vlaku in uro na postaji, odkoder se je od peljal in kamor se je vrnil.

Ali to ne nasprotuje načelu relativnosti? Ali lahko rečemo, da potnik miruje in da izhodiščna postaja kroži okoli njega s hitrostjo Einsteinovega vlaka? Če bi lahko sprejeli to stališče, pa bi prišli do sklepa, da bi tokrat ljudem na postaji minil samo en dan, medtem ko bi potnik prebil na vlaku kar nekaj let. Toda takšno sklepanje bi bilo napačno; takoj bomo povedali, za kaj.

Na začetku knjige smo pojasnili, da lahko samo za telesa, na katera ne deluje nobena sila, rečemo, da mirujejo. Zares ne poznamo samo enega "stanja mirovanja", ampak neskončno množico. Kot smo videli, lahko dve telesi drugo glede na drugo mirujeta, ali se premo enakomerno gibljeta drugo glede na drugo. Toda na uro v Einsteinovem vlaku, ki drvi po krožni progi, vsekakor deluje centrifugalna sila, tako da ne moremo reči, da miruje. V tem primeru je razlika med časom, ki ga kaže postajna ura, in časom, ki ga potnik meri s svojo uro v Einsteinovem vlaku, absolutna.

Če bi se dva moža, ki bi imela svoji uri naravnani na natanko isti čas, razšla, pa se potem čez čas spet sešla in pričela primerjati svoji uri, bi več kazala ura tistega moža, ki je med tem miroval ali pa se gibal premo enakomerno, se pravi ura, na katero ni delovala nobena sila.

Potovanje po krožni progi s hitrostjo, ki je blizu hitrosti svetlobe, nam daje načelno možnost - vsaj delno - uresničiti "časovni stroj", ki si ga je zamislil pisatelj H.G. Wells. Ko po vožnji z Einsteinovim vlakom izstopimo na začetni postaji, odkrijemo, da smo padli v prihodnost. S tem časovnim strojem se zares lahko prestavimo v prihodnost, ne moremo pa se vrniti v preteklost. V tem je njegova velika razlika proti Wellsovemu časovnemu stroju.

Zaman je upanje, da bo prihodnji razvoj znanosti omogočil potovanje v preteklost. Tedaj bi morali priznati za načelno mogoče docela absurde položaje. Na potovanju v preteklost bi, na primer, mimogrede zašli v nemogoč položaj, ko bi naši starši še ne zagledali belega dne.

Na drugi strani pa skriva potovanje v prihodnost samo navidezna protislovja.

Potovanje na zvezdo

Na nebu so zvezde, ki so tako daleč od nas, da potrebuje svetloba za pot od zvezde do nas več let, recimo 40. Ker že vemo, da se ni mogoče gibati hitreje od svetlobe, bi lahko prišli do sklepa, da takšne zvezde ni mogoče doseči nič prej kot v štirih desetih letih. Vendar je tako sklepanje napačno, ker ne upošteva sprememb časa med gibanjem.

Vzemimo, da letimo na tako zvezdo v Einsteinovi raketi s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo. Za zemljane bomo dosegli zvezdo po

$$(300\,000\text{ kms}^{-1} \cdot 40\text{ let}) : 240\,000\text{ km/s} = 50\text{ letih}$$

Toda za nas, ki letimo v Einsteinovi raketi z navedeno hitrostjo, se čas poleta skrajša v razmerju 10 : 6 . Torej pridemo na zvezdo ne po petdesetih, ampak po

$$\frac{6}{10} \cdot 50 \text{ let} = 30 \text{ letih}$$

če narašča hitrost Einsteinove rakete proti svetlobni hitrosti, se lahko poljubno skrajša čas, ki mine potnikom na poletu do tako oddaljene zvezde. Teoretično bi lahko z dovolj veliko hitrostjo dosegli tisto zvezdo in se vrnili na Zemljo kar v eni minuti. Na Zemlji pa bi medtem vseeno preteklo 80 let.

Lahko bi se zazdelo, da to daje možnosti za podaljšanje človeškega življenja, seveda samo z vidika drugih ljudi, kajti človek se stara skladno s "svojim" časom. Podrobnejši premislek žal pokaže, da ni možnosti za kaj takega.

