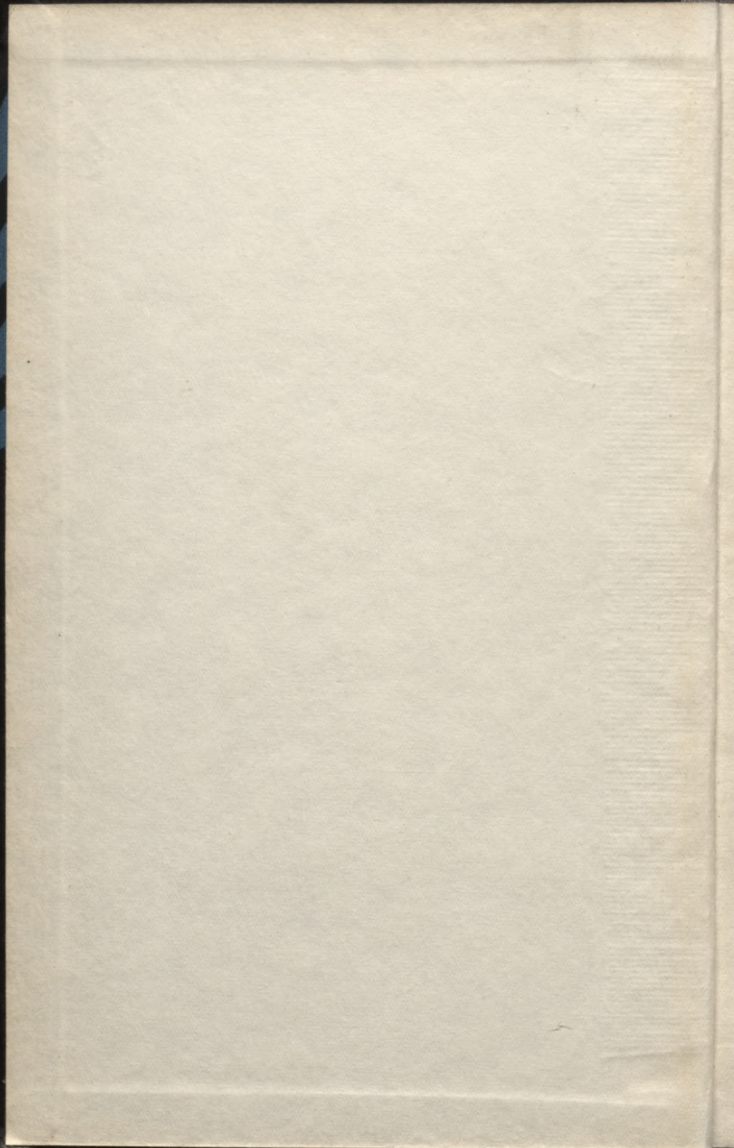


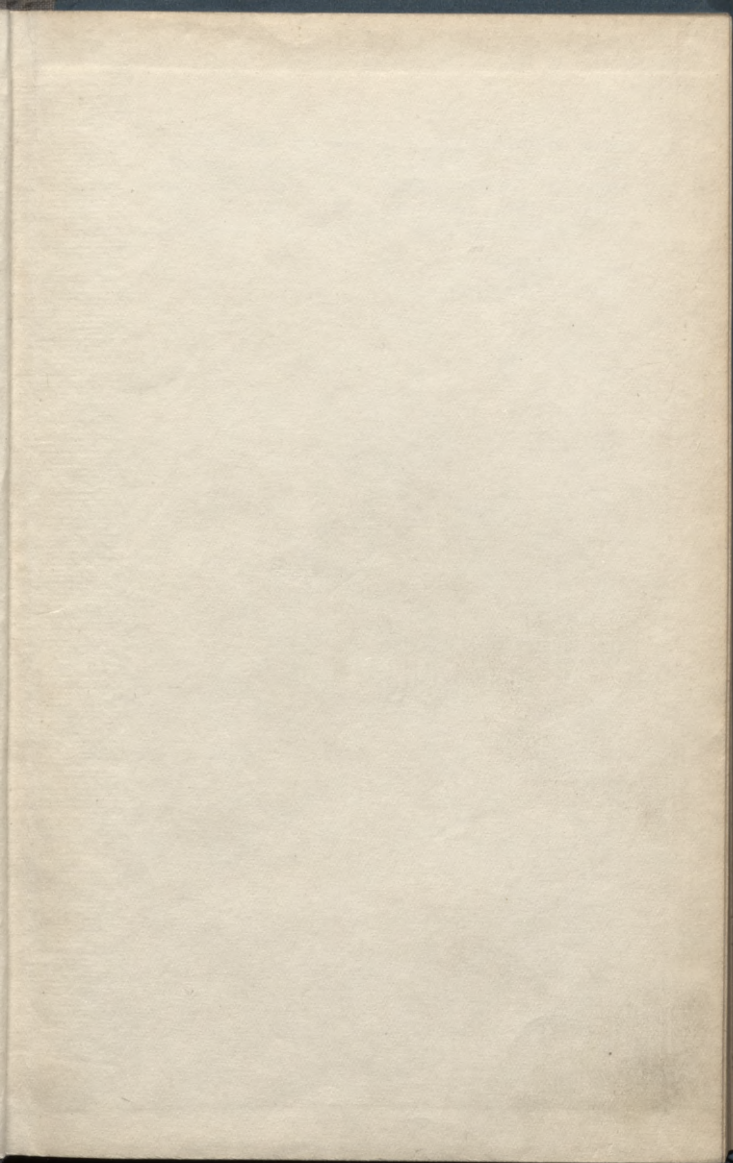
69-3
52

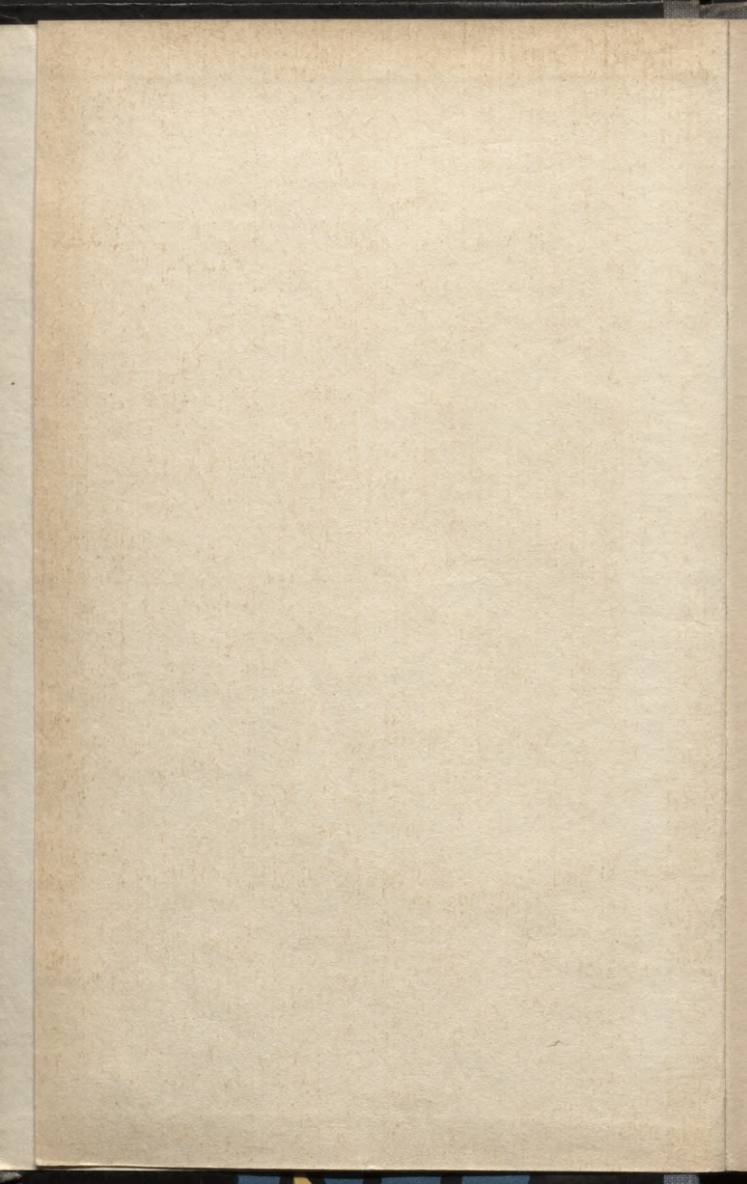
Relativitātes teorija visiem

M · G A R D N E R S



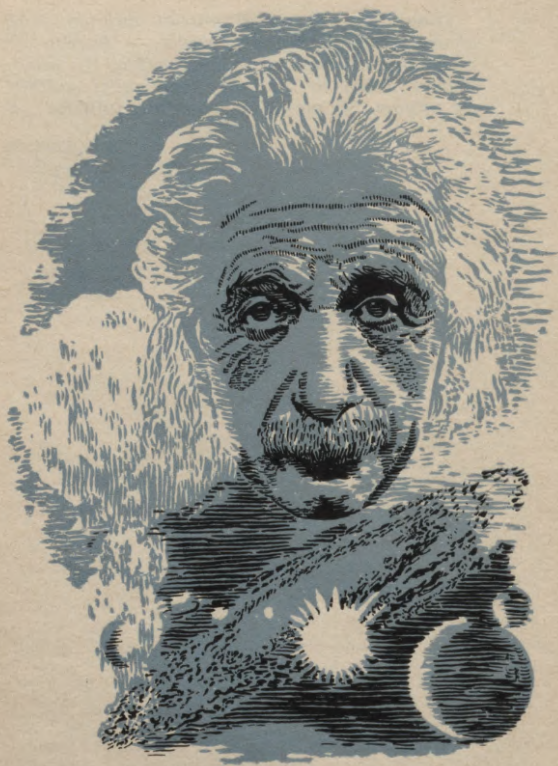






«Kaut kur tur bija šī milzīgā pasaule, kura eksistēja neatkarīgi no mums — ļaudīm un mūsu priekšā bija kā mūžīga mīkla. Un tomēr vismaz daļēji tā bija pieejama mūsu sajūtām un prātam. Šīs pasaules izzināšana vilināja...»

Alberts Einšteins
«Autobiogrāfiskas piezīmes»



69-3

52

Dubl

53

M. GARDNERS

RELATIVITĀTES
TEORIJA
VISIEM



IZDEVNIECĪBA «LIESMA» RĪGĀ 1969

Vija Lāča Latv. PSR
Valsts bibliotēka

~~69-45-457~~

0308054685

RELATIVITY FOR THE MILLION

by MARTIN GARDNER

Illustrated by Anthony Ravielli

MACMILLAN NEW YORK, LONDON

Autora priekšvārds

Par relativitātes teoriju uzrakstīts jau tik daudz populāru grāmatu, ka lasītājs var jautāt: «Kāpēc vēl viena?» Un tomēr man liekas, ka vēl viena ir vajadzīga. Lūk, kāpēc...

1. Labākie ievadi elementārā relativitātes teorijā uzrakstīti jau pirms daudziem gadiem un ir novecojuši. Protams, ka pa šo laiku relativitātes teorijā būtiski nekas nav izmainījies, un tomēr — ir nākuši klāt jauni eksperimentāli dati, dažām problēmām radusies jauna pieeja, radusies jauni kosmoloģiskie modeļi. Mūsu dienu grāmatā par relativitātes teoriju tam visam ir jāatspoguļojas.

2. Bez tam man bija ļoti liels kārdinājums mēģināt vēlreiz, pie tam pēc iespējas vienkāršāk, noskaidrot sarežģītos un svarīgos jautājumus.

3. Un treškārt... Neviena no relativitātes teorijas grāmatām nav ilustrēta tik lietpratīgi. Lieliskā Antonija Ravielli meistarība šo grāmatu izdala starp visām pārējām.

Noturoties pret vilinājumu, neesmu grāmatu nobeidzis ar nodaļu, kura apskatītu relativitātes teorijas

ietekmi filozofijā. Acīm redzot relativitātes teorijai ir nozīme izziņas teorijā un zinātnes filozofijā galvenokārt tāpēc, ka tā pierāda to, ka nav iespējams noteikt telpas-laika matemātisko struktūru citādi nekā no pieredzes. Bet, kas attiecas uz filozofijas tradicionālajiem jautājumiem — dievs, nemirstība, brīva griba, labs un ļauns utt., tad relativitātes teorijai absolūti nekas par tiem nav sakāms.

Ir absurda arī doma, ka no relativitātes teorijas var secināt par visa esošā relativitāti, piemēram, par antropoloģijas vērtību relativitāti vai arī par morāles relativitāti. Patiesībā relativitātes teorija pat ievēd veselu rindu jaunu *absolūtu*.

Dažkārt mēdz apgalvot, ka relativitātes teorijas dēļ ir grūtāk iedomāties, ka ārpus mums eksistē *milzīgā pasaule*, kuras struktūru daļēji var aprakstīt ar zinātnes likumiem. Angļu astronoms Džeimss Džinss raksta: «Šai disciplīnai (relativitātes teorijai) attīstoties, kļūst skaidrs, ka dabas likumus nosakām drīzāk mēs un mūsu pieredze, nekā mehāniskais visums ārpus mums un neatkarīgi no mums.»

Nesaprotami, kāpēc pēdējos gados daži ievērojami fiziķi šādu *subjektīvismu* vai *ideālismu* (vienalga, kā to sauc) saista ar relativitātes teoriju, tādējādi nostādot to pretim zinātnieku *reālismam*. Relativitātes teorija ne mazākā mērā neatbalsta šādu metafizisku pozīciju. Skaidrs, ka arī pats Einšteins šādu uzskatu nepieņēma, par ko jūs varat pārliedcināties, izlasot citātu, ar kuru sākas šī grāmata. Tāpēc arī šo jautājumu es šeit neapskatīšu, bet, ja tas interesē lasītāju, tad viņš var atrast tam pārliedcinošu atbildi divu ievērojamāko mūsdienu filozofu — Ādolfā Grīnbauma (publikācija rakstu krājumā «Zinātnes filozofija») un Filipa Franka (viņa grāmatas «Zinātnes filozofija» 7. nodaļā) darbos.

Esmu ļoti pateicīgs Pitsburgas universitātes fizikas profesoram Džonam Stečelam par viņa vērtīgajiem ierosinājumiem, izlasot šīs grāmatas manuskriptu. Protams, viņš neatbild par manis izteiktajām domām strīdīgos jautājumos.



1. Absolūti vai relatīvi?

Pēc kuģa avārijas uz neapdzīvotas salas tika izmesti divi jūrnieki — Džo un Mo. Pagāja vairāki gadi. Kādu dienu Džo krastā atrada izskalotu lielu kokakolas pudeli, kādas agrāk neražoja. To nezinot, Džo nobālēja un sauca savam draugam:

«Mo! Mēs esam kļuvuši mazāki!»

No šī stāsta mums ir laba mācība: lai varētu spriest par dotā objekta izmēriem, mums tas jāsalīdzina ar kāda cita objekta izmēriem. Liliputiem Gulivers bija milzis, Savukārt Guliveru par mazulīti uzskatīja Brobdingnegas iedzīvotāji. Vai biljarda bumba ir liela vai maza? Ja to salīdzina ar atomu, tad milzīgi liela, bet, ja ar Zemi, — tad ļoti maza.

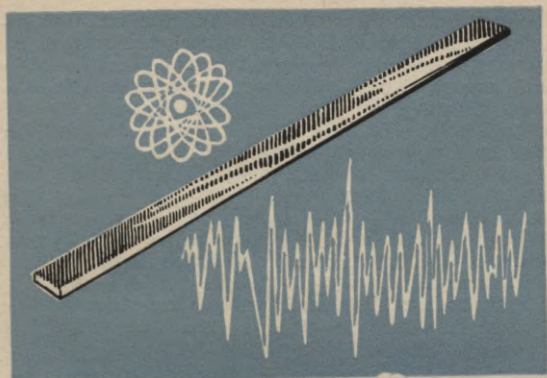
Slavenais franču deviņpadsmitā gadsimta matemātiķis Žils Puankarē, kurš jau bija izpratis vairākas vēlāk radītās relativitātes teorijas tēzes, atbild uz šīs nodaļas virsrakstā izvirzīto jautājumu šādi (viņa atbilde pamatojas uz tā saucamo *iedomāto eksperimentu* — tas ir eksperiments, kuru gan var iedomāties, bet ko nav iespējams īstenot). «Iedomājieties, ka laikā, kamēr jūs naktī cieši aizmidzis gulējāt, Visumā tūkstoš reizes palielinājās visa izmēri!» Te zem vārda *visa* Puankarē saprata tiešām visu — elektronus, atomus, gaismas viļņu garumus, jūs pašus, jūsu gultu, jūsu māju, Zemi, Sauli, zvaigznes. «Vai pēc pamošanās jūs varētu pamanīt, ka

notikušas kādas izmaiņas? Vai jūs varētu izdarīt tādu eksperimentu, kas pierādītu, ka jūsu augums palielinājies?»

Nē, atbild Puankarē, tādu eksperimentu nevar izdarīt, jo patiešām Visums jums liktos tāds pats kā agrāk. Pat zinot to, būtu bezjēdzīgi teikt, ka Visums kļuvis lielāks. Ko nozīmē vārds *lielāks*? Tas nozīmē, ka lielāks attiecībā pret kaut ko, bet šajā gadījumā taču nav nekā cita! Tikpat bezjēdzīgi būtu arī runāt par to, ka samazinājušies Visuma izmēri.

Tā tad izmērs ir relatīvs. Nav iespējams absolūti noteikt jebkura objekta izmērus, tāpat kā neiespējami pateikt tā absolūtos izmērus. Lai noteiktu objekta izmērus, mēs izmantojam mēru, piemēram, mērlīniju vai metra etalonu. Bet kāds ir metra etalona garums? Līdz 1962. g. 1. janvārim metru definēja kā noteikta platīna stieņa, kurš glabājās Francijā Sevras pagrabos pie





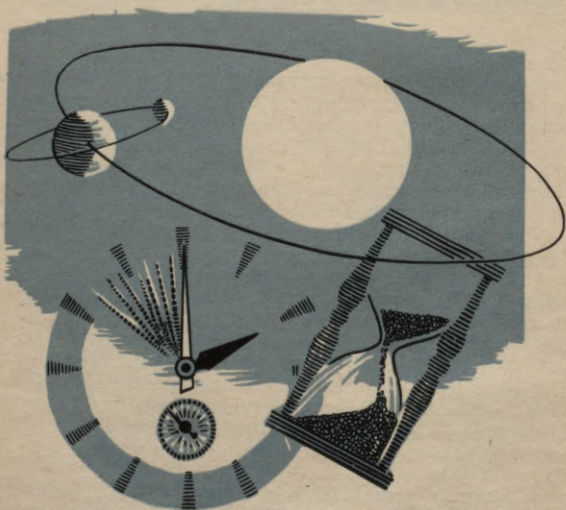
noteiktas temperatūras, garumu. No 1962. g. 1. janvāra par metra etalonu noteikts kripton-86 atoma vakuumā izstarotā (noteikts oranžai krāsai) viļņa garuma reizinājums ar skaitli 1 650 763,73. Ja nu Visumā viss (ieskaitot arī šo izstarojuma viļņa garumu) tādā pašā proporcijā palielinātos vai samazinātos, tad mēs šo izmaiņu nekā nevarētu novērot.

Viss minētais ir spēkā arī attiecībā pret laika intervāliem. Laiks, kurā Zeme apgriežas ap Sauli, ir *ilgs* vai *īss*? Laiks no viena Jaungada līdz otram mazam bērnam liekas mūžīgs, turpretim ģeologam tas ir kā acumirkļis, jo viņš pieradis domāt par periodiem, kuri ilgst miljoniem gadu. Līdzīgi kā garumu telpā, arī laiku var izmērīt, tikai salīdzinot to ar kādu citu laika intervālu. Tā gads ir laiks, kurā Zeme vienreiz apgriežas ap Sauli; diena — laiks, kurā Zeme vienreiz apgriežas ap savu asi; stunda — laiks, kurā pulksteņa lielais rādītājs veic vienu apli. Tātad jebkuru laika intervālu nosaka, salīdzinot to ar kādu citu.