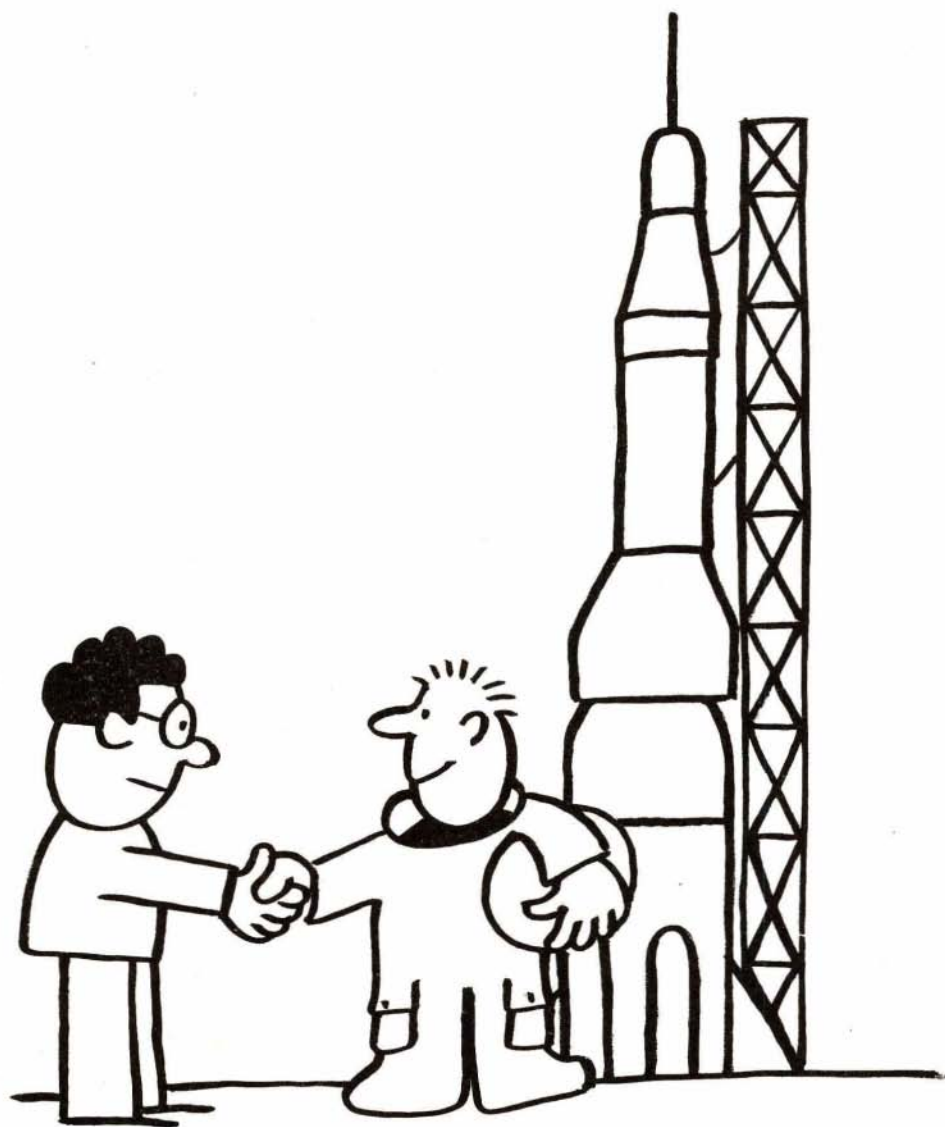
Človekov organizem predvsem ne more prenesti pospeška, ki je dosti večji od pospeška zemeljske težnosti. Zaradi tega bi porabili ogromno časa, preden bi raketo pospešili do hitrosti, ki bi se približala hitrosti svetlobe. Računi kažejo, da bi ob pospešku, ki bi bil tolikšen kot pospešek zemeljske težnosti, na šestmesečnem potovanju pridobili le šest tednov. Če bi potovanje nadaljevali, bi dobiček pri času naglo naraščal. Pri enoletnem potovanju bi lahko bili na boljšem že za poldrugo leto. Vožnja, ki bi trajala dve leti, pa bi nam vrgla kar 28 let. Če bi vztrajali na raketi cela tri leta, bi medtem na Zemlji preteklo več kot 360 let.

Te številke se zdijo ohrabrujoče.

Več težav pa je z energijo. Raketa, ki bi tehtala eno tono - torej zares malo -, bi pri hitrosti 260 000 kilometrov na sekundo (kar je hitrost, ki je potrebna za podvojitev časa: v enem letu raketnega potovanja pretečeta na Zemlji dve leti) imela zaradi gibanja energijo 25 000 000 000 000 kilowattnih ur. Toliko energije pridobimo na vsej Zemlji v nekaj mesecih.

Toda to je samo energija, ki jo ima leteča raketa. Nismo pa upoštevali, da bi morali med pospeševanjem rakete pospeševati

sl. 14



tudi gorivo v raketi in da bi bilo treba na koncu poleta raketo zavreti, da bi varno pristala. Koliko energije bi bilo potrebne za to?

Tudi če bi imeli gorivo, ki bi dajalo curek z največjo mogočo hitrostjo, to je s hitrostjo svetlobe, bi za vse to potrebovali dvestokrat večjo energijo od izračunane. Porabiti bi morali tolikšno energijo, kot jo človeštvo pridobi v nekaj desetletjih. Hitrosti curkov pri sedanjih raketah so desettisočkrat manjše od hitrosti svetlobe. Torej bi bila za naš namišljeni polet potrebna res neznanska energija.

Telesa se skrčijo

Videli smo, da je čas izgubil vzvišenost absolutnega pojma in dobil samo relativen pomen, ki zahteva, da zmerom natanko navedemo tudi laboratorij, v katerem merimo.

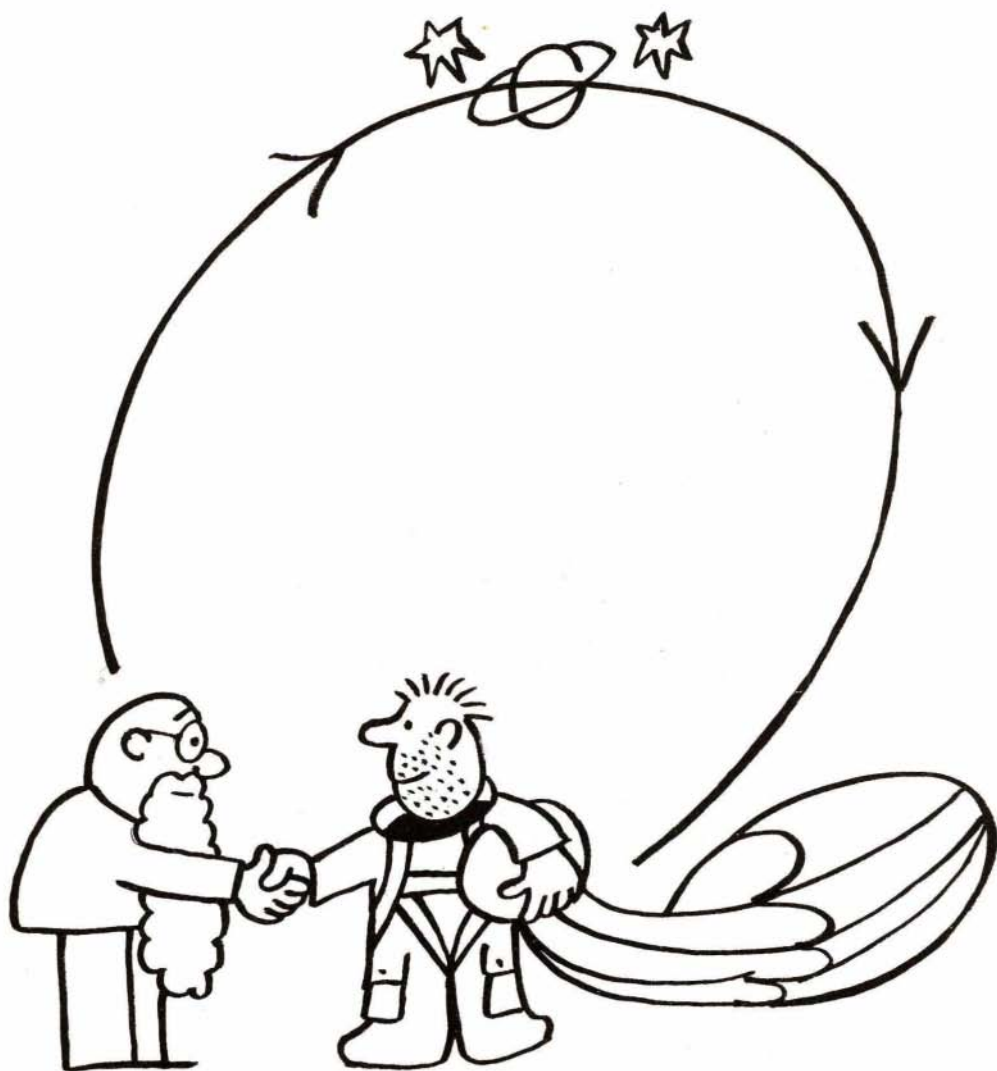
Povrnimo se zdaj k prostoru. Še preden smo opisali Michelsonov poskus, smo si bili na jasnem, da je prostor relativen. Ne glede na to pa smo imeli razsežnosti teles za absolutne. Domnevali smo, da so razsežnosti lastnosti teles in da niso odvisne od tega, v katerem laboratoriju opazujemo. Vendar nas teorija relativnosti sili, da se poslovimo tudi od tega prepričanja. Kakor predstava o absolutnem času je tudi to le predsodek, ki se je porodil zaradi tega, ker smo imeli opraviti s hitrostmi, ki so bile zelo majhne v primeri s hitrostjo svetlobe.

Predstavljajmo si, da Einsteinov vlak pelje mimo perona, ki je dolg 2 400 000 kilometrov.

Ali se bodo potniki v Einsteinovem vlaku strinjali s to navedbo? Po postajni uri bo vlak zdrvel z enega krajišča perona do drugega v

$$2\,400\,000\text{ km} : 240\,000\text{ km/h} = 10\text{ sekundah}$$

Toda potniki imajo svoje ure, ki kažejo, da prevozi vlak to pot v krajšem času; vemo, da v samo šestih sekundah. Z vsa pra



vico bodo potniki sklepali, da dolžina perona ni 24000 000 ki-
lometrov, ampak

$$240\,000\text{ km} \cdot 6 = 1\,440\,000\text{ kilometrov}$$

Vidimo torej, da je dolžina perona, ki jo merimo v laboratoriju, ki glede nanj miruje, večja kot v laboratoriju, glede na katerega se giblje. Vsako gibajoče se telo se skrči v smeri gibanja.



sl.16

Vendar to skrčenje ni znamenje absolutnosti gibanja. Prestavimo se v laboratorij, ki glede na telo miruje, pa se telo spet podaljša. Tako torej potniki ugotovijo, da se je skrčil peron, medtem ko se ljudem na peronu zdi, da se je skrčil Einsteinov vlak (v razmerju 6 : 10).

To ni nikakršna optična prevara. Isto bi pokazala vsaka priprava, s katero bi zmerili dolžino teles.

V zvezi s skrčenjem teles, ki smo ga pravkar odkrili, moramo zdaj popraviti razglabljanje na str. 32 o času, ob katerem se odpirajo vrata na Einsteinovem vlaku. Med računom trenutka, v katerem se odprejo vrata za opazovalca na peronu, smo namreč vzeli, da je vlak, ko se giblje, prav toliko dolg kot takrat, ko miruje. V resnici pa se vlak za ljudi na peronu skrajša. Skladno s tem tudi časovni presledek, v katerem so se odprla vrata po postajni uri, v resnici ne bi meril 40 sekund, ampak samo

$$(6/10) \cdot 40 \text{ s} = 24 \text{ sekund}$$

Seveda ta popravek ne omaja naših prejšnjih dognanj.