H. Velss ir uzrakstījis pazīstamu zinātniski fantastisku stāstu «Jaunais paātrinātājs». Tāpat kā stāstā par

diviem jūrniekiem, arī šeit ir labs piemērs, tikai tas attiecas uz laiku nevis telpu. Kādam zinātniekam izdodas savā organismā paātrināt visus procesus — viņa sirds sāk sist biežāk, paātrinās smadzeņu darbība utt. Jums būs viegli atminēt, kas notiek — viņam visi apkārtējie procesi liekas palēnināti, pat gandrīz apstājušies! Pastaigājoties viņš kustas ļoti lēni, baidoties, ka viņa bikses sakarā ar berzi gaisā varētu aizdegties. Visi ļaudis uz ielas viņam liekas kā statujas. Kāds vīrietis sastindzis momentā, kad tas paskatījies uz garāmejošām meitenēm. Parkā spēlē orķestris, bet dzirdama zema, gārdzoša šķindēšana. Bite dūc gaisā un kustas ar gliemeža ātrumu.

Apskatīsim vēl vienu iedomātu eksperimentu. Pieņemsim, ka viss kosmosā kādā momentā sāk kustēties

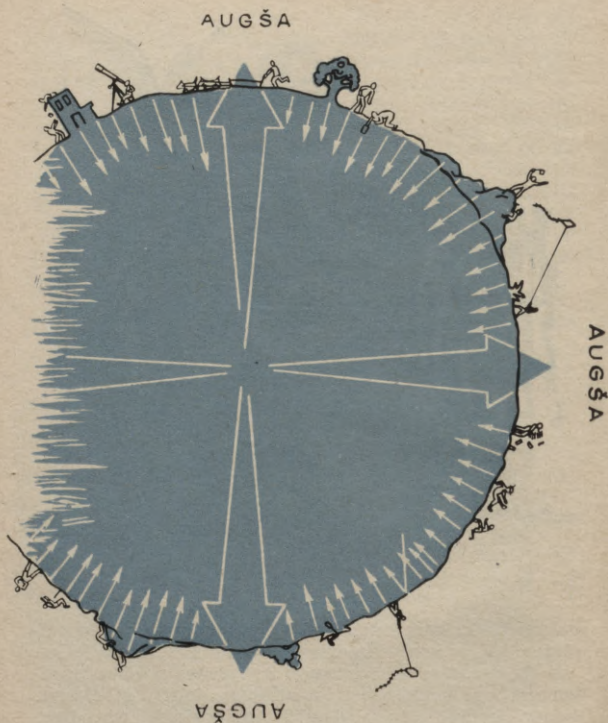




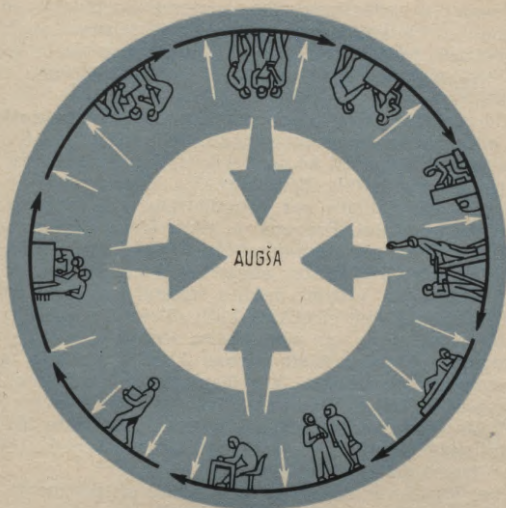
vai nu lēnāk, vai ātrāk, vai arī vispār apstājas uz vairākiem miljoniem gadu, bet pēc tam atkal sāk kustēties. Vai šīs izmaiņas varētu novērot? Nē, tas nebūtu iespējams. Tātad laiks, tāpat kā attālums telpā, ir relatīvs.

Līdzīgi relatīvi ir arī daudzi citi jēdzieni, kurus lieto ikdienas dzīvē. Tā, piemēram, jēdzieni *augša* un *apakša*. Iepriekšējos gadsimtos ļaudīm bija grūti saprast, kāpēc cilvēkam, kas atrodas Zemeslodes otrā pusē, nesatek visas asinis galvā, jo viņš taču atrodas ar galvu uz leju. Arī tagad to nesaprot bērni, uzzinot, ka Zeme ir apaļa.

Ja nosacīti pieņemtu, ka Zemeslode ir caurspīdīga stikla lode, tad, skatoties ar tālskatu tai cauri, Zemes



otrā pusē mēs tiešām arī redzētu ļaudis ar galvu uz leju. Tā tas mums liktos attiecībā pret mūsu stāvokli. Gluži tāpat — ar galvu uz leju mēs liktos savukārt viņiem. Tas nozīmē, ka uz Zemes virziens *augša* ir jāattiecina, ievērojot virzienu no Zemes centra, bet *apakša* — uz



Zemes centru. Starpzvaigžņu telpā nav absolūtu augšas un apakšas jēdzienu, jo tur nav planētas, kuru varētu uzskatīt par *atskaites sistēmu*.

Iedomāsimies, ka Saules sistēmā kustas kosmiskais kuģis, kam ir milzīgas barankas veids. Tam rotējot, darbojas centrālās spēki, kas rada mākslīgu gravitācijas lauku. Šādā kosmiskā kuģī kosmonauti var stāvēt pa milzīgās barankas ārējās sienas iekšpusi kā pa grīdu, jo pie tās viņus piespiedīs centrālās spēki. Tāpēc viņiem jēdziens *apakša* ir virzienā tālāk no centra, bet *augša* — tuvāk centram, kas ir pilnīgi pretēji kā cilvēkiem uz rotējošas planētas.

Tādā veidā mēs redzam, ka Visumā nav absolūtas *augšas* un *apakšas*. Mums šie jēdzieni ir veidojušies,

ievērojot gravitācijas lauka virzienu. Bezjēdzīgi būtu domāt, ka laikā, kamēr mēs guļam, Visums apgriežas otrādi, jo nav nekā, ko varētu pieņemt par atskaites sistēmu, pret kuru tad varētu noteikt Visuma stāvokli.

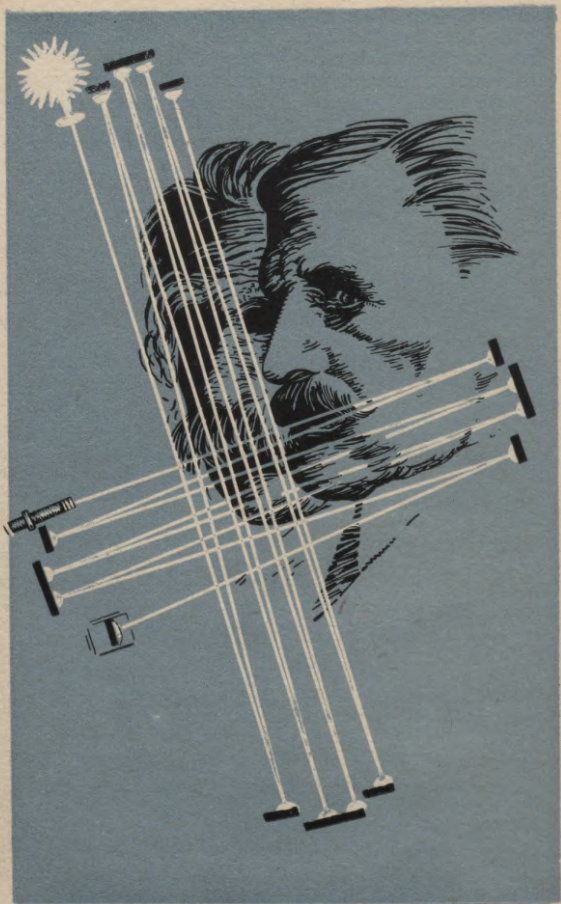
Kā piemēru relatīvai objekta izmaiņai varam apskatīt arī priekšmeta attēlu spogulī. Ja tekstā lielo burtu R iespaidis apgriezti kā Я, tad katrs pamanīs, ka tas ir burta R spoguļattēls. Bet, ja pēkšņi Visums (līdz ar to arī jūs) pārvērtīsies par spoguļattēlu, tad to neviens nevarēs konstatēt. Protams, ja tikai viens cilvēks pārvērstos par savu spoguļattēlu (tāds piemērs minēts H. Velsa stāstā «Pletnera stāsts»), tad viņam viss liktos otrādi, lai gan Visums nebūtu izmainījies. Lai varētu lasīt grāmatu, šim cilvēkam būtu jālasa tās attēls spogulī. Kā piemēru var minēt Lūisa Kerola stāstu «Alise Spoguļu valstībā». Stāsta varone Alise tā iemācās lasīt poēmu «*Jabberwocky*», kas iespiesta ar burtu spoguļattēliem. Ja tomēr Visumā pilnīgi viss apgrieztos otrādi, tad šādu izmaiņu nevarētu konstatēt. Tad būtu bezjēdzīgi runāt par tādu Visuma apgriešanos, tāpat kā teikt, ka Visums palielinājies divkārt.

Vai kustība ir absolūta? Vai ir tādi eksperimenti, ar kuriem varētu noteikt — objekts kustas vai atrodas miera stāvoklī? Vai arī kustību jāpieskaita relatīvajām kategorijām, par kuru var spriest tikai pēc tā, kā viena ķermeņa stāvoklis tiek salīdzināts ar kāda cita ķermeņa stāvokli? Bet varbūt kustība ir tik savdabīga, ka to nevar pieskaitīt jau apskatītajām relatīvajām kategorijām?

Lai uz visu to varētu atbildēt, tad, pirms pārejam pie nākošās nodaļas, kādu laiku to visu pārdomāji. Atbildot tieši uz šādiem jautājumiem, Einšteins arī radīja savu slaveno relativitātes teoriju. Viņa teorija ir tik revolucionāra un tik nepieņemama *veselajam saprātam*, ka pat šodien ir tūkstošiem zinātnieku (to skaitā arī fiziķi), kuriem relativitātes teorijas pamattēzes ir tikpat grūti izprast kā bērnam, kurš cenšas saprast, kāpēc Zemes dienvidu puslodes iedzīvotāji nenokrīt no Zemes.

Ja jūs esat jauns, jums ir lielas priekšrocības salī-

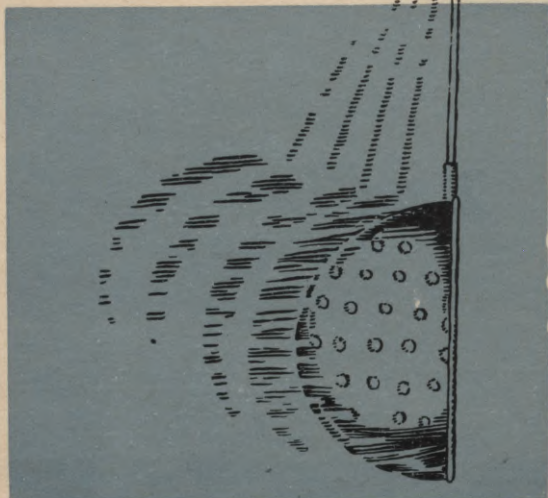
dzinājumā ar šādiem zinātniekiem, jo jūsu smadzenēs vēl nav izveidojušās tās dziļās rievās, pa kurām parasti virza uz priekšu domu. Un tomēr, lai kāds arī būtu jūsu vecums, ja tikai jūs gribat vingrināt savu prātu, tad šajā jaunajā, īpatnējā relativitātes pasaulē jūs būsit kā savās mājās.



2. Maikelsona — Morleja eksperiments

Vai kustība ir relatīva? Jau pēc īsa brīža jūs atbildēsiet: «Protams, jā!» Iedomājieties vilcienu, kas brauc uz ziemeļiem ar ātrumu 60 km/h. Tajā pašā laikā pa vilciena vagonu virzienā uz dienvidiem pārvietojas cilvēks ar 3 km/h lielu ātrumu. Kādā virzienā un ar kādu ātrumu kustas cilvēks? Lai atbildētu uz šādu jautājumu, ir jāizvēlas atskaites sistēma. Attiecībā pret vilcienu cilvēks pārvietojas uz dienvidiem ar 3 km/h lielu ātrumu, bet attiecībā pret Zemi viņš virzās uz ziemeļiem ar ātrumu 57 km/h (to iegūstam no 60 km/h atņemot 3 km/h).

Vai var teikt, ka šis cilvēka kustības ātrums (57 km/h) ir īstais un ir absolūts? Nē, jo ir arī vēl citas, pat milzīga mēroga atskaites sistēmas. Kustas taču pati Zeme, griežoties gan ap savu asi, gan tajā pašā laikā ap Sauli. Savukārt Saule ar visām savām planētām kustas Galaktikā. Mūsu Galaktika savukārt kustas attiecībā pret citām galaktikām, tās atkal pārvietojas viena attiecībā pret otru utt. Nav iespējams uzzināt, cik tālu šāda kustību ķēde turpinās, tātad nav iespēju noteikt kāda ķermeņa absolūto kustību; citiem vārdiem sakot — nav nekādas galīgas, fiksētas atskaites sistēmas, pret kuru kustību varētu noteikt absolūti. Tātad, tāpat kā liels un mazs, ātrs un lēns, augša un apakša, labais un kreisais, arī kustība un miers ir pilnīgi relatīvi jēdzieni.



Nav citas iespējas noteikt kāda ķermeņa kustību, ja to neattiecina pret kāda cita ķermeņa kustību.

Un tomēr tas viss nāv tik vienkārši! Ja, raksturojot kustības relativitāti, pietiktu ar to, ko jau mēs tikko apskatījām, Einšteinam nebūtu jārada relativitātes teorija.

Izrādās, ka tomēr ir divas ļoti vienkāršas metodes, kā var noteikt absolūto kustību — var izmantot gaismas īpašības vai dažādas inerces parādības, kuras rodas kustīgam ķermenim, kad tas maina trajektoriju vai ātrumu. Ar pirmās metodes izmantošanu saistās Einšteina radītā speciālā relativitātes teorija, bet ar otrās — Einšteina vispārīgā relativitātes teorija. Šajā un divās nākošās nodaļās apskatīsim pirmo metodi, kurā izmanto gaismas īpašības.

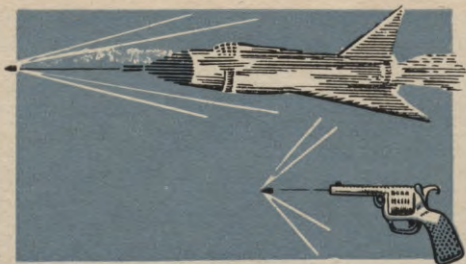
Līdz pat 19. gs. fiziķi uzskatīja, ka Visumu pilda kāda īpaša nemanāma un nekustīga vide, ko nosauca par ēteru. Tā kā šo ēteru uzskatīja par vidi, kurā izplatās

gaismas viļņu svārstības, tad to bieži sauca par *gaismas nesēju* ēteru. Domāja, ka ēters ir visur, arī materiālos ķermeņos. Ja mēs no stikla recipienta izsūknētu gaisu (radot tur pilnīgu vakuumu), tad tomēr arī tur būtu šis ēters, jo kā gan citādi gaismas stars varētu iziet cauri vakuumam. Tā kā gaismas ir viļņējāds process, tad, lai svārstības varētu izplatīties, vajadzīga kāda vide — ēters. Pats ēters ir nekustīgs, bet tajā var izplatīties svārstības. Ēters dažreiz var kustēties attiecībā pret materiāliem ķermeņiem, bet pareizāk būtu sacīt, ka visi materiāli ķermeņi kustas ēterā tā kā caurumains siets ūdenī. Tā laikmeta fiziķi ticēja, ka zvaigznes, planētas vai jebkura ķermeņa absolūto kustību varēs vienkāršāk aprakstīt, ja to kustību apskatīs attiecībā pret tādu iedomātu nekustīgu, nemanāmu ētera okeānu.

Dabiski, ka jums var rasties jautājums, kā gan varētu, piemēram, apskatīt Zemes kustību attiecībā pret šo ēteru, ja tas ir hipotētisks — nemateriāla substance, kuru nevar redzēt, dzirdēt, just, saost vai sagaršot? Un tomēr mērījumus var izdarīt — salīdzinot Zemes kustību ar gaismas stara kustību.



Lai to saprastu, apskatīsim gaismas dabu. Īstenībā gaismas ir vesela elektromagnētiska starojuma spektra (kura sastāvā ietilpst arī radioviļņi, ultraīsviļņi, infrasarkanie, ultravioletie un γ stari) tikai neliela redzamā daļa. Šajā grāmatā mēs nosacīti ar vārdu *gaismas* apzīmēsim jebkuru elektromagnētisko izstarojumu, jo šis vārds ir daudz īsāks nekā *elektromagnētiskais izstarojums*. Gaismas ir viļņējāda kustība, bet tā laika fiziķiem likās absurds domāt par šādu kustību, vienlaicīgi nedomājot par materiālo ēteru, kas ir tikpat kā domāt par viļņiem ūdenī un tajā pašā laikā nedomāt par pašu ūdeni.



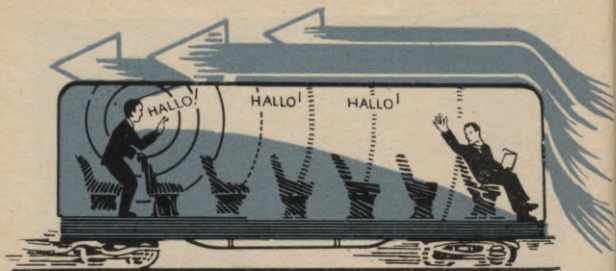
Ja ar revolveri izšausim lodi no kustībā esošas reaktīvās lidmašīnas tās kustības virzienā un no tā paša revolvera uz Zemes, tad dabiski, ka pirmajā gadījumā lodes kustības ātrums attiecībā pret Zemi būs lielāks. Šo ātrumu iegūsim, ja saskaitīsim lodes un lidmašīnas kustības ātrumus. Turpretim gaismas stara kustības ātrums nav atkarīgs no tā, vai gaismas avots kustas vai ir miera stāvoklī. Šo faktu pārliecinoši pierādīja eksperimenti pagājušā gadsimta beigās un šī gadsimta sākumā, kā arī vēlāk. Pēdējo pierādījumu 1955. gadā ieguva padomju astronomi, novērojot gaismu, kuru izstaro rotējošās Saules diska pretējās malas. Lai gan vienā un tajā pašā laikā abas Saules malas ar lielu lineāro ātrumu kustas pretējos virzienos, uz Zemes gaismas stari no Saules abām malām pienāca ar vienu un to pašu ātrumu. Tajā pašā laikā veica līdzīgus eksperimentus — novēroja gaismas starus no rotējošām dubultzvaigznēm. Gaismas ātrums vakuumā bija vienmēr viens un tas pats — nedaudz mazāks par 300 000 km/s neatkarīgi no tā, kā kustējās gaismas avots.