Leva in desna stran sl. 15 kažeta Einsteinov vlak in peron, kakor ju vidita različna opazovalca, tisti na vlaku in tisti na peronu. Risba na desni kaže, da je peron daljši od vlaka, medtem ko je na levi risbi vlak daljši od perona. Katera od obeh risb ustreza resničnosti?

To vprašanje je prav tako nesmiselno kot vprašanje o pastirju in kravi na str. 6. Obe risbi kažeta eno in isto objektivno resničnost, "posneto" z različnih opazovališč.

Hitrosti nas vlečejo za nos

Kolikšna je hitrost potnika glede na železniške tračnice, če hodi proti prednjemu krajišču vlaka s hitrostjo pet kilometrov na uro, medtem ko se vlak giblje s hitrostjo petdeset kilometrov na uro. Seveda je potnikova hitrost glede na tračnice

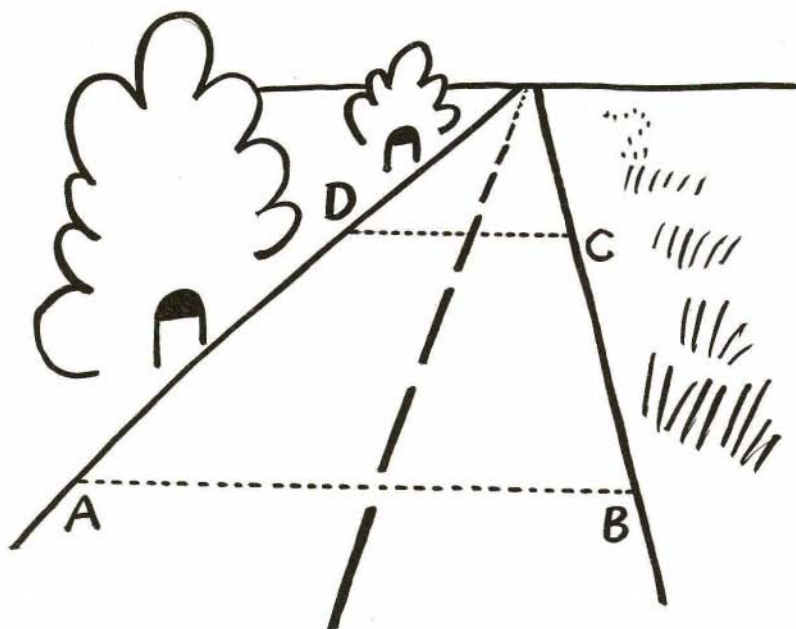
$$5 \text{ km/h} + 50 \text{ km/h} = 55 \text{ kilometrov na uro}$$

Ta sklep temelji na enačbi za seštevanje hitrosti in o pravilnosti te enačbe ne dvomimo. V eni uri vlak prevozi petdeset kilometrov, mož v njem pa prehodi še dodatnih pet kilometrov. To dá 55 kilometrov, o katerih smo pravkar govorili.

Toda jasno je, da zaradi mejne hitrosti (hitrosti svetlobe) ne moremo več neomejeno uporabljati enačbe za seštevanje hitrosti za katere koli hitrosti, velike ali male. Če bi se namreč potnik premikal po Einsteinovem vlaku s hitrostjo, recimo, 100 000 kilometrov na sekundo, njegova hitrost glede na železniške tračnice ne bi mogla biti

$$240\,000 \text{ km/s} + 100\,000 \text{ km/s} = 340\,000 \text{ km/s}$$

ker bi to preseglo hitrost svetlobe, kar je v naravi nemogoče.



sl.17

Enačba za seštevanje hitrosti, ki jo uporabljamo v vsakdanjem življenju, torej ne velja. Velja samo za hitrosti, ki so zadostno majhne v primeri s hitrostjo svetlobe.

Zdaj smo se že privadili paradoksom v teoriji relativnosti. Zlahka doumemo, zakaj ne velja na videz pravilno sklepanje, ki smo ga uporabili, ko smo sešteli hitrosti. Pri tem smo sešteli razdaljo, ki jo je v eni uri prevozil vlak po progi, in razdaljo, ki jo je v tem času prehodil potnik na vlaku. Toda po teoriji relativnosti teh razdalj ne moremo seštevati. To bi bilo nakaj prav tako nesmiselnega, kot če bi poskusili določiti ploščino dela ceste na sl. 17 tako, da bi pomnožili stranici AB in BC, pri tem pa pozabili, da je stranica BC na risbi pomanjšana zaradi perspektive. Če hočemo določiti hitrost potnika glede na postajo, moramo izmeriti pot, ki jo je napravil v eni uri po postajni uri. Prej pa smo za merjenje hitrosti potnikovega gibanja po vlaku uporabili kar uro na vlaku. Vemo, da ti dve uri ne kažeta enako.