Tagad kļūst skaidrs, kādā veidā zinātnieks, kuru tālāk sauksim vienkārši par novērotāju, var noteikt savu absolūto ātrumu. Ja gaismas stars, kura ātrums c nav atkarīgs no gaismas avota kustības ātruma, kustas mierā stāvošā, nemainīgā ēterā, tad gaismas ātrums ēterā ļauj mums noteikt novērotāja absolūto kustību. Ja novērotājs kustēsies tādā pašā virzienā kā gaismas



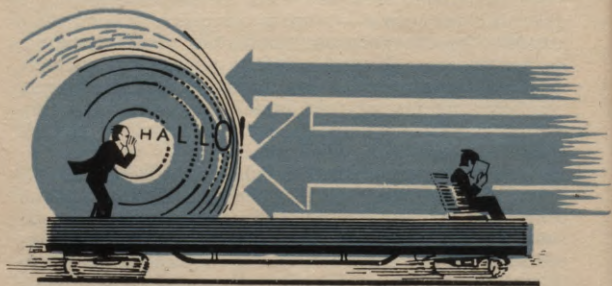
stars, tad viņam būtu jākonstatē, ka attiecībā pret viņu gaismas stara ātrums ir mazāks par c , bet, ja novērotājs kustēsies pretim gaismas staram, tad viņš konstatētu, ka gaismas stara ātrums ir lielāks par c . Tātad atkarībā no tā, kā kustas novērotājs attiecībā pret gaismas staru, gaismas stara ātruma mērījumiem ir jāizmainās. Šī izmaiņa parādītu novērotāja patieso, absolūto kustību ēterā.

Apskatot ķermeņa kustību šādā ēterā, fiziķi ļoti bieži lieto jēdzienu *ētera vējš*. Kā piemēru atkal apskatīsim braucošu vilcienu. Ja cilvēks pārvietojas vagonā ar ātrumu 3 km/h , tad, kā jau apskatījām, tā kustības ātrums attiecībā pret vilcienu ir pastāvīgs un nav atkarīgs no tā, vai cilvēks iet uz priekšu vai atpakaļ. Viss teiktais



attiecas arī uz skaņas viļņiem slēgtā vagonā. Arī skaņa izplatās viļņu veidā un, piemēram, gaisā svārstības pārīet no molekulas uz molekulu. Tā kā šajā piemērā gaiss ir vagonā, tad skaņa attiecībā pret vagonu visos virzienos izplatīsies ar vienādu ātrumu.

Viss izmainīsies, ja mēs no slēgtā vagona pāriesim uz vaļēju platformu, jo tur gaiss vairs nav izolēts kā vagona iekšpusē. Ja vilciens kustas ar ātrumu 60 km/h, tad uz platformas pretēji vilciena kustības virzienam pūš vējš, kura ātrums arī būs 60 km/h. Tādēļ arī skaņas ātrums vilciena kustības virzienā būs mazāks nekā





tad, ja tas būtu miera stāvoklī, bet pretējā virzienā — lielāks.

19. gadsimta fiziķi bija pārliecināti, ka hipotētiskais ēters ir analogs gaisam uz kustīgas platformas. Vai tad varētu būt citādi? Ja jau ēters ir nekustīgs, tad jebkuram šādā ēterā kustošam ķermenim jāsajūt ētera vējš, kas *pūstu* kustībai pretējā virzienā. Gaisma ir viļņējāda kustība nekustīgā ēterā. Tātad, ja gribētu noteikt tās ātrumu, novērotājam atrodoties uz kāda kustīga ķermeņa, tad taču ētera vējš šādu mērījumu izmainītu.

Zeme, griežoties pa orbītu ap Sauli, kustas ar ātrumu apmēram 30 km/s. Pēc fiziķu domām, šādai Zemes kustībai būtu jārada ētera vējš, kas *pūstu* Zemes kustībai pretējā virzienā cauri tās starpatomu telpai ar ātrumu 30 km/s. Tagad varētu noteikt Zemes absolūto kustību (tās kustību pret nekustīgo ēteru), ja izmērītu ātrumu, ar kādu gaismas stars noietu zināmu attālumu turp un atpakaļ uz Zemes virsmas. Ētera vēja dēļ gaismas ātrums vienā virzienā būtu lielāks nekā otrā, un, šos gaismas izplatīšanas ātrumus dažādos virzienos salīdzinot, varētu dotā momentā noteikt Zemes kustības absolūto virzienu un ātrumu. 1875. gadā, 4 gadus pirms piedzima Einšteins, ievērojamais skotu fiziķis Džeimss Maksvels pirmais izteica priekšlikumu veikt šādu eksperimentu.*

Šo eksperimentu 1881. gadā izdarīja jaunais Savienoto Valstu Jūras kara flotes virsnieks Alberts Maikel-

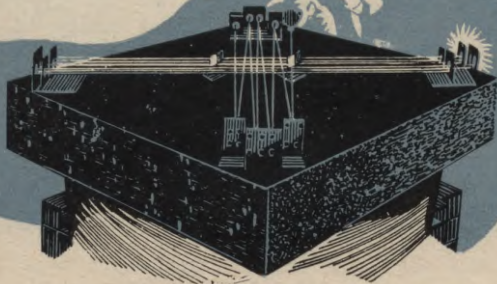
* Maksvels šo priekšlikumu apraksta savā publikācijā «Ēters», kura bija iespiesta Britānijas Enciklopēdijas devītajā izdevumā.

sons. Viņš piedzima Vācijā, bet viņa vecāki bija poļi. Kad Maikelsonam bija divi gadi, ģimene pārcēlās dzīvot uz Ameriku. Pēc Jūras kara akadēmijas beigšanas Annapolisā un pēc divu gadu dienesta Maikelsons šajā pašā akadēmijā sāk pasniegt fiziku un ķīmiju. Saņēmis garāku atvaļinājumu, viņš brauc uz Eiropu mācīties, un Berlīnes universitātē slavenā vācu zinātnieka Hermaņa Helmholca laboratorijā Maikelsons pirmo reizi mēģina konstatēt ētera vēju. Sev par lielu izbrīnu viņš neatklāja gaismas ātruma izmaiņu nevienā virzienā, kādā turp un atpakaļ tika laists gaismas stars. Tas bija gluži tāpat, it kā zivs, peldot jūrā dažādos virzienos, nemānītu ūdens kustību attiecībā pret savu ķermeni, vai pilots, kurš lidotu pilnīgi vaļējā kabīnē un nejustu vēju, kas pūstu viņam sejā.

Ievērojamais austriešu fiziķis Ernsts Mahs (7. nodaļā par viņu vēl runāsim atsevišķi) jau agrāk rakstīja kritiskas piezīmes par absolūto kustību ēterā. Izlasījis Maikelsona publikāciju, viņš tūlīt secināja, ka doma par ēteru jāatmet. Tomēr lielākā daļa fiziķu to neuzdrošinājās, jo Maikelsona eksperimentā iekārta bija vēl neprecīza, un varēja domāt, ka, lietojot jutīgāku aparāturu, tomēr vajadzīgo rezultātu varēs iegūt. Tā domāja arī pats Maikelsons. Savā eksperimentā viņš kļūdas nevarēja atrast, tāpēc to atkārtoja, uzlabojot mērīšanas precizitāti.

Maikelsons atsacījās no Jūras kara dienesta un kļuva par profesoru Keisas lietišķo zinātņu skolā (tagadējā Keisas universitātē Klīvlendā Ohaio štatā). Tuvākajā universitātē ķīmiju mācīja Edvards Morlejs, kurš vēlāk kļuva par labu Maikelsona draugu. Bernards

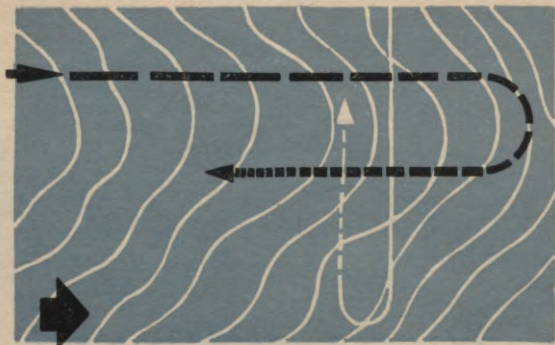




Jaffe savā grāmatā «Maikelsons un gaismas ātrums» tā apraksta abus draugus: «Ārēji šie divi zinātnieki bija pilnīgi kontrasti... Maikelsons bija skaists, vienmēr labi gērbies un nevainojami skuvies, turpretim Morlejs gērbās nevērīgi un bija tipisks aizmāršīga profesora piemērs... Viņš atļāva matiem tik tālu ataugt, ka tie sacirtojās jau uz pleciem, bet nekārtīgās, rudās bārdas sari auga viņam līdz pat ausīm.»

Morleja laboratorijas pagrabā 1887. gadā abi zinātnieki uzstādīja otru, precīzāku eksperimentu, lai varētu atklāt nenotveramo ētera vēju. Šis tā saucamais Maikelsona — Morleja eksperiments kļuva par vienu no lielākajiem pagrieziena punktiem mūsdienu fizikā.

Uz kvadrātveida akmens plates (tā malas apmēram 1,5 m garas, biezums vairāk nekā 30 cm) uzstādīja aparāturu. Pati plate peldēja dzīvsudrabā. Tas novērsa vibrācijas, plati varēja viegli pagriezt ap vertikālu centrālo asi, un tā noturējās horizontāli. Ar vienu spoguļu sistēmu gaismas staru virzīja turp un atpakaļ astoņas reizes, tādā veidā panākot gaismas stara ceļa maksimālo pagarinājumu. Vienlaicīgi otra spoguļu sistēma tāpat



virzīja gaismas staru atpakaļ reizes turp un atpakaļ, tikai virzienā, kas bija perpendikulārs iepriekšējam.

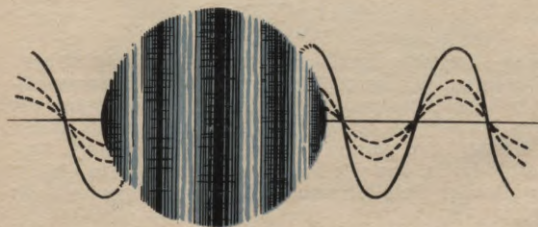
Plati pagriezta tā, lai viens no stariem ietu turp un atpakaļ virzienā, kas paralēls Zemes ētera vējam, bet otrs — tam perpendikulāri. Būtu jāsecina, ka pirmais stars visu savu ceļu noies ilgākā laikā nekā otrais. Sākumā gan liekas, ka pareizi būtu otrādi, bet labāk visu rūpīgi izspriedīsim. Vispirms apskatīsim pirmo gaismas staru, kas iet pa un pret ētera vēju. Ja vienā virzienā vējš gaismas ātrumu palielina, vai tad tieši par tikpat tas gaismas ātrumu otrā virzienā nesamazina? Bet, ja tas ir tā, tad taču paātrinājums un palēninājums viens otru kompensē, un laiks, kurā gaismas stars noiet visu ceļu, būtu taisni tāds pats kā tad, ja nekāda ētera vēja nebūtu.

Lai gan tiešām gaismas ātruma palielinājums un samazinājums abos virzienos ir pilnīgi vienāds, tomēr — un tas ir pats galvenais — ētera vējš samazina ātrumu ilgākā laika periodā. Precīzi aprēķini parāda, ka laiks, kurā pirmais stars noietu pilno ceļu pret vēju, ir lielāks par laiku, kurā stars noietu to ceļu, ja vēja nebūtu. Bet, kā viegli var pārliecināties, vējš paldzina arī otrā stara, kas iet perpendikulāri pirmajam, laiku.

Tikai šis laika pagarinājums ir mazāks nekā pirmā stara gadījumā, un tāpēc, ja Zeme tiešām kustas mierā esošā ētera okeānā, tad jābūt ētera vējam, ko vajadzētu novērot ar Maikelsona — Morleja iekārtu. Abi zinātnieki tiešām ticēja, ka viņi ne tikai konstatēs šo ētera vēju, bet arī jebkurā momentā varēs noteikt precīzu Zemes kustības virzienu ēterā (mainot plates stāvokli, kamēr abu gaismas staru laiku starpība būs maksimāla).

Jāatzīmē, ka Maikelsona — Morleja iekārtā patieso gaismas ātrumu katram no stariem tieši neizmērija, jo abi stari pēc savu pilno ceļu noiešanas savienojās un ar nelielu teleskopu varēja novērot to interferenci. Tā kā plati lēnām grieza, tad jebkuru abu staru relatīvo ātrumu izmaiņa izsauktu interferences maiņu — tumšo un gaišo līniju pārbīdi. Bet tādas pārbīdes nebija! Tāpēc Maikelsonu eksperiments atkal galīgi satrieca. Pārsteigti bija arī visi pārējie pasaules fiziķi. Lai arī kā Maikelsons un Morlejs pagrieza savu aparāturu, viņi nevarēja konstatēt ne mazākās ētera vēja pazīmes! Nekad agrāk zinātnes vēsturē neviens no eksperimentiem ar negatīvu rezultātu nebija vienlaicīgi tik sagraujošs un reizē arī tik sekmīgs, taču Maikelsons secināja, ka eksperiments atkal nav izdevies. Viņš pat nevarēja iedomāties, ka šī *neveiksme* izvirzīs viņa eksperimentu par vienu no vissvarīgākajiem un revolucionārākiem zinātnes vēsturē.

Maikelsons un Morlejs uzlaboja savu iekārtu un vēlāk vēlreiz atkārtoja savu eksperimentu. To mēģināja



arī citi fiziķi. Visprecīzākos eksperimentus izdarīja Čarlzs Taunss 1960. gadā Kolumbijas universitātē. Viņa iekārtā bija iemontēts māzera atomu pulkstenis, kurā izmanto molekulu svārstības. Šī aparatūra bija tik jutīga, ka ētera vēju varētu konstatēt pat tad, ja Zemes kustības ātrums būtu tikai viena tūkstošā daļa no patiesā Zemes kustības ātruma. Taču pat šāda ētera vēja pēdas iekārta nevarēja konstatēt.

Maikelsona — Morleja eksperimenta negatīvais rezultāts sākumā tā pārsteidza fiziķus, ka tie sāka izdomāt dažādus izskaidrojumus, lai tikai glābtu ētera vēja teoriju. Protams, ja šāds eksperiments būtu veikts dažus gadsimtus ātrāk, tad, norādīja H. Vitrovs savā grāmatā «Visuma uzbūve un attīstība», katrs, izskaidrojot eksperimentu, būtu devis tam vienkāršu atbildi: «Zeme nekustas!...» Bet laikā, kad eksperimentēja Maikelsons un Morlejs, neviens vairs tādu atbildi nedeva. Izskaidrojumam vienkāršāk bija izmantot teoriju, kas bija radusies jau pirms Maikelsona — Morleja eksperimenta — Zeme ēteru rauj līdzi (tāpat kā gaisu slēgtā dzelzceļa vagonā). Sākumā tā domāja arī Maikelsons, bet tad citi eksperimenti parādīja šādas ētera līdzi rašanās neiespējamību.

Visneparastāko eksperimenta izskaidrojumu deva īru fiziķis Džordžs Ficdžeralds. Pēc viņa domām ētera vējš iedarbojas uz kustīgu ķermeni un to saspiež kustības virzienā. Lai aprēķinātu kustošā ķermeņa garumu, jāzina tā garums miera stāvoklī un jāpareizina tas ar šādu lielumu:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

kur v — ķermeņa kustības ātrums, c — gaismas ātrums.

No formulas redzams, ka ķermeņa garuma samazināšanās ir neievērojama, ja ķermeņa kustības ātrums v ir mazs, bet tā kļūst ievērojami liela, ja ķermenis kustas ar ātrumu tuvu gaismas ātrumam. Tā, piemēram, kosmiskais kuģis, kas pēc formas atgādinātu garu cigāru, kustoties ar lielu ātrumu, izskatītos kā pavisam īss cigārs.

Gaismas ātrums ir pārējiem ķermeņiem nesasniedzama ātruma robeža. Ja ķermenis kustētos ar šādu ātrumu, tad izteiksme

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

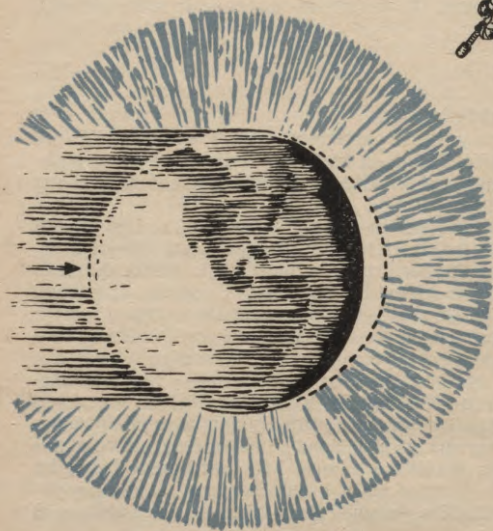
būtu vienāda ar nulli.

Ķermeņa garumu pareizinot ar nulli, arī rezultātā mēs dabūtu nulli. Tātad, ja kāds ķermenis kustētos ar gaismas ātrumu, tad kustības virzienā tam nebūtu nekāda garuma!

Ficdžeralda teoriju skaisti matemātiski izskaidroja holandiešu fiziķis Hendriks Lorencs. Viņš pie šiem secinājumiem nonāca pilnīgi patstāvīgi. Vēlāk Lorencs kļuva arī par vienu no tuvākiem Einšteina draugiem, taču tajā laikā viņi vēl nebija pazīstami. Jauno teoriju nosauca par Lorenca — Ficdžeralda (vai Ficdžeralda — Lorenca) kontrakcijas (saīsināšanās) teoriju.

Jaunā teorija izskaidro Maikelsona — Morleja eksperimenta neveiksmi. Ja kvadrātveidīgajai platei un līdz ar to arī visai aparatūrai nedaudz samazinās garums ētera vēja virzienā, tad šajā virzienā gaismas staram jāveic mazāks attālums. Mēs jau konstatējām, ka ētera vējš gaismas staru bremsētu, taču tā kā ceļa garums ir saīsināts, gaismas stars varēs to noiet tādā pašā





laikā kā tad, kad nebūtu ne ētera vēja, ne ceļa saīsināšanās. Citiem vārdiem sakot, garumam ir jāsamazinās tieši tik daudz, lai gaismas ātrums būtu neatkarīgs no Maikelsona — Morleja iekārtas stāvokļa.

Bet tagad jūs varat jautāt, kāpēc vienkārši nevarētu izmērīt aparatūras garumu, lai noskaidrotu, vai tiešām tas samazinās Zemes kustības virzienā? Skaidrs, ka arī jūsu mērlīnija garums samazinātos tajā pašā attiecībā, un rezultāts būtu tāds pats kā tad, kad kontrakcijas nebūtu. Uz kustīgās Zemes tāpat visam samazinās garums, un iegūtais rezultāts analogs grāmatas sākumā aprakstītajam Puankarē iedomātajam eksperimentam, kad pēkšņi Visumā viss kļūst tūkstoš reižu lielāks un to nekā nevar konstatēt. Kaut gan pēc Lorenca — Fic-

džeralda kontrakcijas teorijas garuma izmaiņa notiek tikai vienā virzienā, tomēr zināmās robežās (robežas nosaka topoloģija — mācība par īpašībām, kuras saglabājas, ķermeņus deformējot) forma ir tikpat relatīva kā izmēri. Gan pašas aparatūras, gan visa tā, kas atrodas uz Zemes, garuma izmaiņu varētu ievērot tikai tāds cilvēks, kas atrastos ārpus Zemes un nekustētos reizē ar to.

Daudzi rakstnieki zinātnieki, runājot par relativitātes teoriju, uzskatīja Lorenca — Ficdžeralda saīsināšanās hipotēzi par hipotēzi *ad hoc* (latīņu izteiciens, kas nozīmē «tikai dotajam gadījumam»), ko nevar pārbaudīt ne ar kādiem citiem eksperimentiem. Ādolfs Grīnbaums domāja, ka tas nav visai pareizi. Šī hipotēze bija *ad hoc* tikai tāpēc, ka tajā laikā vēl nebija iespējas to pārbaudīt. Vispār šī hipotēze nav *ad hoc*. To 1932. gadā pārliecinoši pierādīja Kenedijs un Torndaiks.

Amerikāņu fiziķi Rojs Kenedijs un E. Torndaiks atkārtoja Maikelsona — Morleja eksperimentu. Viņi abiem gaismas stariem lika noiēt nevis vienādus, bet dažādus ceļa garumus. Lai varētu noteikt laiku starpību, kādā abi gaismas stari noiēt šos ceļa gabalus, iekārtu pagriezta. Saskaņā ar Lorenca — Ficdžeralda teoriju laiku starpībai tad vajadzēja izmainīties, un to, tāpat kā Maikelsona — Morleja eksperimentā, varētu novērot interferences ainā. Taču šādas izmaiņas nenovēroja.

Kontrakcijas teoriju varētu visvienkāršāk pārbaudīt, ja izmērītu ātrumu diviem gaismas stariem, kas kustas dažādos virzienos — viens Zemes kustības virzienā, bet otrs pretējā. Skaidrs, ka garuma saīsināšanās ļautu konstatēt arī ētera vēju, ja tāds eksistētu. Tomēr tehnisko grūtību dēļ šo eksperimentu nevarēja realizēt, kamēr nebija atklāts Mesbauera efekts (par to aprakstīts 8. nod.). 1962. gada februārī Londonā, Karaliskās biedrības sēdē Kopenhāgenas universitātes profesors Kristjans Melers paziņoja, ka šādu eksperimentu var veikt, ja izmanto Mesbauera efektu. Šim nolūkam elektromagnētisko svārstību avots un uztvērējs jāuzstāda uz rotējoša galda pretējiem galiem. Melers norādīja, ka tāds eksperiments varētu pierādīt, ka iepriekš izvirzītā kontrakcijas teorija ir nepareiza. Ļoti iespējams, ka jau

tagad — pēc šās grāmatas iespiešanas — ir izdarīts tāds eksperiments.

Protams, toreiz šādus eksperimentus nevarēja veikt, tomēr jau Lorencs uzskatīja, ka principā tas ir iespējams un tiem būtu negatīvi rezultāti, līdzīgi kā ieguva Maikelsons. Viņš iet pat tālāk. Lai šo rezultātu izskaidrotu, Lorencs kontrakcijas teorijā izdarīja svarīgu papildinājumu — ievēroja laika izmaiņu. Viņš rakstīja, ka ētera vēja dēļ arī pulksteņi sāktu iet lēnāk, pie kam gaismas ātrums 300 000 km/s nemainītos.

Lai to saprastu, apskatīsim konkrētu piemēru. Pieņemsim, ka mūsu rīcībā ir pietiekami precīzs pulkstenis, ar kura palīdzību varētu mērīt gaismas ātrumu. Laidīsim gaismas staru Zemes kustības virzienā no punkta *A* uz punktu *B*. Ņemsim punktā *A* divus sinhronus pulksteņus, pēc tam vienu no tiem pārnesīsim uz punktu *B*. Fiksēsim laika momentu, kad gaismas stars atstāj punktu *A*, un tad ar otru pulksteni punktā *B* konstatēsim stara ierašanos. Ja gaismas stars virzītos pretī ētera vējam, tā ātrums nedaudz samazinātos un līdz ar to arī laiks, kurā gaisma noiet attālumu *AB*, pieaugtu, salīdzinot ar gadījumu, ja Zeme nekustētos. Bet vai jūs jūtat šī sprieduma kļūdu? Taču arī pulkstenis, to pārnesot no punkta *A* uz *B*, kustas pretī ētera vējam, un tāpēc, nonākot punktā *B*, tā gaita kļūst lēnāka un šis pulkstenis atpaliek no pulksteņa punktā *A*. Šādā domu eksperimenta rezultātā iegūtais gaismas ātrums neizmainītos — būtu 300 000 km/s.

Lorencs apgalvo, ka tas pats būtu arī tad, ja gaismas staru laistu pretējā virzienā (no punkta *B* uz *A*). Tad punktā *B* mēs sinhronizētu divus pulksteņus un vienu no tiem pārnestu uz punktu *A*. Tā kā tagad gaismas stars ietu no punkta *B* uz *A*, tas ir, pa vēju, tad tā ātrumam būtu jāpieaug, bet pārgājiena laikam savukārt jāsaīsinās (salīdzinot ar gadījumu, ja Zeme nekustētos). Taču arī pulksteņa, kuru pārnes no punkta *B* uz *A*, gaita paātrināsies un tas punktā *B* rādīs vairāk. Tā rezultātā izmērītais gaismas ātrums atkal būtu 300 000 km/s.

Lorenca jaunā teorija ne tikai izskaidroja Maikelsona — Morleja eksperimenta negatīvo rezultātu, bet arī pierādīja, ka eksperimentālā ceļā nav iespējams no-



teikt ētera vēja ietekmi uz gaismas ātrumu. Garuma un laika izmaiņas notiek vienmēr tā, ka ar jebkuru metodi mērot gaismas ātrumu jebkurā atskaites sistēmā iegūtais rezultāts būs viens un tas pats. Skaidrs, ka fiziķus šāda teorija neiepriecināja, jo pēc visas savas būtības tā bija *ad hoc* teorija. Veltas bija arī viņu pūles aizlāpīt caurumus ētera teorijā. Nevarēja iedomāties, kā varētu aizstāvēt vai noraidīt ētera teoriju. Fiziķi nespēja ticēt tam, ka daba, radot ētera vēju, tajā pat laikā ierīkojusi visu tā, lai to nekā nevarētu noteikt. To ilustrē angļu filozofs matemātiķis Bertrands Rasels ar Baltā Bruņinieka dziesmiņu no Lūisa Kerola grāmatas «Alise Brīnumu zemē»:

Pašreiz gribētos man krāsot
Vaigu bārdi zaļā krāsā,
Rokās vēdekli ņemt lielu,
Lai neviens to neredzētu.*

Jaunā Lorenca teorija par vienlaicīgu garuma un laika maiņu likās tikpat absurda kā Baltā Bruņinieka nodoms, taču neko labāku fiziķi nevarēja izgudrot.

Un tomēr... Nākošā nodaļā mēs redzēsim, kā Einšteins ar savu speciālo relativitātes teoriju parādīja drosmīgu, lielisku izeju no šī strupceļa.

* Atdzejojis H. Gāliņš.



3. Speciālā relativitātes teorija

I d a ļ a

1905. gadā Šveices patentu birojā kā eksperts strādāja Alberts Einšteins. Viņš bija 26 gadus vecs, precējies cilvēks, kad publicēja savu slaveno teoriju, kuru vēlāk nosauca par speciālo relativitātes teoriju. Studējot fiziku Cīrihes politehniskā institūtā, Einšteins īpaši neizcēlās. Viņš daudz lasīja, domāja un sapņoja, bet tomēr nemēģināja piebāzt savu galvu ar dažādiem mazsvarīgiem faktiem tikai tāpēc, lai iegūtu augstas atzīmes. Vairākas reizes viņš mēģināja kļūt par fizikas pasniedzēju, bet tomēr bija spiests ikreiz šo darbu atstāt, jo viņam trūka pedagoga dotību.

Bet šim stāstījumam ir arī otra puse. Būdams vēl mazs zēns, Einšteins mēģināja izprast dabas pamatlikumus. Vēlāk viņš atceras savas bērnības divus lielākos *brīnumus*: kompasu, kuru tēvs viņam parādīja, kad viņam bija 5 gadi, un Eiklīda ģeometrijas grāmatu, kuru viņš izlasīja 12 gadu vecumā. Šie divi *brīnumi* it kā simbolizē Einšteina darbu: kompass — fizikālo ģeometriju, ārpus mums eksistējošās *milzīgās pasaules* struktūru, kuru mēs nekad absolūti precīzi nevarēsim izziņāt; grāmata simbolizē tīro ģeometriju — struktūru, kas ir absolūti noteikta, bet pilnīgi neatspoguļo īsto pasauli. Galvenokārt pašmācības ceļā jau sešpadsmit gadu vecumā Einšteins apguva pamatzināšanas matemātikā,

ieskaitot analītisko ģometriju, diferenciālrēķinus un integrālrēķinus.

Strādājot Šveices patentu birojā, Einšteins lasīja un domāja par visām tām sarežģītajām problēmām, kuras saistījās ar gaismu un kustību. Viņa speciālā relativitātes teorija bija lielisks mēģinājums izskaidrot rindu neizprotamu eksperimentu, no kuriem pazīstamākais un satricošākais bija Maikelsona — Morleja eksperiments. Bija arī daudz citu eksperimentu, kurus nevarēja izskaidrot ar elektromagnētisko parādību teoriju. Ja arī Maikelsona — Morleja eksperiments nekad nebūtu izdarīts, speciālā relativitātes teorija tomēr būtu radīta. Vēlāk arī pats Einšteins bija teicis, ka tieši šim eksperimentam nebija sevišķi liela loma viņa teorētisko spriedumu veidošanā. Protams, ja Maikelsons un Morlejs savā eksperimentā būtu atklājuši ētera vēju, tad speciālās relativitātes teorijas nebūtu. Taču šī eksperimenta negatīvais rezultāts bija tikai viens no daudz-



jiem faktiem, kas palīdzēja Einšteinam radīt relativitātes teoriju.

Jau redzējām, kā ētera vēja teoriju mēģināja glābt Lorencs un Ficdžeralds, iedomājoties, ka ētera vēja spiedienu kādā nesaprotamā veidā izsauc kustošu ķermeņu istu fizisko saīsināšanos. Sekojot Ernsta Maha domai, Einšteins izvirzīja vēl drošāku priekšlikumu. «Kāpēc Maikelsons un Morlejs nevarēja novērot ētera vēju?» jautāja Einšteins un pats arī atbildēja. «Ētera vēja nav!» Ievērojiet — Einšteins nesacīja, ka nav paša ētera! Varbūt ēters arī eksistē, bet tam nav nozīmes, ja apskata vienmērīgu kustību. Arī pēdējos gados daudzi ievērojami fiziķi iesaka atjaunot terminu *ēters*, gan, protams, ne iepriekšējā nozīmē — kā nekustīgu atskaites sistēmu.

Klasiskā fizika, ko radīja Īzaks Ņūtons, parāda — ja, piemēram, jūs atrodaties vienmērīgi kustoša vilciena vagonā (vagona logi aizvērti tā, ka jūs nevarat redzēt apkārtni), tad nav nekāda mehāniska eksperimenta, ar kuru varētu pierādīt, ka vilciens kustas. (Protams, jāpieņem, ka vilciena kustība ir vienmērīga, bez triecieniem un šūpošanas.) Ja jūs tādā vagonā metīsiet uz augšu lodīti, tad tā kritīs atpakaļ pa taisni tajā pašā vietā, kā tā būtu nokritusi, ja vilciens nekustētos. Novērotājs, kas stāvētu uz Zemes un varētu redzēt cauri vagona sienām, redzētu, ka lodīte kustas pa likni, bet jums vagonā tā kustas augšup un lejup pa taisni. Un tas ir ļoti labi, jo kā gan mēs varētu spēlēt, piemēram, tenisu vai futbolu, ja katru reizi, kad bumbiņu uzsistu gaisā, Zeme attiecībā pret to pārvietotos ar ātrumu 30 km/s?

Speciālā relativitātes teorija ir solis uz priekšu no Ņūtona klasiskās relativitātes. Pēc speciālās relativitātes teorijas vilciena kustību šajā gadījumā nevar noteikt ne ar mehānisku, ne arī ar optisku (pareizāk — eksperimentu, kurā izmantotu elektromagnētisko starojumu) eksperimentu. Īsi un vienkārši speciālo relativitātes teoriju varētu formulēt šādi: nav iespējams ar kādu absolūtu metodi noteikt vienmērīgu kustību. Ja mēs atrastos vienmērīgi kustoša vilciena vagonā, tad, lai pārlicinātos par vilciena kustību, mums vajadzētu atvērt logu un paskatīties uz kādu objektu, piemēram,

telefona stabu. Taču arī pat tad mēs nevaram konstatēt, vai vilciens brauc garām stabam vai arī stabs kustas gar vilcienu. Labākā gadījumā varam tikai pateikt, ka zeme un vilciens savstarpēji ir relatīvā vienmērīgā kustībā.

Vai ievērojāt, ka tekstā bieži atkārtojas vārdiņš *vienmērīgi*. Kustību pa taisni ar nemainīgu ātrumu sauc par vienmērīgu kustību. Nevienmērīga jeb paātrināta kustība ir kustība, kurā ātrums mainās (paātrinās vai palēninās, pie kam pēdējā gadījumā paātrinājums ir negatīvs), vai arī jebkura kustība pa līkni. Attiecībā uz paātrinātu kustību speciālā relativitātes teorija nepasaka neko jaunu.

Pirmajā brīdī liekas, ka vienmērīgas kustības relativitātei nav lielas nozīmes, taču īstenībā tas tā nav — mēs tūlīt nokļūstam neparastā pasaulē, kura sākumā visvairāk atgādinā Lūisa Kerola bezjēdzīgo pasauli aiz spoguļa. Ja jau nav metodes kā noteikt vienmērīgu kustību attiecībā pret universālu, nekustīgu atskaites sistēmu līdzīgu ēteram, tad gaismai jābūt fantastiskām īpašībām, kas ir pretrunā ar jebkuru novērojumu.

Iedomāsimies kosmonautu kosmiskā kuģī, kas lido gaismas stara virzienā ar ātrumu, kas vienāds ar pusi no gaismas ātruma. Ja kosmonauts censtos izmērīt gaismas ātrumu, tad iznāktu, ka gaismas stars iet tam ga-



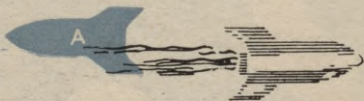


rām ar parasto ātrumu 300 000 km/s. Nedaudz par to padomājot, jūs sapratīsiet, ka tā tam arī ir jābūt, ja neeksistē ētera vējš. Ja kosmonauts būtu konstatējis, ka gaismai attiecībā pret viņu ir mazāks ātrums, viņš atklātu to pašu ētera vēju, kuru nevarēja atklāt Maikelsons un Morlejs. Bet ja nu kosmiskais kuģis ar to pašu ātrumu lidotu pretējā virzienā — uz gaismas avotu? Vai kosmonauts noteiktu, ka stars viņam tuvojas ar pusotras reizes lielāku ātrumu? Nē, gaismas stars viņam tuvotos tāpat ar ātrumu 300 000 km/s. Tātad, lai kā arī kosmonauts ar savu kuģi kustētos attiecībā pret gaismas staru, viņa gaismas stara ātrums būs viens un tas pats.

Ļoti bieži var dzirdēt, ka relativitātes teorija fizikā visu padara relatīvu, ka nav vairs nekā absolūta. Tas ir tālu no patiesības! Relativitātes teorija gan padara relatīvus dažus tādus jēdzienus, kurus agrāk uzskatīja

par absolūtiem. Tajā pašā laikā tā ieved jaunas absolūtas. Tā, piemēram, klasiskā fizika uzskata, ka gaismas ātrums ir relatīvs, jo tā lielumam bija jāmainās atkarībā no novērotāja kustības. Speciālajā relativitātes teorijā gaismas ātrums šādā nozīmē jau kļūst par absolūtu. Nav svarīgi, kā kustas gaismas avots vai novērotājs — gaismas ātrums attiecībā pret novērotāju neizmainās.

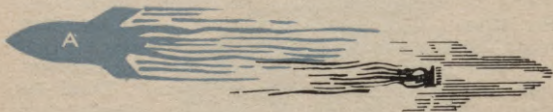
Iedomāsimies, ka kosmosā nav nekā cita kā divi kosmiski kuģi *A* un *B*, kuri pārvietojas viens pret otru ar nemainīgu ātrumu. Iespējami trīs gadījumi.



1. Kuģis *A* ir miera stāvoklī, bet *B* kustas.



2. Kuģis *B* ir miera stāvoklī, bet *A* kustas.



3. Abi kuģi kustas.

Vai astronauti šajos kuģos var noteikt, kurš no šiem trim gadījumiem ir *īstenība* jeb *absolūts*?

Nē, nav iespējams, atbild Einšteins. Jebkura kuģa kosmonauts var izvēlēties kuģi A par nekustīgu atskaites sistēmu. Nav nekādu eksperimentu, ieskaitot gaismu vai jebkuru citu elektrisku un magnētisku parādību, kas pierādītu, ka šāds pieņēmums ir nepareizs. Tas pats būtu, ja kā nekustīgu atskaites sistēmu viņš izvēlētos kuģi B. Ja pieņemtu, ka kustas abi kuģi, tad kāda nekustīga atskaites sistēma jāatrod ārpus šiem kuģiem, attiecībā pret kuru tad kustētos abi kuģi. Nav nozīmes minēt, kurš no šiem pieņēmumiem ir pareizs. Ja mēs gribētu runāt par kāda kuģa absolūto kustību, tad tas nozīmētu runāt par kaut ko bezjēdzīgu. Reāla ir tikai relatīvā kustība — abi kuģi tuvojās viens otram ar konstantu ātrumu.

Šāda veida grāmatā nav iespējams iedziļināties relativitātes teorijas tehniskās, kā arī matemātiskā aparāta detaļās. Tāpēc pieminēsim tikai dažus no visvairāk pārsteidzošiem secinājumiem, kuri loģiski izriet no diviem Einšteina teorijas pamatpostulātiem.

1. Nav iespējams noteikt, vai attiecībā pret nekustīgo ēteri ķermenis ir miera vai vienmērīgas kustības stāvoklī.

2. Vakuumā gaismai vienmēr ir viens un tas pats ātrums neatkarīgi no tā, kā kustas gaismas avots.

Otro postulātu bieži sajauc ar gaismas ātruma nemainību attiecībā pret vienmērīgi kustošos novērotāju. Patiesībā šī parādība tikai izriet no otrā postulāta.

Skaidrs, ka fiziķi pārsprida abus postulātus. Tā, piemēram, Lorencs mēģināja tos izmantot savā teorijā, pēc kuras ētera vēja spiediena rezultātā mainījās absolūtie garumi un laiks. Lielākā daļa fiziķu uzskatīja, ka Einšteina relativitātes teorija par daudz radikāli satricēja veselā saprāta spriedumus. Viņi uzskatīja, ka abi postulāti nav savienojami un vismaz viens no tiem ir nepareizs. Savukārt Einšteinam šī problēma likās dziļāka. Viņš sacīja: «Postulāti nav savienojami tikai tad, ja mēs pēc klasiskās teorijas uzskatām, ka garums un laiks ir absolūti.»

Kad Einšteins publicēja savu teoriju, viņš nezināja, ka arī Lorencs domās gājis tādā pašā virzienā. Arī Einšteins saprata, ka garuma un laika mērījumiem jābūt

atkarīgiem no objekta un novērotāja kustības vienam attiecībā pret otru. Tomēr Lorencs palika pusceļā, jo absolūtā garuma un laika jēdzienus viņš attiecināja uz mierā stāvošiem ķermeņiem. Lorencs uzskatīja, ka tikai ētera vējš izmaina garuma un laika īsto vērtību. Einšteins spriedumos gāja līdz galam. «Nav ētera vēja,» viņš sacīja, «nav jēgas garuma un laika absolūtismam!» Šis pieņēmums ir Einšteina speciālās relativitātes teorijas atslēga. Kad viņš sāka to izlietot, lēnām sāka atvērties jebkura noslēpuma durvis.

Lai uzskatāmi izskaidrotu speciālo relativitātes teoriju, Einšteins aprakstīja savu slaveno domu eksperimentu. Pa dzelzceļu ar lielu ātrumu brauc vilciens. Dzelzceļa stigas malā stāv novērotājs M . Iedomāsimies uz stigas vilciena kustības virzienā kādu punktu B un tādā pat attālumā no novērotāja pretējā virzienā punktu A . Pieņemsim, ka vienlaicīgi abos šajos iedomātajos punktos uzliesmo zibens. Novērotājs domās, ka tas noticis vienlaicīgi, jo viņš abus uzliesmojumus pamānīs vienā un tajā pašā acumirkli. Tā kā viņš atrodas tieši vidū starp punktiem A un B un gaismas ātrums ir konstants, viņš pieņems, ka abos punktos zibens uzliesmojis vienlaicīgi.