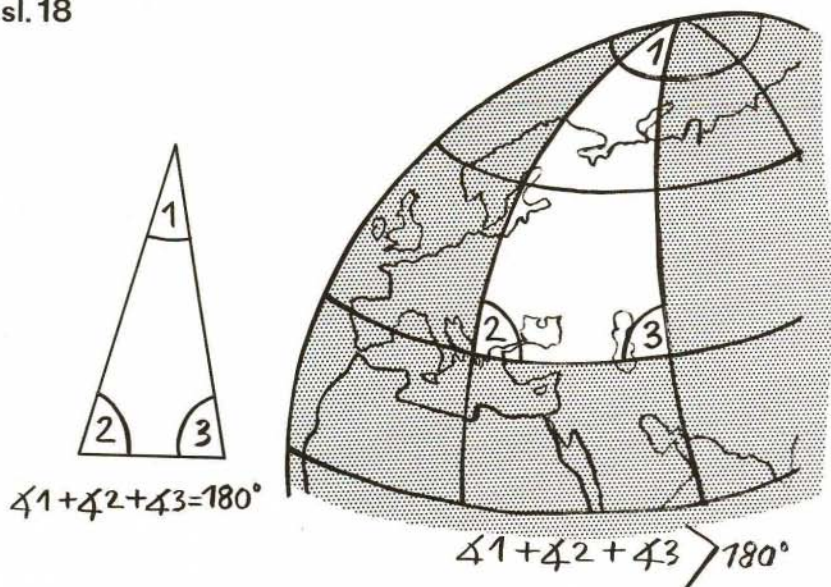
Vse to pripelje do sklepa, da moramo hitrosti, med katerima ena ni majhna v primeri s hitrostjo svetlobe, seštevati drugače, kot smo navajeni. To nenavadno seštevanje lahko spoznamo pri poskusu, na primer s svetlobo v gibajoči se vodi (o čemer smo že govorili). Hitrost, s katero potuje svetloba po gibajoči se vodi, ni enaka vsoti hitrosti svetlobe v mirujoči vodi in hitrosti vode, ampak je manjša. To dejstvo je neposredna potrditev teorije relativnosti.

Posebno nenavadno se seštevajo hitrosti, če je ena od njih enaka 300 000 kilometrov na sekundo. Kot vemo, ostane ta hitrost nespremenjena, naj se laboratorij, v katerem jo opazujemo, giblje kakorkoli. Z drugimi besedami: ko dodamo hitrosti 300 000 kilometrov na sekundo kakršnokoli hitrost, dobimo spet hitrost - 300 000 kilometrov na sekundo.

Neuporabnost običajne enačbe za seštevanje hitrosti lahko ponazorimo s preprosto analogijo.

Kot vemo, je v trikotniku v ravnini (gl. levi del sl. 18) vsota kotov 1, 2 in 3 enaka vsoti dveh pravih kotov, to je 180° .

sl. 18



Toda zamislimo si trikotnik na površini Zemlje (desni del sl. 17). Ker je Zemlja krogla, bo vsota notranjih kotov v takem trikotniku večja od dveh pravih kotov. To velja za vsak trikotnik na krogli, toda razliko opazimo šele takrat, ko je razsežnost krogle dovolj velika.

Kot lahko za merjenja ploščin manjših delov zemeljske površine uporabljamo enačbe ravninske geometrije (planimetrije), tako lahko seštevamo majhne hitrosti po navadni enačbi za seštevane hitrosti.

6. DELO SPREMINJA MASO

Masa

Denimo, da hočemo kakšno mirujoče telo pospešiti do določene hitrosti. Za kaj takega moramo uporabiti silo. Če gibanja ne ovirajo druge sile, recimo sila trenja, se bo telo začelo gibati in se bo gibalo z naraščajočo hitrostjo. V ustreznem času bo telo doseglo zaželeno hitrost. Pri tem ugotovimo, da potrebujemo pri različnih telesih različne čase, preden jih z enako silo pospešimo do zaželenene hitrosti.

Da bi se znebili trenja, se prestavimo v vesolje. Zamislimo si, da imamo dve enako veliki krogli, eno iz svinca, drugo iz lesa. Kotalimo obe krogli z enako silo, dokler ne bosta dosegli hitrosti, recimo, deset kilometrov na sekundo.

Očitno bomo morali pri svinčeni krogli uporabljati silo dalj časa kot pri leseni krogli. Pravimo, da ima svinčena krogla večjo maso kot lesena. Ker raste hitrost telesa zaradi delovanja dane sile sorazmerno s časom, merimo maso z razmerjem med časom, ki je bil potreben, da je mirujoče telo doseglo določeno hitrost, in to hitrostjo samo. Masa telesa je sorazmerna s tem razmerjem, sorazmernostni koeficient pa je odvisen od sile, ki povzroča gibanje.

Masa narašča

Masa je ena izmed najpomembnejših lastnosti vsakega telesa. Navadili smo se tega, da se masa teles nikoli ne spremeni, zlasti seveda naj ne bi bila odvisna od hitrosti. To sledi iz naše prvotne trditve, da hitrost telesa, na katero deluje dana sila, narašča sorazmerno s trajanjem delovanja sile.

Trditev temelji na običajni enačbi za seštevanje hitrosti. Vendar smo ravnokar dokazali, da te enačbe ne moremo uporabiti v vsakem primeru.

Kaj napravimo, če hočemo ugotoviti, kolikšna je hitrost ob koncu druge sekunde delovanja sile? Hitrosti, ki jo je imelo telo ob koncu prve sekunde, prištejemo hitrost, ki jo je pridobilo v drugi sekundi - pač po običajni enačbi za seštevanje hitrosti.

Tako lahko ravnamo samo, dokler so hitrosti majhne v primeri s hitrostjo svetlobe. Drugače pa stare enačbe ne smemo več uporabljati. Če seštevamo hitrosti tako, kot zahteva teorija relativnosti, dobimo nekoliko manj, kot bi dobili z uporabo stare enačbe za seštevanje hitrosti. To pomeni, da hitrost, ki je že dosegla večje vrednosti, ne narašča več sorazmerno s časom delovanja sile, temveč počasneje. To je razumljivo, ker čez mejno hitrost ne moremo.