Tālāk iedomāsimies, ka arī vilcienā brauc kāds novērotājs M' , kas tieši zibens uzliesmošanas momentā ir tajā vietā, kur stigas malā stāv novērotājs M . Kā šo gadījumu novērtēs novērotājs M' ? Tā kā viņš tuvojas vienam uzliesmojumam, bet no otra attālinās, tad viņš, protams, zibens uzliesmojumu punktā B ievēros ātrāk





nekā punktā A . Un tomēr, apzinoties, ka pats kustas punkta B virzienā, un, ievērojot gaismas ātrumu, viņš secinās, ka zibens abos punktos uzliesmojis vienlaicīgi.

Viss it kā būtu ļoti labi, bet saskaņā ar speciālās relativitātes teorijas pamatpostulātiem (tos apstiprina arī Maikelsona — Morleja eksperiments) mēs varam arī pieņemt, ka vilciens ir miera stāvoklī, bet zeme zem vilciena riteņiem skrien ātri tam pretī. Tagad novērotājs vilcienā M' secinātu, ka tiešām punktā B uzliesmojums notiek agrāk nekā punktā A , jo viņš tādā kārtībā šos uzliesmojumus novērotu. Viņš zina, ka atrodas pusceļā starp abiem punktiem, un tāpēc arī secina, ka viens uzliesmojums notiek agrāk, jo pats taču tajā laikā atradās miera stāvoklī.

Šoreiz tādām secinājumam piekritīs arī novērotājs M . Viņš gan, tāpat kā iepriekš, ievēros abus uzliesmojumus vienlaicīgi, bet tagad taču viņš pats atrodas iedomātā kustībā. Tāpēc, ievērojot to, ka viņš kustas A



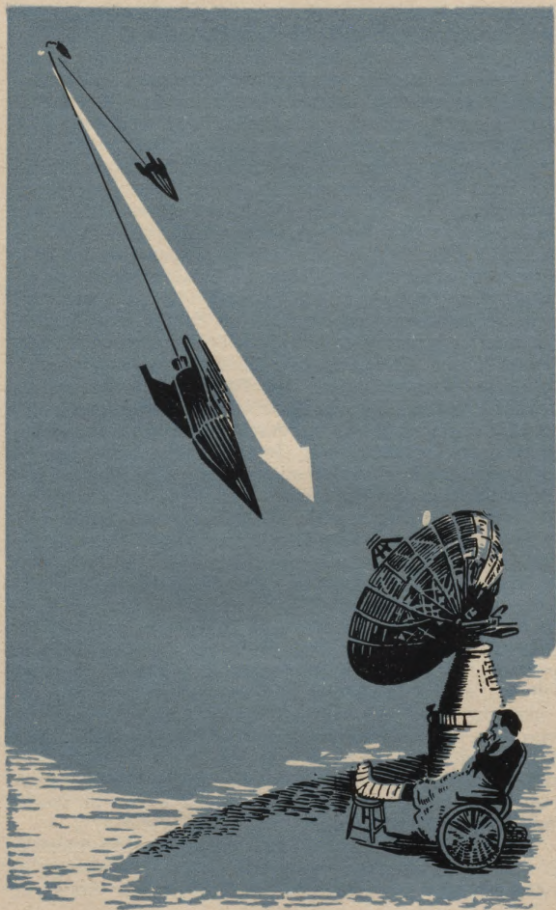
virzienā (attālinoties no *B*), un ievērojot gaismas ātrumu, arī viņš secinās, ka punktā *B* uzliesmojums notiek agrāk.

Ko varam secināt? No piemēra redzams, ka mēs nevaram noteikt absolūti — vai uzliesmojums abos punktos bija vai nebija vienlaicīgs. Atbilde ir atkarīga no atskaites sistēmas izvēles. Absolūtu atbildi varētu dot tikai tādā gadījumā, ja kādi divi notikumi vienlaicīgi notiktu vienā punktā. Ja, piemēram, gaisā saduras divas lidmašīnas, tad nav tādas atskaites sistēmas, attiecībā pret kuru abu lidmašīnu sairšana nebūtu vienlaicīga. Jo lielāks ir attālums starp diviem punktiem, jo grūtāk spriest par notikumu vienlaicību šajos punktos. Jāsaprot, ka mēs nevis nespējam noteikt lietu īsto stāvokli, bet gan, ka nav reāla šo lietu īstā stāvokļa. Visumā neeksistē absolūtais laiks, ar kuru varētu noteikt notikumu absolūtu vienlaicību. Vienkārši nav jēgas lietot absolūtas vienlaicības jēdzienu notikumiem dažādos telpas punktos.

Šāda uzskata radikālo nozīmi vēl labāk var izprast, ja apskatītājā domu eksperimentā ņemsim vēl lielākus attālumus un ātrumus. Pieņemsim, ka kāds novērotājs no vienas mūsu Galaktikas planētas *X* mēģina nodibināt sakarus ar Zemi. Viņš raida radiosignālu (elektromagnētisko vilni), kura ātrums ir vienāds ar gaismas ātrumu. Pieņemsim, ka planēta *X* atrodas 10 gaismas gadu attālumā no Zemes, tātad radiosignāls nonāk līdz Zemei desmit gados. Šo radiosignālu uz Zemes uztver astronoms, kurš tieši pirms 12 gadiem saņēmis Nobela prēmiju. Šajā gadījumā speciālā relativitātes teorija bez jebkādām ierunām ļauj noteikt, ka astronomam prēmija piešķirta pirms radiosignāla izsūtīšanas no planētas *X*.

10 minūtes pēc signāla uztveršanas astronomam pēkšņi ir jāšķauda. Arī tagad bez jebkādiem ierobežojumiem speciālā relativitātes teorija mums atļaus noteikt, ka astronoms šķaudīja pēc tam, kad no planētas *X* bija jau noraidīts radiosignāls.

Tālāk pieņemsim, ka 3 gadus pirms signāla saņemšanas astronoms nokrīt no sava radioteleskopa un salauž kāju. Speciālā relativitātes teorija tagad mums nevar



dot noteiktu atbildi — vai astronoms salauza kāju pirms vai pēc signāla noraidīšanas no planētas X.

Kāpēc ne? Pieņemsim, ka novērotājs atrodas uz planētas X un signāla noraidīšanas momentā kosmiskā kuģī izlido uz Zemi. Ja viņš lido ar nelielu ātrumu attiecībā pret Zemi, tad viņš noteiks, ka astronoms salauzis kāju pēc radiosignāla noraidīšanas momenta. Protams, ka šāds novērotājs ieradīsies uz Zemes daudz vēlāk, nekā Zeme saņems signālu (varbūt pat pēc dažiem gadsimtiem). Ja šis novērotājs no planētas X pēc sava pulksteņa aprēķinātu signāla noraidīšanas laiku, viņš konstatētu, ka signāls pārraidīts ievērojami agrāk, nekā astronoms salauzis savu kāju. Ja reizē ar pirmo novērotāju planētu X atstāj arī otrs, kas lido ar ātrumu tuvu gaismas ātrumam, tad, nonākot uz Zemes, viņš konstatēs, ka astronoms salauzis kāju vēl pirms signāla noraidīšanas! Kāpēc tā? Skaitot pēc Zemes laika, otrs novērotājs nelido gadsimtiem ilgi, bet tikai mazliet vairāk nekā 10 gadus. Bet, sakarā ar laika palēnināšanos ātrā kustībā, pats novērotājs konstatēs, ka lidojums ildzis tikai dažus mēnešus. Uz Zemes viņam pastāstīs, ka astronoms kāju salauzis nedaudz vairāk kā pirms 3 gadiem, bet pēc otrā novērotāja pulksteņa tas noticis vēl dažus gadus pirms signāla noraidīšanas no planētas X.

Ja otrs kosmonauts lidotu ar gaismas ātrumu (dabiski, tāds pieņēmums praktiski nav iespējams), viņa pulkstenis apstātos pavisam un viņam liktos, ka lidojums noticis momentāni! Visi notikumi, kas risinājies uz Zemes pēdējo 10 gadu laikā, viņa uztverē būs notikuši pirms signāla izsūtīšanas no planētas X. Tā kā pēc speciālās relativitātes teorijas neeksistē neviena izdalīta atskaites sistēma, tad mums nav nekāda pamata par pareiziem uzskatīt tikai viena vai otra novērotāja konstatējumus. Visi aprēķini, kurus izdarījis kosmonauts ātri lidojošā kuģī, ir tikpat likumīgi, tikpat patiesi kā kosmonauta aprēķini lēni lidojošā kuģī. Nav universāla, absolūta laika, kuru izlietojot varētu noteikt pareizo viedokli.

Tātad speciālā relativitātes teorija sagrāva klasisko jēdzienu par absolūto vienlaicību. Ņūtons uzskatīja kā pašu par sevi saprotamu, ka visā kosmosā ir viens uni-

versāls laiks. Tā domāja arī Lorencs un Puankarē, un tāpēc viņi nevarēja vēl pirms Einšteina radīt speciālo relativitātes teoriju. Einšteina genialitāte ļāva viņam saprast, ka nav iespējams izveidot pilnīgi loģisku teoriju, ja neatsakās no universālā kosmiskā laika jēdziena.

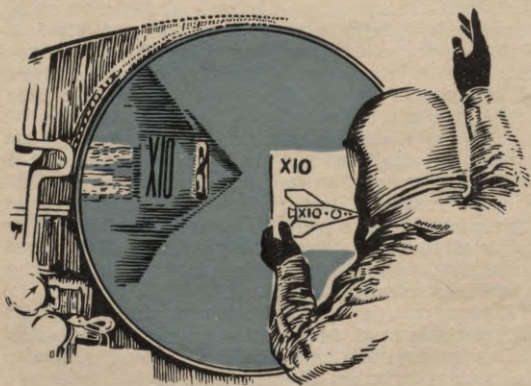
«Pastāv tikai vietējie laiki,» sacīja Einšteins. Tā, piemēram, visi, kas atrodas uz Zemes, lido izplatījumā ar vienu un to pašu ātrumu, tāpēc arī visi pulksteņi parāda vienu un to pašu laiku — Zemes laiku. Tādu Zemei līdzīgu kustīgu objektu vietējo laiku parasti sauc par šo objektu *pašlaiku*. Eksistē tomēr arī absolūtie *līdz* un *pēc* (piemēram, neviens kosmonauts nevar nomirt, ja viņš vēl nav piedzimis), bet, ja notikumi noris lielos attālumos, tad ir gari laika intervāli, kuru robežās nevar noteikt, kurš no notikumiem bija agrāk un kurš vēlāk. Atbilde būs atkarīga no tā, kā kustas novērotājs attiecībā pret šo divu notikumu vietām. Skaidrs, ka viena novērotāja iegūtais rezultāts ir tikpat *īsts*, kā cita novērotāja rezultāts. Tas stingri loģiski izriet no speciālās relativitātes teorijas diviem pamatpostulātiem.

Kad zuda jēga vienlaicības jēdzienam, to zaudēja arī citi jēdzieni. Relatīvs kļuva laiks, jo dažādi novērotāji noteica dažādus laika sprīžus starp diviem notikumiem. Relatīvs kļuva arī garums. Braucoša vilciena garumu nevar noteikt, ja nav precīzi zināms, kur vienā un tajā pašā momentā atrodas vilciena sākuma un beigu gals. Ja kāds novērotājs jums ziņotu, ka plkst. 13⁰⁰ vilciena priekšgals bija tieši pretim viņam, bet beigu gals 1 km attālumā no viņa kaut kādā momentā starp plkst. 12⁵⁹ un 13⁰¹, tad skaidrs, ka nav iespējams noteikt šā vilciena īsto garumu. Citiem vārdiem sakot, precīzi noteikt vienlaicību ir būtiski svarīgi, lai varētu izmērīt kustīga objekta attālumu un garumu. Ja precīzu vienlaicību nevar noteikt, tad kustīga objekta garums kļūst atkarīgs no izvēlētajā atskaites sistēmas.

Tā, piemēram, ja relatīvi viens pret otru pārvietojas divi kosmiskie kuģi, tad šajos kuģos esošie novērotāji redzēs otru kuģi saīsinātu kustības virzienā. Kustoties ar parastiem ātrumiem, šī saīsināšanās ir ļoti, ļoti maza.

Zeme attiecībā pret Sauli kustas ar ātrumu 30 km/s. Ja novērotājs atrastos relatīvā miera stāvoklī attiecībā pret Sauli, Zemes diametrs viņam liktos saīsinājies tikai par dažiem centimetriem. Ja turpretim ātrumi kļūtu ļoti lieli, palielinātos arī izmaiņas. Izrādījās, ka izmaiņu aprēķināšanai noder tā pati formula, ko deva Ficdzeralds un Lorencs, lai izskaidrotu Maikelsona — Morleja eksperimentu. Relativitātes teorijā šī saīsināšanās joprojām nosaukta par Lorencs — Ficdzeralda kontrakciju, lai gan būtu vairāk saprotams, ja to sauktu Einšteina vārdā, kurš šai formulai deva pareizo interpretāciju.

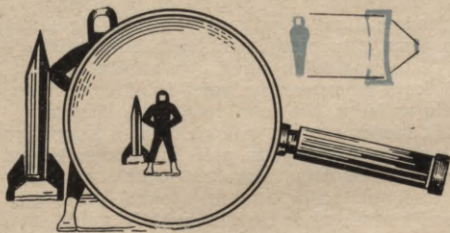
Lorencs un Ficdzeralds saīsināšanos uzskatīja par fizikālu izmaiņu, ko rada ētera vēja spiediens, bet Einšteins to saistīja tikai ar mērījumu rezultātiem. Ja apskatītā gadījumā katrs kosmonauts, atrodoties kustošā kosmiskajā kuģī, izmērītu otra kuģa garumu, viņš atrastu, ka tas ir kļuvis īsāks, bet tajā pašā laikā nenovērotu sava kuģa un tajā atrodošos priekšmetu garuma izmaiņu. Ficdzeralds tomēr turpināja uzskatīt, ka kustīgiem ķermeņiem ir absolūti tā saucamie *miera garumi*. Kad ķermeņi saīsinās, *īsto* garumu tiem vairs

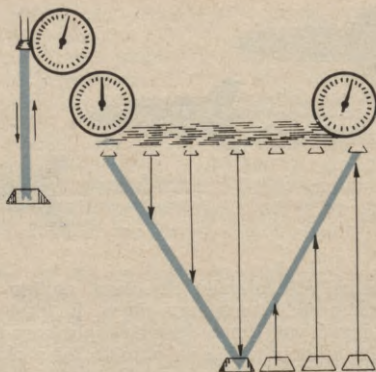




nav. Einšteins, atteikdamies no ētera, parāda, ka absolūtā garuma jēdzienam nav jēgas. Ir tikai tas garums, kas iegūts mērījumu rezultātā, pie kam tas mainās atkarībā no novērotāja un objekta relatīvā ātruma.

Jūs jautāsiet, kā tas iespējams, ka katrs no kuģiem ir īsāks par otru? Jūs uzdodat nepareizu jautājumu. Teorija neaplicina, ka katrs no kuģiem ir īsāks par otru, bet tā tikai norāda, ka tad, ja kosmonauts katrā no kuģiem mēģinātu izmērīt otra kuģa garumu, viņš konstatētu, ka otrais kuģis kļuvis īsāks. Tās ir pavisam dažādas lietas. Ja divi vienāda auguma cilvēki nostātos lielas abpusēji ieliektas lēcas abās pusēs, katrs no viņiem caur lēcu redzētu otru cilvēku mazāku par sevi. Bet tas taču nenozīmē, ka kāds no viņiem ir kļuvis mazāks par otru!





Apskatījām šķietamo garuma maiņu, Izrādās, ka tāpat šķietami mainās arī laiks. Katram no kosmonautiem liksies, ka pulkstenis otrā kuģī iet lēnāk. To var pierādīt ar šādu vienkāršu iedomātu eksperimentu. Uzskatiet sevi par novērotāju, kurš caur sava kuģa borta lūku ieskatās otrā kuģa atvērtajā lūkā. Šajā laikā kuģi lido viens otram garām ar pastāvīgu ātrumu, kas tuvs gaismas ātrumam. Momentā, kad kuģi ir tieši blakus, otrajā kuģī virzienā no griestiem uz grīdu laiž gaismas staru. Tas atstarojas no spoguļa un iet atpakaļ virzienā uz griestiem. Jums šī gaismas stara ceļš atgādinās burtu V. Ja jums būtu pietiekami jutīgi laika mērītāji (protams, tādu pagaidām nav), jūs varētu noteikt laika sprīdi, kurā gaismas stars noiet šo V veida ceļu. Izdalot ceļu ar laiku, jūs noteiktu gaismas ātrumu.

Tālāk pieņemsim, ka tajā pašā laikā kosmonauts otrajā kuģī arī izdara tādu pašu mērījumu. Viņam sava kuģis ir kā nekustīga atskaites sistēma, un tāpēc gaismas stars noiet ceļu turp un atpakaļ pa taisni. Acīm redzot šis attālumš ir mazāks nekā V veida ceļš, kuru



novērojat jūs. Izdalot šo ceļu ar laika sprīdi, kurā stars noiet turp un atpakaļ, arī viņš noteiks gaismas ātrumu. Tam jābūt tādām pašām kā jūsu iegūtam — 300 000 km/s, jo gaismas ātrums ir nemainīgs lielums visiem novērotājiem. Taču viņa eksperimentā gaismas stars noiet īsāku ceļu, tātad, lai gaismas ātruma mērījums būtu tas pats, ir jāpieņem, ka viņa pulkstenis gājis lēnāk. Viss attiecīgi būs tāpat, ja otrais kosmonauts novēros jūsu kuģi. Tad viņš savukārt secinās, ka atpaliek jūsu pulkstenis.

Tas, ka šo mulsinošo garuma un laika izmaiņu sauc par *šķietamu*, nenozīmē, ka ir arī *īstais* garums un laiks, kurš dažādiem novērotājiem tikai šķiet dažāds. Garums un laiks ir relatīvi jēdzieni, un tiem ir jēga tikai kopumā ar novērotāju un objektu. Nevaru teikt, ka viena mērījumu sistēma ir patiesa, bet otra kļūdaina. Katra sistēma ir patiesa attiecībā pret novērotāju, kurš izdara mērījumu: attiecībā pret viņa paša atskaites sistēmu. Nevar uzskatīt, ka viens no mērījumiem ir pareizāks par otru. Visi šie novērošanas rezultāti nav nekāda optiska ilūzija, kas būtu jānoskaidro psihologam. Ja dzīvus novērotājus aizvietotu ar reģistrējošiem aparātiem, iegūtu tādas pašas mērījumus.

Minētiem relatīviem lielumiem jāpievieno arī masa, bet par to un citiem jautājumiem runāsim nākošajā nodaļā.

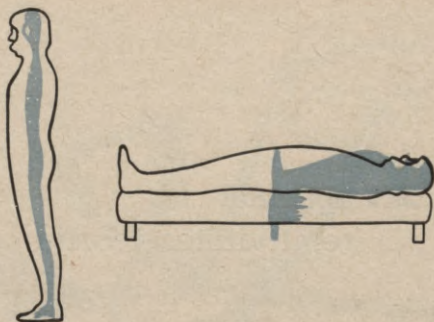


4. Speciālā relativitātes teorija

II daļa

Kā jau redzējām, garums un laiks ir relatīvi lielumi. Ja viens otram pretī ar nemainīgu ātrumu lidotu divi kosmiskie kuģi, abiem kosmonautiem liktos, ka otrs kosmonauts savā kuģī kustas lēnāk un ir stipri novājējis. Kad abu kuģu relatīvais ātrums būs pietiekami liels, tad otra kosmonauta kustības liksies palēninātas, gluži kā aktiera kustības palēninātā kinofilmā. Palēninātas būs arī visas kustības, kas periodiski atkārtojas — svārsta kustība pulksteņos, sirdspuksti, atomu svārstības utt. Ievērojamais angļu astronoms Arturs Edingtons, kurš bija viens no pirmajiem, kā arī konsekventākajiem Einšteina sekotājiem, sacīja, ka kosmonautam liksies, ka pat aizdegts cigārs otrā kuģī degs ilgāk. Ja divus metrus garš kosmonauts horizontāli lidojošā kuģī stāvēs, viņš izskatīsies gan divus metrus garš, bet būs saplacis kustības virzienā. Turpretim, ja viņš atgulsies kuģa kustības virzienā, tad platums izskatīsies dabisks, bet garums būs it kā saīsinājies.