Kolikor bolj se hitrost telesa, na katero deluje konstantna sila, bliža hitrosti svetlobe, toliko počasneje narašča hitrost, tako da nikoli ne preseže mejne hitrosti.

Dokler smo menili, da narašča hitrost telesa sorazmerno s trajanjem delovanja sile, smo lahko računali maso telesa neodvisno od njegove hitrosti. Ko pa hitrost telesa že lahko primerjamo s hitrostjo svetlobe, ni več sorazmernosti med časom delovanja sile in hitrostjo telesa: masa postane odvisna od hitrosti. Ker je lahko čas pospeševanja poljuben, hitrost pa ne more preseči mejne vrednosti, narašča masa s hitrostjo in postane neskončna, ko gre hitrost telesa proti hitrosti svetlobe.

Račun pokaže, da se masa pri gibanju telesa poveča za toliko, za kolikor se zaradi gibanja skrči njegova dolžina. Torej je masa Einsteinovega vlaka, ki vozi s hitrostjo 240 000 kilometrov na sekundo, za $10/6$ večja od mase vlaka, ki stoji.

Seveda lahko pri hitrosti, zelo majhni v primeri s hitrostjo svetlobe, zanemarimo spremembo mase. Enako se tudi ne menimo za odvisnost razsežnosti telesa od njegove hitrosti ali za odvisnost časovnega razmika med dvema dogodkoma od hitrosti opazovalcev.

Odvisnost mase od hitrosti, ki izhaja iz teorije relativnosti,

lahko preverimo neposredno s poskusom, in sicer z opazovanjem gibanja hitrih elektronov.

V sodobnih poskusih elektron, ki se giblje s hitrostjo blizu svetlobne hitrosti, ni redkost, ampak vsakdanjost. V posebnih pospeševalnikih poganjajo elektrone do hitrosti, ki se razlikuje od hitrosti svetlobe za manj kot nekaj centimetrov na sekundo.

Torej lahko sodobni fiziki primerjajo maso zelo hitrih elektronov z maso mirujočih elektronov. Rezultati poskusov so popolnoma potrdili odvisnost mase od hitrosti, kakršno zahteva teorija relativnosti.

Koliko stane gram svetlobe?

Povečanje mase telesa je tesno povezano z opravljenim delom; povečanje je sorazmerno z delom, ki je potrebno, da spravimo telo v gibanje. Ni nujno, da gre za delo pri pospeševanju. Katerokoli delo, ki ga opravimo na telesu, torej vsako povečanje energije telesa, poveča njegovo maso. Tako ima, na primer, segreto telo večjo maso kot hladno in napeto pero večjo maso kot nenapeto. Zares pa je kvocient med spremembo mase in spremembo energije prav neznaten: da bi povečali maso telesa za en gram, bi mu morali dovesti 25 milijonov kilowattnih ur energije.

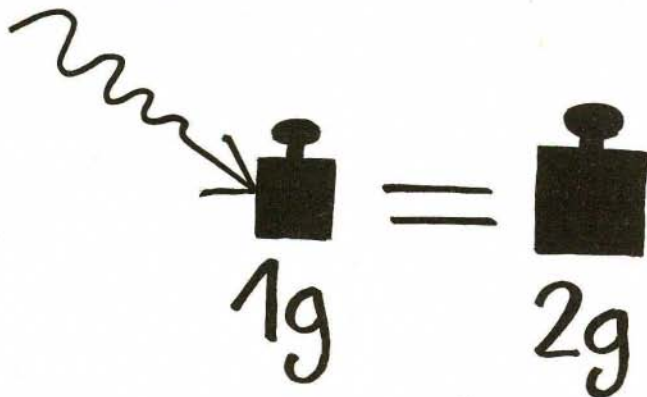
Zato je tudi sprememba mase teles v običajnih razmerah tako skrajno nepomembna in se izmika tudi zelo natančnim merjenjem. Pri segretju ene tone vode od 0°C do vrelišča (100°C) se poveča njena masa le za pet milijonink grama.

Če v zaprti peči sežgemo tono premoga, bodo po ohladitvi imeli produkti goranja le za $1/3000$ grama manjšo maso kot premog in kisik, iz katerih so nastali. To manjkajočo maso je odnesla toplota, ki se je sprostila pri gorenju.

Vendar pa pozna sodobna fizika tudi pojave, pri katerih ima sprememba mase precejšnjo vlogo. To so pojavi pri trkih atomskih jeder, ko iz enih jeder nastanejo nova. Pri trku litijeve

$$W = 25 \text{ milijonov kWh}$$

sl. 19



ga jedra z vodikovim, nastaneta, na primer, dve helijeve jedri, skupna masa pa se zmanjša za $1/400$.

Povedali smo že, da moramo telesu, ki mu hočemo povečati maso za en gram, dovesti 25 milijonov kilowattnih ur energije. Iz tega sledi, da se pri opisani spremembi enega grama zmesi litija in vodika v helij (v energijo se spremeni $1/400$ grama), razvije štiristokrat manj energije, kar je

$$25\,000\,000 \text{ kWh} : 400 = 62\,500 \text{ kWh}$$

Odgovorimo zdaj na tole vprašanje: katera snov izmed vseh v naravi je najdražja? Ponavadi rečemo, da je to radij, saj je en gram radija še nedavno tega stal kakih deset milijonov dinarjev.

Poiščimo zdaj ceno - svetlobe.

V električnih žarnicah se samo ena dvajsetina električne energije spremeni v vidno svetlobo. Torej ustreza gram svetlobe dvajsetkrat večjemu delu kot 25 milijonov kilowattnih ur, kar je 500 milijonov kilowattnih ur. Če računamo za kilowattno uro samo $1/2$ dinarja, bi bilo to 250 milijonov dinarjev. To se pravi, da je gram svetlobe petindvajsetkrat dražji od grama radija.

ZA SKLEP

Tako nas natančni in prepričljivi poskusi silijo, da priznamo pravilnost teorije relativnosti. ki razkriva osupljive lastnosti sveta okrog nas - lastnosti, ki se izmikajo pri prvem (recimo raje: površnem) preučevanju pojavov.

Spoznali smo, kako globoke, korenite spremembe vnaša teorija relativnosti v temeljne pojme in predstave, ki si jih je izoblikovalo človeštvo v stoletjih na podlagi izkušenj iz vsakdanjega življenja.

Ali ni to popoln propad predstav, ki smo jih navajeni?

Ali to ne pomeni, naj napravimo križ čez vso fiziko, ki se je razvila do trenutka, ko smo ugotovili načelo relativnosti - kot zavržemo pošvedran čevelj, ki je doslužil in zdaj nikomur več ne koristi?

Če bi bilo tako, bi bile odveč vsakršne znanstvene raziskave. Nikoli namreč ne bi mogli biti prepričani, da se čez čas ne bo pojavila nova teorija, ki bo popolnoma postavila na glavo doterjdanja pojmovanja.

Predstavljajmo si potnika, ki bi mu pri vožnji z vlakom - pa ne Einsteinovim, ampak navadnim, lahko tudi brzim - padlo na pamet, da bi izvedel relativistični popravek časa, ker ga je strah, da bi njegova ura zaostala za postajno uro. Takšen potnik bi nas spravil v smeh. Saj bi tak popravek meril le neznamen delček sekunde, medtem ko bi imela sama vožnja vlaka, pa četudi en samcat tresljaj, dosti večji vpliv.

Inženir kemije, ki dvomi, da je pri segrevanju ostala masa vode enaka, je očitno ob pamet. Toda fizika, ki opazuje trke atomskih jeder in ne upošteva sprememb mase pri jedrskih reakcijah, je treba spoditi iz laboratorija zaradi nevednosti.

Inženirji so načrtovali in bodo še naprej načrtovali svoje stroje, opiraje se na zakone stare fizike, kajti relativistični popravki dosti manj vplivajo na njihove stroje kot mikrob,

ki se je, recimo, vsedel na vztrajnik. Fizik, ki preučuje hitre elektrone, pa vsekakor mora upoštevati spremembo mase elektronov zaradi hitrosti.

Tako torej teorija relativnosti ni spravila ob veljavo pojmov in predstav, ki jih je izoblikovala stara znanost. Samo še utrjuje jih ter določa meje, do katerih opiranje na dosedanja pojmovanja ne more pripeljati do napačnih rezultatov. Noben zakon narave, kar so jih odkrili fiziki do rojstva teorije relativnosti, ni razveljavljen, ampak so nova dognanja samo jasno začrtala meje, v katerih jih lahko uporabljamo.

Razmerje med fiziko, ki se opira na teorijo relativnosti - pravimo ji relativistična fizika - in staro fiziko, ki jo imenujemo klasična, je podobno razmerju med višjo geodezijo, ki upošteva ukrivljenost Zemlje, in nižjo geodezijo, ki to dognanje pušča vnemar. Višja geodezija mora izhajati iz relativnosti pojma navpičnice, relativistična fizika pa mora upoštevati relativnost razsežnosti teles in relativnost časovnih razmikov med dvema dogodkoma - medtem ko za klasično fiziko te relativnosti ni.

Kakor je višja geodezija razvojna stopnja nižje geodezije, tako je tudi relativistična fizika razširitev klasične fizike.

Če računamo, da je radij Zemlje neskončno velik, lahko izpeljemo prehod od enačb sferične geometrije (geometrije na površini krogle) k enačbam planimetrije (ravninske geometrije). Pri neskončno velikem radiju namreč Zemlja ne bi bila več krogla, ampak ravnina, navpičnica bi dobila absoluten pomen, vsota kotov v trikotniku pa bi bila enaka dvema pravima kotoma.

Podoben prehod lahko napravimo tudi pri relativistični fiziki, če računamo, da je hitrost svetlobe neskončna, se pravi, da se svetloba širi v hipu.

Če bi se namreč svetloba razširila v hipu, bi pojem sočasnosti, kot smo videli, postal absoluten. Časovni razmiki med dogodki in razsežnosti teles bi dobili absoluten pomen in bi ne bili več odvisni od tega, v katerem laboratoriju jih opazujemo.

Tako bi lahko ohranili vse stare predstave, samo če bi vzeli, da je hitrost svetlobe neskončna.

Vendar nas vsak poskus združiti končno hitrost svetlobe s stari predstavi o prostoru in času spravi v smešen položaj človeka, ki bi sicer vedel, da je Zemlja krogla, a bi vseeno bil prepričan, da je navpičnica v kraju, kjer živi, absolutna navpičnica, ter se boji kaj dlje stran od svojega domačega kraja, da se ne bi strkljal v vesolje.