Protams, visu novērot tā, kā mēs apskatījām, nav iespējams pat tad, ja kosmisko kuģu ātrums tik liels, ka aprakstītās izmaiņas varētu pamanīt. Šādus novērojumus nevarētu izdarīt dažādu tehnisku iemeslu dēļ. Rakstnieki, izskaidrojot relativitātes teoriju, bieži apskata efektīvus vienkāršākus piemērus. Un tomēr šīs krāsainās ilustrācijas mums nevar parādīt visas tās



izmaiņas, kuras tiešām varētu novērot vai nu cilvēka acs, vai jebkurš registrējošs aparāts. Principā šādas izmaiņas varētu konstatēt kosmonauti, izdarot mērījumus ar pietiekoši jutīgiem aparātiem.

Runājot par garuma un laika izmaiņu, jārunā arī par relatīvām masas izmaiņām. Nepretendējot uz precīzu definīciju, var teikt, ka masa ir ķermeņa vielas daudzuma mērs.

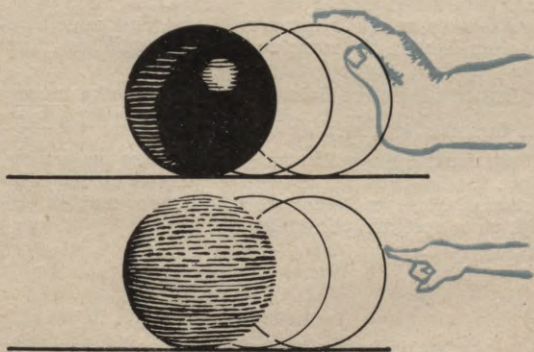
Ja salīdzinām divas vienāda izmēra svina un korķa lodītes, tad skaidrs, ka lielāka vielas koncentrācija ir svina lodītē, jo tā ir masīvāka.

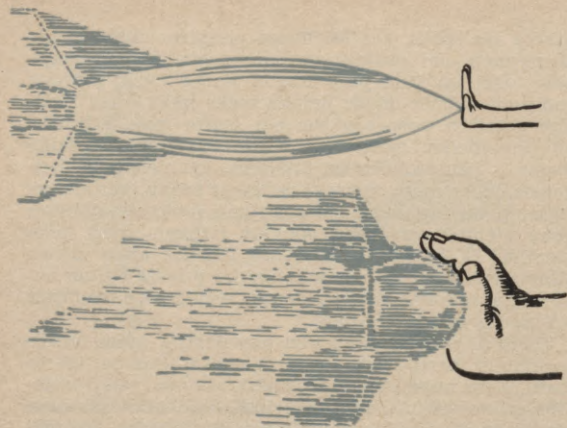
Ķermeņa masu var noteikt divējādi — ķermeni var nosvērt vai arī noteikt spēku, kas dotajai masai var piešķirt noteiktu paātrinājumu. Pēc pirmās metodes iegūtie rezultāti nav sevišķi precīzi, jo tie ir atkarīgi no smaguma spēka dotajā vietā. Augstā kalnā svina lodīte svērs mazāk nekā kalna pakājē, lai gan lodītes masa neizmainās. Uz Mēness šāda lodīte svērs ievērojami mazāk, bet uz Jupitera ievērojami vairāk nekā uz Zemes.

Izmantojot otru metodi, iegūtie rezultāti nav atkarīgi no tā, kur veic mērījumus — uz Zemes, Mēness vai Jupitera. Un tomēr tad radīsies arī citi rezultāti. Lai tādā veidā noteiktu kustoša ķermeņa masu, mums ir jā-

izmēra tas spēks, kas šai masai piešķirtu noteiktu paātrinājumu. Lai piedotu vienādu paātrinājumu lielgabala lodei un tāda paša izmēra korķa lodei, pirmajā gadījumā jālieto daudz lielāks spēks nekā otrā. Tādējādi noteikto masu saucim par *inerto masu* atšķirībā no *gravitācijas masas* vai svara. Eksperimenta laikā mums ir jāmēra laiks un attālums, jo, piemēram, lielgabala lodes masa jāizsaka ar kādu spēku, kas nepieciešams, lai izmainītu lodes ātrumu (noietais attālums laika vienībā) par kādu noteiktu lielumu vienā laika vienībā. Tā kā pēc relativitātes teorijas laika un attāluma mērījumi mainās atkarībā no priekšmeta un novērotāja relatīvā ātruma, varam secināt, ka mainīsies arī inertās masas mērījumi.

Tālāk 6. nodaļā apskatīsim gravitācijas masu un tās saistību ar inerto masu. Pašreiz runāsim tikai par inerto masu, kuru novērotājs var izmērīt. Ja novērotāji attiecībā pret objektu ir miera stāvoklī, objekta inertā masa nemainās atkarībā no objekta kustības ātruma. Tā, piemēram, ja kosmiskā kuģa kabīnē atrodas zilonis, tad kuģa kosmonauts, izmērot ziloņa inerto masu, konstatēs, ka tā nav atkarīga no kuģa ātruma. Tādu nemainīgu masu sauc arī par *miera masu*. Ja šī ziloņa





inerto masu izmērīs kāds uz Zemes, tā mainīsies. Šādu kustoša ķermeņa (attiecībā pret novērotāju) inerto masu sauc par *relatīvistisko*. Miera masa nemainās nekad, taču relatīvistiskā masa mainās. Šo masu mērījumi faktiski ir inertās masas mērījumi. Šajā nodaļā apskatīsim tikai inerto masu un tālāk to apzīmēsim vienkārši ar vārdu *masa*.

Visu triju mainīgo lielumu — garuma, laika un masas formulās ir viena un tā pati izteiksme $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Līdzīgi mainās arī pulksteņa gaitas ātrums un garums, tāpēc šos lielumus var noteikt pēc vienas un tās pašas formulas. Masa un laika intervālu ilgums mainās pretēji, un to aprēķina pēc izteiksmes:

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Ja novērotājs kustas vienmērīgi attiecībā pret kādu

ķermeņi, tad viņš šī ķermeņa relativistisko masu m var noteikt pēc formulas:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

kur m_0 — ķermeņa miera masa, v — relatīvais ātrums.

Tā, piemēram, pieņemsim, ka divu vienādu kosmisko kuģu relatīvais ātrums ir 260 000 km/s. Abi kosmonauti uzskatīs, ka otrais kuģis ir kļuvis divas reizes īsāks, ka pulksteņi tajā iet divas reizes lēnāk, ka stundas ilgums un kuģa masa ir divas reizes palielinājušies. Tajā pašā laikā viņi šīs parādības savā kuģī nenovēros.

Bet, ja kosmiskie kuģi kustētos ar relatīvo ātrumu, kas vienāds ar gaismas ātrumu, tad katram kosmonautam liktos, ka otrā kuģa garums ir samazinājies līdz nullei, ka tas ir ieguvis bezgalīgi lielu masu un ka laiks uz tā ir pilnīgi apstājies!

Ja ķermeņa inertā masa neizmainītos šādā veidā, nepārtrauktā spēka iedarbībā (piemēram, spēka, kas atīstās raķešu dzinējos) ķermeņa ātrums palielinātos un pat pārsniegtu gaismas ātrumu. Tomēr tas nevar notikt, jo vienlaicīgi ar ātruma pieaugumu (kā liekas novērotājam uz Zemes) tajā pašā proporcijā pieaug arī kuģa relativistiskā masa, samazinās kuģa garums un pieaug laiks. Kad kuģa garums būs samazinājies 10 reizes, tā relativistiskā masa būs tikpat reizi palielinājusies. 10 reizes lielāka kļūs kuģa pretestība un, lai iegūtu tādu pašu ātruma pieaugumu kā mierā stāvošam kuģim, būs nepieciešams 10 reizes lielāks spēks. Tātad — gaismas ātrumu sasniegt nevarēs nekad. Tādā gadījumā katrs kosmonauts konstatētu, ka otra kuģa garums ir nulle, masa bezgalīgi liela un kuģa raķešu dzinēji strādā ar bezgalīgi lielu spēku. Kuģa iekšpusē kosmonauti nekādas izmaiņas nenovērotu, bet konstatētu, ka kosmoss kustētos tiem garām ar gaismas ātrumu, kosmiskais laiks liktos apstājies, jebkura zvaigzne izskatītos saplacināta kā disks un bezgalīgi masīva.

Tikai zinātniski fantastisko stāstu autori uzdrošinās parādīt to, ko redzētu kosmonauti, ja tie lidotu ar ātrumu, lielāku par gaismas ātrumu. Var būt, ka kos-



moss izliktos apgriezts otrādi un pārvērties savā spoģuļattēlā, zvaigznēm būtu negatīva masa, bet kosmiskais laiks ietu atpakaļ. Tādu fantāziju ar speciālās relativitātes teorijas formulām pierādīt nevar. Ja tiktu pārniegts gaismas ātrums, tad formula garumam, laikam un masai dotu tādas vērtības, kuras matemātiķu valodā sauc par imagināriem skaitļiem. Tie ir skaitļi, kurus iegūst, velkot kvadrātsakni no negatīviem skaitļiem. Kas var dot atbildi? Varbūt kuģis, kas pārvarētu gaismas barjeru un ielidotu tieši burvja Gudvina valstī.

Uzsākot relativitātes teorijas studijas, studenti bieži nesaprot, kāpēc tomēr runā par ātrumiem, lielākiem

par gaismas ātrumiem, ja gaismas ātrums ir pats lielākais ātrums. Lai to noskaidrotu, ievēdīsim terminu *inerciāla atskaites sistēma* (saka arī *inerciāla sistēma* vai *Galileja sistēma*). Ja, piemēram, kosmiskais kuģis kustas vienmērīgi, tad saka, ka tas un līdz ar to arī visi pārējie ķermeņi, kuri kustas ar to pašu ātrumu un tajā pašā virzienā (piemēram, visi ķermeņi kuģa iekšpusē) ir saistīti ar vienu un to pašu inerciālo atskaites sistēmu. Tā būtu tāda Dekarta koordinātu sistēma, ar kuru saistīts šis kosmiskais kuģis. Ja nav noteiktas inerciālas atskaites sistēmas, speciālo relativitātes teoriju pielietot nevar, un var sasniegt ātrumus, kas lielāki par gaismas ātrumu.

Apskatīsim vienkāršu piemēru. Pāri mums austrumu virzienā lido kosmiskais kuģis ar ātrumu, kas vienāds ar trim ceturtdaļām gaismas ātruma. Arī pretējā virzienā ar tādu pašu ātrumu lido otrs kosmiskais kuģis. Pēc mūsu atskaites sistēmas, kas saistīta ar Zemes inerciālo atskaites sistēmu, šo kuģu relatīvais ātrums satikšanās brīdī pusotras reizes pārsniedz gaismas ātrumu. Ar tādu ātrumu tie tuvojas viens otram, tad attālinās. To relativitātes teorija nenoliedz. Taču speciālā relativitātes teorija nosaka, ka, ja jūs lidotu vienā no šiem kosmiskajiem kuģiem un aprēķinātu kuģu relatīvo ātrumu, jūs konstatētu, ka tas ir mazāks par gaismas ātrumu.

Lai gan šajā grāmatīņā nav pielietotas matemātiskas formulas, tomēr bez jau minētās Lorenca kontrakcijas izteiksmes jāmin vēl viena ļoti vienkārša izteiksme. Ja viena kuģa ātrums attiecībā pret Zemi būtu v , bet otra — u , tad novērotājam uz Zemes to savstarpējais relatīvais ātrums būs $v+u$. Bet, ja novērotājs atrodas vienā no šiem kuģiem, tad savstarpējo relatīvo ātrumu viņš iegūs no izteiksmes

$$\frac{v+u}{1+\frac{vu}{c^2}},$$

kur c — gaismas ātrums.

Ja abu kuģu ātrumi v un u ir mazi, salīdzinot ar gaismas ātrumu, tad no šīs izteiksmes praktiski iegūsim

tādu pašu rezultātu kā novērotājs uz Zemes, tas ir, $v+u$. Taču, ja v un u ir lieli, tad izteiksme dos pavisam citu rezultātu. Apskatīsim robežgadījumu — ja viens otram pretim kustētos divi gaismas stari. Novērotājs uz Zemes konstatēs, ka to savstarpējais relatīvais ātrums ir $2c$, tas ir, divas reizes lielāks nekā gaismas ātrums. Ja turpretim novērotājs pats kustētos reizē ar vienu no stariem, tad viņš, aprēķinot otrā gaismas stara relatīvo ātrumu, iegūs šādu izteiksmi:

$$\frac{c+c}{1+\frac{c^2}{c^2}}$$

To aprēķinot, iegūsim tikai lielumu c , tātad attiecībā pret novērotāju otrais stars virzītos ar gaismas ātrumu.

Pieņemsim, ka virs novērotāja vienā virzienā iet gaismas stars, bet pretējā — kosmiskais kuģis ar ātrumu v . Zemes inerciālā atskaites sistēmā kuģis un gaismas stars viens otram iet garām ar ātrumu $v+c$. Bet kāds būs gaismas stara ātrums, ja to izmērīs ar kuģi saistītā interciālā atskaites sistēmā novērotājs uz kuģa? Rezultātu var viegli aprēķināt — tas būs vienāds ar c .

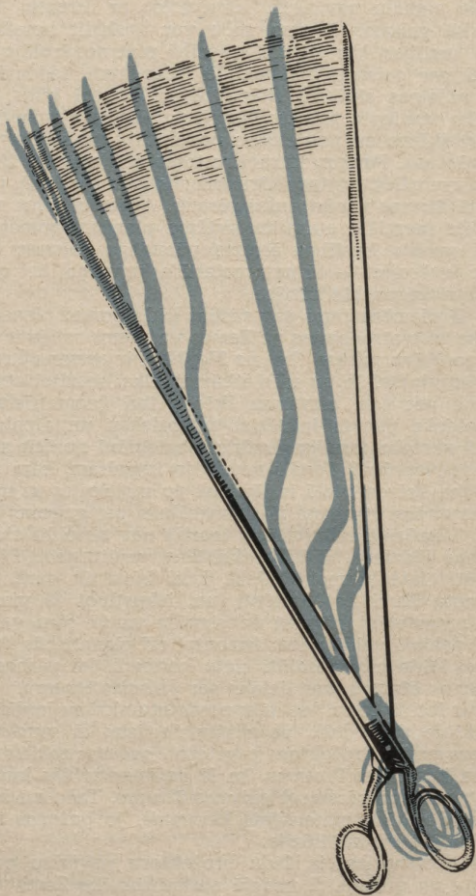
Lai gan speciālo relativitātes teoriju var attiecināt tikai uz inerciālām atskaites sistēmām, tomēr arī ārpus šīs teorijas ietvariēm var runāt par kādu galīgu ātruma robežu — tas ir, gaismas ātrumu. Tad ir jāformulē citādi — nav iespējams pārraidīt signālu no viena materiāla ķermeņa uz citu ar ātrumu, kas lielāks par gaismas ātrumu. Jēdziens *signāls* šeit jāsaprot visplašākā nozīmē. Tas ietver jebkuru nosūtītāja un saņēmēja sakaru saiti, piemēram, fizikāla objekta nosūtīšana, jebkura enerģijas veida pārvešana (skaņas viļņu, elektromagnētisko viļņu, triecienviļņu cietos ķermeņos utt.). Uz Marsu nevar nosūtīt ziņojumu ar ātrumu, kas lielāks par gaismas ātrumu. To nevar arī izdarīt, nosūtot vēstuli ar raķeti, jo, kā jau iepriekš redzējām, raķetes ātrums būs vienmēr mazāks par gaismas ātrumu. Ja uzrakstītu kodētu ziņojumu un noraidītu ar radio vai radaru, tas ietu ar gaismas ātrumu. Nav cita ātrāka kodēta ziņojuma pārsūtīšanas veida.

Tādu signālu nav, kuri pārvietotos ar ātrumu, lielāku kā gaismas ātrums, taču var apskatīt noteikta veida kustības, kur ātrumi attiecībā pret novērotāju ir lielāki par gaismas ātrumu. Tā, piemēram, iedomāsimies milzīgas atvāztas šķēres, kuru asmeņi būtu tik gari, ka sasniegtu planētu Neptūnu. Sāksim vienmērīgi aizvērt šķēres un novietosim novērotāju uz šķēru nekustīgās ass. Punkts, kurā krustojas abi asmeņi, šķērēm aizveroties, kustas šķēru asmens galu virzienā, pie kam tā ātrums nepārtraukti pieaug. Attiecībā pret novērotāja inerciālo atskaites sistēmu pienāks moments, ka šī punkta kustības ātrums pārsniegs gaismas ātrumu. Ievērojiet — tā nav materiāla ķermeņa, bet gan geometriskā punkta kustība.

No šī piemēra jums var rasties šāda doma: pieņemsim, ka mēs atrodamies uz Zemes un mums rokās ir šo milzīgo šķēru rokturi, bet uz Neptūna ir asmeņu krustošanās punkts. Ja nu mēs atkārtoti tikai mazliet atveram un pēc tam aizveram šķēres, tad ģeometriskais krustošanās punkts kustēsies uz priekšu un atpakaļ. Vai tā nerodas iespēja gandrīz momentāni nosūtīt signālu uz Neptūnu? Tomēr nevar, jo impulsam, kam jāiekustina šķēres, vielā ir jāpāriet no molekulas uz molekulu un šim ātrumam jābūt mazākam par gaismas ātrumu. Vispārīgā relativitātes teorijā nav absolūti cieta ķermeņa jēdziena. Ja tāds eksistētu, varētu ņemt šādu absolūti cieta ķermeņa stieni, kurš būtu tik garš, ka savienotu Zemi ar Neptūnu, un, iekustinot tā vienu galu, momentāni pārnest šo signālu uz tā otru galu. Tātad nekādā veidā nevar izmantot arī gigantiskās šķēres vai kādu citu absolūti cietu ķermeni, lai pārnestu signālu ar ātrumu, kas lielāks par gaismas ātrumu.

Ja uz ļoti lielu un ļoti tālu novietotu ekrānu laidīsim prožektora staru kūli, uz ekrāna iegūsim tā saucamo *gaismas zaķīti*. Prožektoru pagriežot, *gaismas zaķītis* uz ekrāna kustēsies. Protams, ka šī *gaismas zaķīša* kustības ātrums var pārsniegt gaismas ātrumu. Taču arī šeit nekustas nekāds materiālais ķermenis, jo *gaismas zaķīša* kustība ir tikai ilūzija.

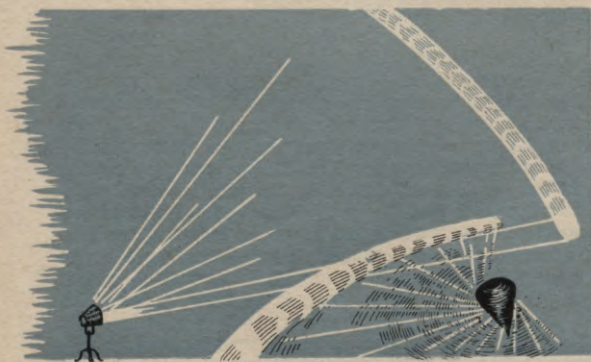
Tas pats notiks, ja šādu prožektoru pavērstu pret Visumu un grieztu. 5. nodaļā apskatīsim, ka Zemi var



uzskatīt arī par nerotējošu atskaites sistēmu. Tādā gadījumā Visuma zvaigžņu kustības ātrums ap Zemi ir daudz lielāks par gaismas ātrumu. Kā aprēķinājis kāds astronoms, tad tādā gadījumā zvaigzne, kura no mums atrodas tikai 10 gaismas gadu attālumā, griežas ap Zemi ar ātrumu, divdesmit reīzu lielāku par gaismas ātrumu. Lai redzētu, kā tiek pārvarēta šāda *ģeometriskā* gaismas barjera, nemaz nav jānovēro zvaigznes. Pat bērns, griežot vilciņu, var piedot Mēness rotācijai tādu ātrumu (attiecībā pret koordinātu sistēmu, kas saistīta ar vilciņu), kas būs daudz lielāka par 300 000 km/s.