Predgovor	1
1. RELATIVNOST, KI SMO JE NAVAJENI	2
Ima vsaka trditev smisel?	3
Desno in levo	3
Kaj je zdajle - dan ali noč?	3
Kdo je večji?	6
Relativno je videti absolutno	6
Absolutno se izkaže za relativno	7
"Zdrava pamet" skuša ugovarjati	8
2. PROSTOR JE RELATIVEN	
Na istem kraju ali ne?	9
Kako se telo giblje v resnici ?	12
Ali so vse opazovalne točke enakovredne?	13
Odkrili smo mirovanje	14
Mirujoči laboratorij	14
Ali se vlak premika?	15
Mirovanje je dokončno šlo po gobe	18
Zakon vztrajnosti	19
Še hitrost je relativna	19
3. TRAGEDIJA SVETLOBE	
Svetloba se ne razširi v hipu	21
Ali lahko spremenimo hitrost svetlobe?	21
Svetloba in zvok	22
Zdi se, da načelo relativnosti ne velja	23
Eter	24
Zašli smo v težak položaj	26
Naj odloči poskus	26
Načelo relativnosti slavi zmago	27
Z dežja pod kap	28
4. POKAŽE SE, DA JE ČAS RELATIVEN	
Ali gre zares za protislovje?	30
Vsedimo se na vlak	31
Osramočena "zdrava pamet"	32
Čas zadene ista usoda kot prostor	34
Znanost slavi zmago	36
Hitrost ima meje	36
Prej in kasneje	38
5. URE IN RAVNILA UGANJAJO NORČIJE	
Spet smo na vlaku	40
Ure sistematično zaostajajo	44
Časovni stroj	46
Potovanje na zvezdo	47
Telesa se skrčijo	50
Hitrosti nas vlečejo za nos	53
6. DELO SPREMINJA MASO	
Masa	57
Masa narašča	57
Koliko stane gram svetlobe?	59
ZA SKLEP	61

Stara nerelativistična, klasična mehanika daje poenostavljeno sliko sveta. Z njo smo čisto zadovoljni, dokler skrbna merjenja ne pokažejo odstopanj. Ko pa zaidemo na območja, na katerih postanejo odstopanja znatna, se je treba poenostavljeni sliki odreči. Potrebna je širša in podrobnejša teorija.

Takoj nas zaskrbi, ali gre teoriji relativnosti in kvantni mehaniki zaupati, da vsebujeta vsa spoznanja o svetu. Zares smo za zdaj z njima zadovoljni, vendar je prav verjetno, da ne vsebujeta zadnjega spoznanja. Mogoče ju bomo kmalu zalotili, da bosta opešali. Tedaj se bo treba sprijazniti z njo ma kot s približkom še podrobnejše slike sveta.

Slike je narisal po predlogah iz originalov Božo Kos, ki je končal tudi študij fizike. Njegovi kolegi fiziki vedo povedati, da je bil zelo dober študent ter bi bil najbrž tudi zelo dober fizik, če bi ne postal tako znan ilustrator in šaljivec.

Uredništvo se zahvaljuje Janezu Strnadu za iniciativo pri objavi te knjižice.

Norma Mankoč Borštnik

Dragi mladi prijatelji, pričujoča knjižica vam bo gotovo vzburila domišljijo. Na marsikatero vprašanje ne boste vedeli odgovora. Pišite nam! Prav rad vam bomo pomagali z odgovori v redni številki Preseka.

Uredništvo

P R E S E K - List za mlade matematike, fizike in astronome, (1979/80)

P R E S E K O V A K N J I Ž N I C A - 6, str. 1 - 64

L.D. Landau, J.B. Rumer, Kaj je teorija relativnosti? Prev. Dušan Voglar.

Uredniški odbor: Andrej Čadež (astronomija), Marjan Hribar (fizika), Andrej Kmet (Presekova knjižnica - matematika), Norma Mankoč-Borštnik (Presekova knjižnica + fizika), Tomaž Pisanski (matematika), Janez Strnad (glavni urednik), Zvonko Trontelj (odgovorni urednik), Ciril Velkovrh (urednik).

Rokopis je recenziral Branko Borštnik, jezikovno ga je pregledala Sandra Oblak, natipkala ga je Metka Žitnik. Karikature je narisal Božo Kos.

Knjižice in Presek naročajte na naslov: Komisija za tisk DMFA SRS - Presek, Jadranska c. 19, 61001 Ljubljana, p.p. 227, tel. št. 265-061/53.

Štev. žiro računa 50101-678-48363, devizni račun pri Ljubljanski banki št. 32009-007-10022/6. Cena 60.-din (48.-din), 3 \$.

Presek sofinancirajo ISS in RSS.

Ofset tisk časopisno in grafično podjetje "Delo", Ljubljana.

Naklada 22.000 izvodov.

© 1979 Društvo matematikov, fizikov in astronomov SRS - 414



PRESEKOVA KNJIŽNICA

1. Vidav Ivan, JOSIP PLEMELJ - Ob stoletnici rojstva (2. natis), 1975
2. Zajc Pavle, TEKMUJMO ZA VEGOVA PRIZNANJA - Zbirka rešenih nalog iz matematike s tekmovanj učencev šestih, sedmih in osmih razredov osnovnih šol SRS, 1977
3. Prosén Marijan, ASTRONOMSKA OPAZOVANJA - Kako v astronomiji s preprostimi napravami opazujemo in merimo, 1978
4. Strnad Janez, ZAČETKI SODOBNE FIZIKE - Od elektrona do jedrske cepitve, 1979
5. Strnad Janez, RELATIVNOST ZA ZAČETNIKE - Odlomki iz posebne in splošne teorije relativnosti za srednješolce, 1979
6. Landau L.D., J.B. Rumer, KAJ JE TEORIJA RELATIVNOSTI - Nobelovec predstavi spremenjene poglede na prostor, čas in maso, 1979