10. nodaļā apskatīsim kādu populāru teoriju par Visumu, pēc kuras Visuma tālās galaktikas var attālināties no Zemes ar ātrumu, kas lielāks par gaismas ātrumu. Un tomēr visi šie piemēri nav pretrunā ar relativitātes teorijas apgalvojumu, ka, pārraidot signālus no viena materiāla ķermeņa uz otru, gaismas ātrums ir galējā barjera.

Īsi aplūkosim vēl vienu speciālās relativitātes teorijas secinājumu — noteiktos apstākļos enerģija var pārveidoties par masu, bet dažos citos apstākļos — masa par enerģiju. Agrāk fiziķi uzskatīja, ka Visumā



nekad nemainās pilnās masas un pilnās enerģijas daudzums. To izteica gan masas, gan enerģijas *saglabāšanās* likumi. Tagad šos abus likumus sauc vienkārši par *masas-enerģijas saglabāšanās* likumu.

Kad raķetes dzinēji dzen kosmisko kuģi, daļa enerģijas tiek izmantota, palielinot kuģa relativistisko masu. Ja kafijas kannai pievada siltumu (paātrina tās molekulas), tās saturs tiešām svērs nedaudz vairāk nekā pirms sildīšanas. Kad kafijas kanna atdzisis, tās masa samazināsies. Uzvelkot pulksteni, mēs pievadām tam enerģiju, un tāpēc tā masa nedaudz palielināsies. Kad pulkstenis būs izlietojis pievadīto enerģiju, tas apstāsies, un arī šī papildmasa pazudīs. Visos šajos piemēros masas samazināšanās un palielināšanās ir tik bezgalīgi maza, ka parastos fizikālos aprēķinos to neņem vērā. Bet, ja tiek uzspridzināta ūdeņraža bumba, tad šī masas pārvēršanās enerģijā nav nemaz tik maza!

Bumbas sprādzienā daļa masas momentāni pārvēršas enerģijā. Tas pats notiek arī ar Saules enerģiju. Pateicoties milzīgam smaguma spēkam uz Saules, gāzveida ūdeņradis Saules iekšpusē ir tik ļoti saspiests un sakarsēts līdz tik augstai temperatūrai, ka no ūdeņraža atomiem rodas hēlijs. Šādā procesā neliels masas daudzums pārvēršas enerģijā pēc šādas pazīstamas formulas:

$$e = mc^2,$$

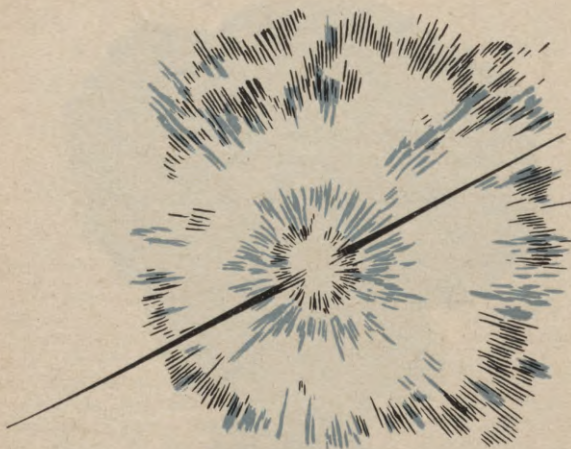
kur e — enerģija, m — masa, c — gaismas ātrums.

Šādu izteiksmi deva Einšteins speciālajā relativitātes teorijā. Veicot aprēķinus pēc šīs formulas, var pārliectināties, ka ļoti mazi masas daudzumi var atbrīvot milzīgus enerģijas daudzumus. Bez Saules enerģijas nebūtu dzīvības uz Zemes, tāpat šī formula zināmā mērā ietekmē arī dzīvību. Var jau būt, ka arī dzīvības izbeigšanos uz Zemes varēs raksturot ar šo formulu. Bez pārspilējuma var teikt, ka problēma — tikt galā ar šo baismīgo faktu (kurš izriet no šīs formulas) — ir pati svarīgākā no visām tām, kuras ir jebkad bijušas cilvēcei.

Taču ūdeņraža bumba ir tikai viens no daudzajiem piemēriem, kuri pierāda speciālo relativitātes teoriju.



Eksperimentāli to sāka pierādīt jau tūlīt pēc tam, tikko
paspēja nožūt tinte uz Einšteina 1905. gadā uzrakstītās
publikācijas. Taču tagad Einšteina relativitātes teorija
ir viena no mūsdienu eksperimentāli vislabāk pamato-
tajām teorijām. To katru dienu turpina apstiprināt
atomu pētnieki, kuri strādā laboratorijās ar daļiņām,
kas kustas ar ātrumiem, tuvu gaismas ātrumam. Jo lie-
lāks ir šo daļiņu kustības ātrums, jo lielāks spēks ne-
pieciešams to paātrināšanai, lai gan ātrums izmainās



tikai par vienu un to pašu lielumu, tātad jo lielāka šo daļiņu relativistiskā masa. Tikai ievērojot to, fiziķi var konstruēt arvien lielākas iekārtas daļiņu paātrināšanai. Daļiņas masa palielinās it sevišķi tad, ja tās ātrums tuvojas gaismas ātrumam, tāpēc tās paātrināšanai nepieciešami arvien spēcīgāki lauki. Tā, piemēram, elektronus jau var paātrināt līdz ātrumam, kas ir 0,999 999 999 no gaismas ātruma. Pie tāda ātruma elektrona masa ir apmēram tūkstoš reižu lielāka (attiecībā pret Zemes inerciālo atskaites sistēmu) par tā miera masu.

Ja kāda no daļiņām satiekas ar savu antidaļiņu (daļiņa ar tieši tādu pašu struktūru, tikai ar pretēju lādiņu), tad notiek pilnīga to anihilācija. Abu daļiņu kopējā masa pilnīgi pārvēršas izstarojuma enerģijā. Šādu procesu laboratorija pagaidām var redzēt tikai ar dažām daļiņām. Ja kādreiz fiziķiem izdosies radīt anti- vielu (viela, kas sastāv no antidaļiņām), tad varēs sasniegt pilnību atomenerģijas izmantošanā. Paņemot līdzi

kosmiskā kuģī antiviēlu un ar magnētisko lauku lokalizējot to telpā, varētu mazos daudzumos to savienot ar vielu un iegūt nepieciešamo enerģiju, lai kuģis varētu ceļot uz zvaigznēm.

Eksperimenti tik pilnīgi pierāda speciālo relativitātes teoriju, ka tagad būtu grūti atrast tādu fiziķi, kas šaubītos par šīs teorijas pareizību.

Vienmērīga kustība ir relatīva. Bet, lai varētu teikt, ka tāda ir jebkura kustība, ir jāpārvar pēdējais šķērslis — inerce. Kāds ir šis šķērslis un kā to pārvarēja Einšteins, redzēsīm 5. nodaļā.



5. Vispārīgā relativitātes teorija

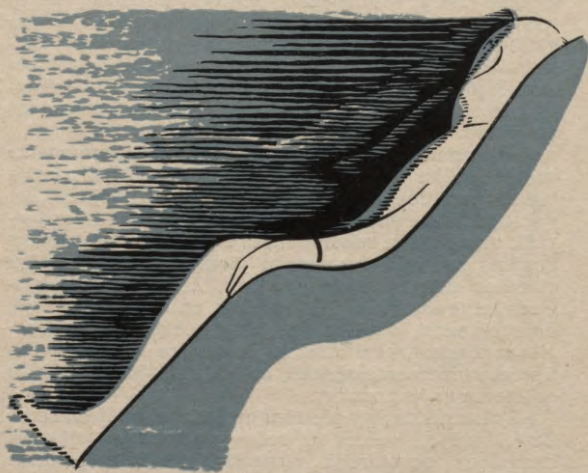
2. nodaļas sākumā jau apskatījām, ka ir divi ceļi, kā noteikt absolūto kustību: mērīt to attiecībā pret gaismas staru vai izmantot inerces parādības, kuras rodas, paātrinot ķermeni. Pirmā ceļa neiespējamību jau pierādīja Maikelsona — Morleja eksperiments, bet Einšteina speciālā relativitātes teorija noskaidroja tās cēloni. Šajā nodaļā pievērsīsimies otrai metodei — absolūto kustību centīsimies noteikt, izmantojot inerces parādības.

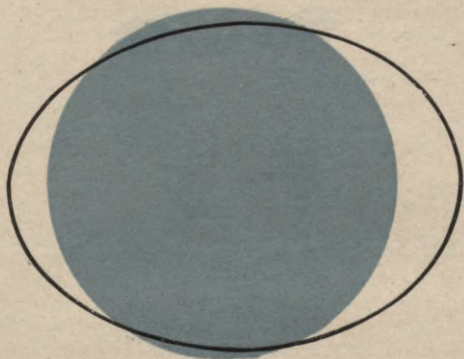
Kad kosmiskais kuģis kustas paātrināti, kosmonauts ar lielu spēku tiek iespiests savā krēslā. Tā ir parasta inerces parādība, kuru izraisa raķetes paātrinājums. Bet vai šī parādība pierāda raķetes kustību? Lai varētu pierādīt visu kustību relativitāti, tajā skaitā arī paātrinātas kustības relativitāti, raķete ir jāuzskata par nekustīgu atskaites sistēmu. Tādā gadījumā Zeme un visa kosmosa telpa kustēsies it kā projām no raķetes. Bet vai, visu to redzot, varēsīm izskaidrot spēku, kas iedarbojas uz kosmonautu? Atbilde ir skaidra — spēks, kas iespiež kosmonautu sēdekli, noteikti pierāda, ka kustas raķete un nevis kosmos.

Kā otru raksturīgu piemēru apskatīsim rotējošo Zemi. Zemei rotējot, inerces dēļ rodas centrālās spēks, un Zemeslode ekvatoriālā virzienā izplešas (saplacinās

starp poliem). Ja jebkuru kustību uzskata par relatīvu, vai var pieņemt Zemi par nekustīgu atskaites sistēmu un uzskatīt, ka kosmoss griežas ap to? Protams, ka to tā varētu iedomāties, bet kā tad izskaidrot Zemes izplešanās ekvatoriālā virzienā? Tieši tas pierāda, ka griežas pati Zeme un nevis Visums. Jāatzīmē, ka vēl joprojām starp astronomiem nav vienprātības par to, vai Zemes saplacināšanās ir notikusi agrākajos ģeoloģiskos laikmetos, kad Zemes viela bijusi plastiskāka vai šī saplacināšanās raksturīga Zemei arī pašreiz? Tā paliktu arī tad, ja Zeme vairāk negrieztos. Pilnīgi skaidrs ir tikai viens, ka tas noticis centrālās spēku ietekmē.

Līdzīgi ir arī Ņūtona spriedumi par to, ka kustība nav relatīva. Kā piemēru viņš apskata ap vertikālu asi rotējošu spaini, kurā ieliets ūdens. Centrālās spēka dēļ ūdens virsmas līmenis spainī ieliecas, un pie lie-





lākiem ātrumiem ūdens var pat izšļakstīties pāri spaiņa malai. Nevar taču pieņemt, ka šajā gadījumā ūdeni tā iespaido rotējošais Visums, tātad, secina Ņūtons, jāpieņem, ka spaiņa griešanās ir absolūta.

Speciālā relativitātes teorija jau bija publicēta, bet vēl apmēram desmit gadus Einšteins turpināja risināt šīs problēmas. Tajā pašā laikā lielākā daļa fiziķu vispār neuzskatīja to par problēmu. Kāpēc gan vienmērīga kustība nevarētu būt relatīva, kā to nosaka speciālā relativitātes teorija, bet paātrinātā — absolūta? Turpretim Einšteinu tas neapmierināja. Viņš domāja, ka, ja vienmērīga taisnvirziena kustība ir relatīva, tad tādai jābūt arī paātrinātai kustībai. 1916. gadā, tas ir, vienpadsmit gadus pēc speciālās relativitātes teorijas izveidošanas, Einšteins publicē vispārīgo relativitātes teoriju, kas kā speciālu gadījumu ietver sevī arī speciālo relativitātes teoriju.

Vispārīgā relativitātes teorija ir ievērojami lielāks zinātnes sasniegums par speciālo. Nav šaubu, ka speciālo relativitātes teoriju visai drīz būtu radījuši arī citi fiziķi, ja Einšteins nebūtu paspējis to formulēt.



Puankarē bija viens no tiem, kas nonāca ļoti tuvu šim atklājumam. Jau 1904. gadā savā slavenajā runā viņš paredzēja, ka veidosies *pilnīgi jauna mehānika*, kurā nebūs ātrumu, kas sasniegtu gaismas ātrumus, tāpat nebūs temperatūras, zemākas par absolūto nulli. Pēc viņa domām, tiks izveidots relativitātes princips, pēc kura fizikālu parādību likumi noderēs vienmēr — neatkarīgi no tā, vai novērotājs ir miera vai vienmērīgas taisnvirziena kustības stāvoklī, tātad nekad nevarēsim noteikt, kurā no šiem stāvokļiem mēs atrodamies. Tātad Puankarē intuitīvi izprata speciālo relativitātes teoriju, viņš tikai neformulēja savas idejas. Einšteins tajā laikā vēl nezināja, cik tuvu viņa domām ir Puankarē, Lorenca un citu fiziķu atklājumi. Dažus gadus vēlāk, to uzzinājis, Einšteins ļoti augstu novērtēja šo zinātnieku izcilos darbus.

Kas attiecas uz vispārējo relativitātes teoriju, tad te stāvoklis bija pavisam cits. Kā izteicās Tellers, tas bija *lielisks pārsteigums*, apbrīnojami oriģināls un neparasts darbs. Zinātnes pasaulē tas radīja līdzīgu reakciju tai, kāda notika 1962. gadā ASV deju zālēs, kad tajās *ielauzās* pēdējās modes kliedziens — dejas tvists. Einšteins izmainīja laika un telpas *dejas* vecos ritmus. Neticami

īsā laikā katrs fiziķis vai nu *dejoja* šo jauno tvistu, nenoliedzot, ka viņu pārņem baismas, vai sūdzējās, ka ir par vecu, lai iemācītos jauno deju. Protams, ja arī Einšteins nebūtu piedzimis, citi zinātnieki fizikā būtu radījuši šādu pašu tvistu, tikai tad tas būtu noticis pēc vesela gadsimta vai varbūt vēl vēlāk. Zinātnes vēsturē nav daudz tādu teoriju, kuras būtu radījis tikai viens cilvēks.

«Ņūton, lūdzu, piedod man,» būdams jau vecs, rakstīja Einšteins piezīmēs. «Savā laikā tu atklāji to vienīgo ceļu, kas bija visaugstākā cilvēka prāta un radošo spēju robeža.» Tā mūsdienu ģeniālākais zinātnieks parāda cieņu savam ģeniālajam priekšgājējam.

Einšteina vispārīgā relativitātes teorija pamatojas uz tā saucamo ekvivalences principu. Šis princips ir pārsteidzošs apgalvojums (Ņūtons uzskatītu Einšteinu par bezprāti), ka smagums un inerce ir viens un tas pats. Te nav vienkārša runa par līdzīgām parādībām. Smagums un inerce ir divi dažādi termini vienas un tās pašas parādības apzīmēšanai.

Einšteins nebūt nav pirmais zinātnieks, kuru pārsteidza gravitācijas un inerces parādību dīvainā līdzība. Iedomāsimies, ka no viena un tā paša augstuma krīt lielgabala lode un maza koka lodīte un lielgabala lodes svars ir simt reižu lielāks par koka lodītes svaru. Tas nozīmē, ka uz lielgabala lodi darbojas arī simt reižu lielāks smaguma spēks. Viegli saprast, kāpēc Galileja



pretinieki neticēja, ka šādas divas lodītes Zemi sasniegs reizē. Mēs tagad zinām, ka, novēršot gaisa pretestību, tas tiešām tā ir. Lai to izskaidrotu, Ņūtonam bija jāpieņem kaut kas ļoti pārsteidzošs: ar tādu pašu spēku, ar kādu smagums velk lodīti uz leju, tam pretojas lodes inerce. Tik tiešām, lai gan uz lielgabala lodi darbojas simt reižu lielāks smaguma spēks nekā uz koka lodīti, tomēr arī inerce pretojās paštrināšanai simt reižu stiprāk.

Fiziķi parasti to izsaka citādi — smaguma spēks, kas darbojas uz ķermeni, vienmēr ir proporcionāls šī ķermeņa inertajai masai. Ja ķermenis *A* ir divas reizes smagāks par ķermeni *B*, tad arī tā inertā masa ir divas reizes lielāka. Tāpēc, lai ķermenis *A* iegūtu to pašu beigu ātrumu, kāds ir ķermenim *B*, tam jāpieliek divas reizes lielāks spēks. Ja tā nebūtu, tad dažādu svaru ķermeņi kristu ar dažādiem paštrinājumiem.

Viegli var iedomāties tādu pasauli, kurā nepastāvētu šāda proporcionalitāte starp inerci un smaguma spēku. Laikā no Aristoteļa līdz Galilejam zinātnieki tieši tādu arī iedomājās pasauli. Tādā pasaulē mēs justos ļoti labi. Piemēram, mainītos apstākļi krītošā liftā. Tomēr mums ir laimējies, jo dzīvojam tādā pasaulē, kur šie abi spēki ir proporcionāli. Kā pirmais to pierādīja Galilejs. Vēlāk — 1900. gadā ungāru fiziķis barons Rolands fon Etvēšs ar precīzu eksperimentu apstiprināja Galileja novērojumus. Nesen visprecīzāko un vispusīgāko pārbaudi veica grupa Prinstonas universitātes zinātnieku. Precizitātes robežās, kuras viņi varēja sasniegt, gravitācijas masa vienmēr bija proporcionāla inertajai masai.

Protams, Ņūtons zināja par šo pārsteidzošo smaguma un inerces sakarību, kuras dēļ visi ķermeņi krīt ar vienādu paštrinājumu, tomēr viņš to nespēja izskaidrot. Ņūtons uzskatīja, ka tā ir pārsteidzoša sakrišana. Pateicoties tai, ar inerci var izmainīt gravitācijas lauku. Jau pirmajā nodaļā runājām par iespēju radīt mākslīgu gravitācijas lauku toroidālās formas kosmiskajā kuģī (barankas veida), ja tam kā ritenim liek vienkārši rotēt. Centrbēdzes spēks piespiedīs visus ķermeņus kuģa ārējai sienai. Pie noteikta rotācijas ātruma kuģa iekšpusē



būs inerces spēku lauks ar tādu pašu iedarbību, kādi ir Zemes gravitācijas laukam. Tad kosmonauts, pastaigājoties kuglī, jūtīsies tāpat kā uz ieliektas Zemes virsmas. Visi mesti ķermeņi tāpat kritīs uz šīs grīdas, dūmi pacelsies pret griestiem utt. Tātad visas parādības būs tieši tādas kā parastajā Zemes gravitācijas laukā. Tā ilustrācijai Einšteins iesaka šādu domu eksperimentu.

- Iedomāsimies kosmosā liftu, kas kustas uz augšu ar

nepārtraukti pieaugošu ātrumu. Ja paātrinājums būtu nemainīgs un precīzi sakristu ar ķermeņa brīvas krišanas paātrinājumu, cilvēks lifta iekšpusē jutīsies tāpat kā Zemes gravitācijas laukā. Šādā veidā var ne tikai modelēt smagumu, bet arī to neitralizēt. Ja lifts krīt paātrināti Zemes gravitācijas laukā, cilvēks tajā būs bezsvara stāvoklī. Šāds stāvoklis uz Zemes būtu tad, ja $g=0$ (g — brīvas krišanas paātrinājums). Tā būs arī



kosmiskajā kuģī, kamēr tas brīvi kritīs, tas ir, kamēr tā kustība notiks tikai smaguma spēku iespaidā. Šādu bezsvara stāvokli izjuta arī padomju un amerikāņu kosmonauti savos kosmiskajos kuģos, lidojot pa orbītu ap Zemi, jo kuģu dzinēji bija izslēgti un kuģu iekšpusē brīvas krišanas paātrinājums bija nulle. *

Smaguma un inerces lielā līdzība nebija izskaidrota līdz tam laikam, kamēr Einšteins radīja savu vispārīgo relativitātes teoriju. Arī tagad, līdzīgi kā veidojot speciālo relativitātes teoriju, Einšteins nāk klajā ar visvienkāršāko, tajā pašā laikā visdrosmīgāko hipotēzi. Atcerieties viņa pieņēmumu speciālajā relativitātes teorijā — iemesls, kāpēc mēs nemanām ētera vēju, ir tas, ka nekāda ētera vispār nav! Radot vispārīgo relativitātes teoriju, Einšteins saka — smagums un inerce izliekas viens un tas pats tāpēc, ka tas arī tiešām ir viens un tas pats!

* Nav pareizi sacīt, ka brīvi krītošā liftā tiek neitralizēts Zemes pievilksanās spēks. Tas tiek nevis neitralizēts, bet gan likvidēts. Gravitācija te tiešām izzūd. Līdzīgi tam nevar teikt, ka gravitācija modelējas rotējošā kosmiskā kuģī vai paātrinātā augšupejošā liftā. Arī šeit gravitācija nevis modelējas, bet gan rodas. Lai gan šādu gravitācijas lauku raksturo cita matemātiska forma nekā debesu ķermeņu (piemēram, Zemes) gravitācijas lauku, tomēr tas ir parastais gravitācijas lauks. Vispārīgajā relativitātes teorijā, tāpat kā speciālajā relativitātes teorijā, matemātiskais apraksts ir sarežģīts, taču iegūtā rezultāta vērtība to attaisno. Divu dažādu spēku vietā tiek atstāts tikai viens, bez tam vispārīgā relativitātes teorija paredz jaunus secinājumus, kurus eksperimentāli varētu pārbaudīt.

Pēc Einšteina ekvivalences principa — gravitācijas un inerces ekvivalences — visas kustības, arī paātrinātās, var uzskatīt par relatīvām. Kad Einšteina iedomātais lifts kosmosā paceļas paātrināti, tā iekšpusē novēro inerci. Taču teorētiski liftu varam iedomāties arī kā fiksētu nekustīgu atskaites sistēmu. Tādā gadījumā attiecībā pret liftu Visums ar visām savām galaktikām kustētos paātrināti lejup. Tāda paātrināta Visuma kustība rada gravitācijas lauku, kurā visi priekšmeti liftā



tiek piespiesti pie grīdas. Tātad var sacīt, ka visas šīs jaunās parādības ir nevis inerces, bet gravitācijas parādības.

¹ Bet kā tad ir patiesībā? Vai kustas lifts un rodas inerces parādība vai kustas Visums un rodas gravitācijas lauks? Tā jautāt nevar, jo nav taču nekādas īstas, absolūtas kustības. Ir tikai lifta relatīva kustība Visumā. Šī relatīvā kustība rada spēku lauku, kuru apraksta vispārējās relativitātes teorijas vienādojumi. Kā nosaukt spēku lauku — vai par gravitācijas vai inerces, tas ir atkarīgs no atskaites sistēmas izvēles. Ja kā atskaites sistēmu izvēlamies liftu, tad to sauksim par gravitācijas lauku, ja kā atskaites sistēmu izvēlēsimies kosmosu — par inerces lauku. Gravitācija un inerce ir tikai divi dažādi vārdi, kurus lieto vienas un tās pašas parādības apzīmēšanai. Dabiski, ka vienkāršāk un ērtāk par mierā stāvošu atskaites sistēmu ir pieņemt Visumu. Tādā gadījumā neviens vairs nemēģinās lauku lifta iekšpusē nosaukt par gravitācijas lauku. Vispārīgā relativitātes teorija saka, ka šo lauku var arī nosaukt par gravitācijas, ja izvēlēta atbilstoša atskaites sistēma.





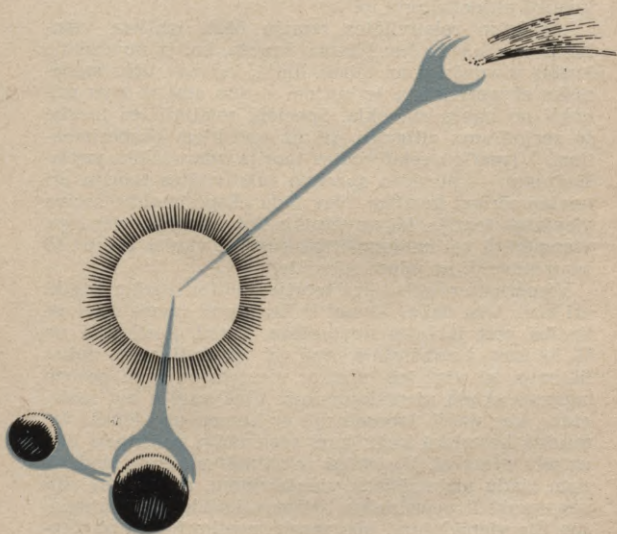
Nav tādu eksperimentu, ko varētu izdarīt liftā, lai pierādītu šāda pieņēmuma nepareizību. *

Ja sakām, ka novērotājs liftā nevar noteikt, vai lauks, kas viņu piespiež pie grīdas, ir gravitācijas vai inerces, tad tas nebūt nenozīmē, ka viņš nevar atšķirt šo lauku no planētas (Zemes) gravitācijas lauka. Tā, piemēram, Zemes gravitācijas lauks ir ar sfērisku simetriju, un tieši tādu nevar radīt, liftam paātrināti kustoties Visumā. Ja no liela augstuma virs Zemes ļautu krist diviem āboliem, starp kuriem attālums būtu 1 metrs, tie krītot tuvotos viens otram, jo katrs no tiem kristu pa taisni virzienā uz Zemes centru. Taču iedomātajā liftā visi ķermeņi kritīs paralēli viens otram. Tātad atšķirību starp laukiem var noteikt ar eksperimentiem, bet ar šiem eksperimentiem nevar atšķirt inerci no gravitācijas, tas ir, eksperimentāli var atšķirt tikai tādus laukus, kuriem ir dažāda matemātiskā struktūra.

* Analoga problēma pastāv arī uz rotējošās Zemes. Ve-



cais strīds par to, vai rotē Zeme, vai debess rotē ap Zemi, kā domāja Aristotelis, izrādās ir tikai strīds par atskaites sistēmas izvēli. Dabiski, ka vienkāršāk par atskaites sistēmu ir pieņemt Visumu. Mēs sakām, ka Zeme griežas attiecībā pret Visumu un inerce saplacinā Zemi, izstiepjot to ekvatoriālā virzienā. Par fiksētu atskaites sistēmu mēs varētu pieņemt arī Zemi, tikai tas ir ļoti neērti. Tādā gadījumā mēs teiktu, ka kosmos griežas ap Zemi un rada gravitācijas lauku, kura iedarbībā Zeme tiek saplacināta. Šāds lauks pēc savas matemātiskās struktūras gan atšķirtos no planētas gravitācijas lauka, un tomēr būs pareizi arī to nosaukt par gravitācijas lauku. Ja par nekustīgu atskaites sistēmu mēs izvēlētos Zemi, būtu pareizi mūsu izteicieni, jo mēs taču sakām, ka Saule no rīta *uzlec*, bet vakarā *noriet*,



un ka Lielais Lācis griežas ap Polārzvaigzni. Kurš uzskats ir pareizais? Jautājumam atkal nav jēgas. Tas būtu tikpat, it kā oficiants jums jautātu, vai jūs vēlaties saldējumu uz kūkas vai kūku zem saldējuma.

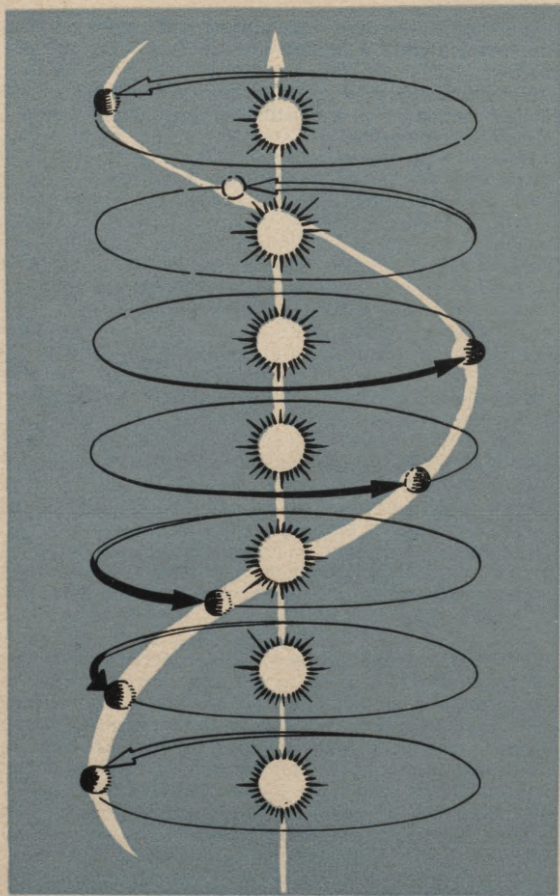
* Iedomāsimies, ka kosmos ir apbruņots ar kādām *knaiblēm*, ar kurām var satvert jebkuru ķermeni. Tālāk 7. nodaļā apskatīsim jautājumu par šo knaibļu izcelšanos. Kamēr ķermenis Visumā kustas vienmērīgi un taisnā virzienā, Visums šai kustībai nepretojas. Bet, tiklīdz mēģināsim ķermeņa kustību izmainīt (paātrināt vai palēnināt), knaibles satvers ķermeni. Ja uzskatīsim Visumu par nekustīgu atskaites sistēmu, tad satveršana knaiblēs būs kā ķermeņa inerces un tā pretestība kustības maiņai. Ja par nekustīgu atskaites sistēmu uzskatīsim ķermeni, tad saņemšana knaiblēs būs gravitācija un Visuma mēģinājums turēt ķermeni nevienmērīgā kustībā attiecībā pret to.

Vispārīgo relativitātes teoriju bieži izklāsta vienkāršā veidā šādi. Jau Ņūtons izprata, ka, ja novērotājs kustas vienmērīgi un taisnā līnijā, tad nav tādu mehānisku eksperimentu, ar kuriem varētu atšķirt savu stāvokli no miera stāvokļa. Speciālā relativitātes teorija šo secinājumu attiecina arī uz optiskiem eksperimentiem. Vispārīgā relativitātes teorija izdara tālāku paplašinājumu — piemēro speciālo relativitātes teoriju arī nevienmērīgai kustībai. Nav tādu eksperimentu, secina vispārīgā teorija, lai novērotājs, kas atrodas, vienalga, vienmērīgā vai nevienmērīgā kustībā, varētu atšķirt šo savu stāvokli no miera stāvokļa.

Vispārīgās relativitātes teorijas būtību varētu izteikt arī šādi. Visi dabas likumi ir invarianti (nemainīgi) attiecībā pret jebkuru novērotāju. Tātad, neatkarīgi no tā, kā kustas novērotājs, viņš var aprakstīt visus dabas likumus, kā viņš tos redz, ar vieniem un tiem pašiem matemātiskiem vienādojumiem. Viņš varētu būt zinātnieks, kas strādā laboratorijā uz Zemes, uz Mēness vai milzīgā kosmiskā kuģī, kurš vienmērīgi paātrināti lido uz tālu zvaigzni. Vispārīgā relativitātes teorija dod viņam rindu matemātisku vienādojumu, ar kuriem viņš var aprakstīt visus dabas likumus dažādos eksperimentos. Šie vienādojumi būs pareizi neatkarīgi no novēro-

tāja stāvokļa — miera, vienmērīgas vai nevienmērīgas kustības stāvokļa attiecībā pret jebkuru citu priekšmetu.

Nākošā nodaļā mēs tuvāk apskatīsim Einšteina gravitācijas teoriju un tās saistību ar jaunu, svarīgu jēdzienu — telpu-laiku.

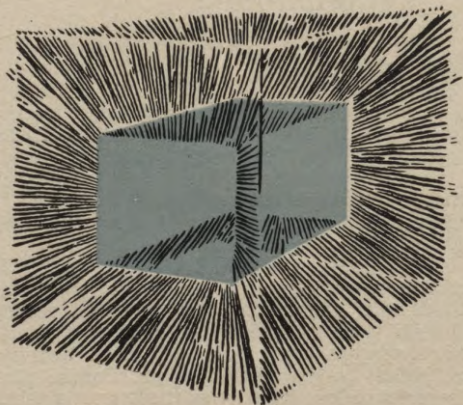
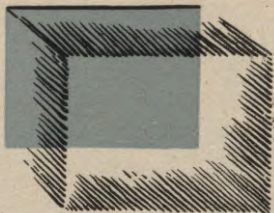


6. Gravitācija un telpa-laiks

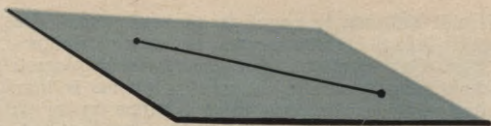
✧ Lai varētu apskatīt Einšteina gravitācijas teoriju, tad vispirms nedaudz iedziļināsimies neeiklīda četrdimensiju ģeometrijā. ✧ Poļu matemātiķis Hermans Minkovskis, izmantojot četrdimensiju telpas un laika terminus, ir lieliski interpretējis relativitātes teoriju.

Daudzas no tālāk apskatītajām idejām vienlīdz pieder gan Minkovskim, gan Einšteinam.

Nemsim ģeometrisku punktu, kam nav izmēru. Ja šis punkts kustas pa taisni, veidojas līnija, kuru var aprakstīt tikai ar vienu koordināti.^o Ja taisni pārbīdīsim taisnā leņķī attiecībā pret šo pašu taisni, tad radīsies plakne, kuras aprakstam vajag jau divas koordinātes. Nemot plakni un pārbīdot to perpendikulārā virzienā pret šo pašu plakni, izveidosies trīsdimensiju telpa. Tā ir arī robeža, kuru mēs varam sasniegt savā iztēlē. Taču matemātiķis iedomājas (jāsaprot, ka viņš savā iztēlē nevis rada kādu konkrētu ainu, bet tikai izstrādā šādas iztēles matemātisko aparātu) trīsdimensiju telpas tālāku kustību, perpendikulāru tās visām trim koordinātēm. Tā rodas Eiklīda četrdimensiju telpa. Līdzīgi var iet vēl tālāk un nonākt pie telpas ar piecām, sešām, septiņām utt. koordinātēm. Tās visas būs Eiklīda telpas, jo tās ir Eiklīda ģeometrijas tiešs turpinājums taisni tāpat, kā Eiklīda stereometrija ir Eiklīda planimetrijas turpinājums.

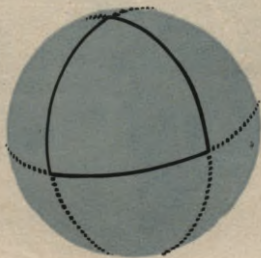


Eiklīda ģeometrija balstās uz dažām aksiomām. Viena no tām ir plaši pazīstamā aksioma par paralēlām taisnēm: ja plaknē dota taisne, tad caur jebkuru punktu ārpus šīs taisnes dotajā plaknē var novilkt tai paralēlu taisni un pie tam tikai vienu. Tāpēc arī saka, ka plakne ir Eiklīda virsma. Tai liekums ir nulle un virsma ir bezgalīgi liela. Neeiklīda ģeometrijā šī aksioma par paralēlām taisnēm ir nomainīta ar citu, pie



tam var būt divi atšķirīgi gadījumi. Pirmajā gadījumā tā saucamā eliptiskā ģeometrija saka, ka uz virsmas caur doto punktu, kurš atrodas ārpus dotās līnijas, nav iespējams novilkt nevienu paralēlu līniju dotajai līnijai. Kā tādas neeiklīda virsmas neprecīzu, vienkāršotu modeli var apskatīt sfērisku virsmu. Uz tādas virsmas kā *vairāk taisna līnija* būtu lielā riņķa līnija, kuras diametrs vienāds ar sfēras diametru. Visas šīs lielās riņķa līnijas krustosies, tātad divas tādas riņķa līnijas nekad nevar būt paralēlas. Saka, ka tāda tipa neeiklīda virsmai liekums ir pozitīvs, virsma pati sevi noslēdz un virsmas laukums tai ir galīgs.

Otrs neeiklīda ģeometrijas gadījums ir hiperboliskā ģeometrija. Arī šeit Eiklīda postulāts (aksioma) par paralēlām taisnēm ir nomainīts ar citu: uz virsmas caur punktu, kas atrodas ārpus dotās līnijas, paralēli dotajai līnijai var novilkt bezgalīgi daudz līniju. Aptuvenas tādas virsmas piemērs ir seglu virsma. Šoreiz dotajai

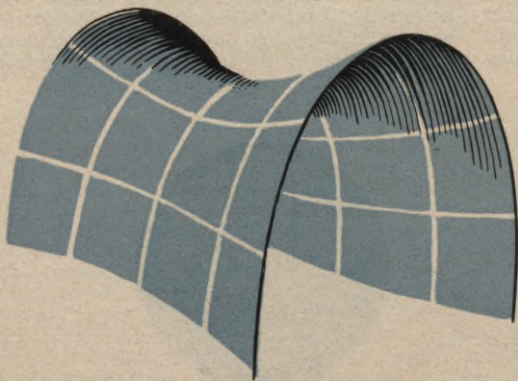


virsmai liekums ir negatīvs, tā sevī nenoslēdzas, bet tomēr, līdzīgi Eiklīda virsmai, tā visos virzienos ir bezgalīga. Gan eliptiskā, gan hiperboliskā ģeometrija ir tādu virsmu ģeometrijas, kuru izliekums ir konstants. Tātad virsmas izliekums visur ir viens un tas pats, un objektam, pārejot no viena punkta otrā, nenotiek nekādas tā izmaiņas. Vispārējo neeiklīda ģeometriju sauc par Rīmaņa ģeometriju. Pēc šīs ģeometrijas liekums no punkta uz punktu var mainīties jebkādā noteiktā veidā.

Tieši tāpat kā pastāv Eiklīda ģeometrijas telpas ar 2, 3, 4, 5, 6, 7... koordinātēm, tā arī pastāv neeiklīda ģeometrijas ar 2, 3, 4, 5, 6, 7... koordinātēm.

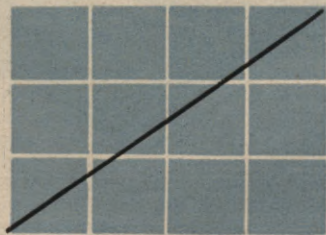
Izstrādājot vispārējo relativitātes teoriju, Einšteins lieto četrdimensiju Rīmaņa ģeometriju, tikai ceturtais telpiskās koordinātes vietā viņš kā ceturto koordināti ņem laiku. Ceturtais koordināte nav nekas noslēpumains vai mistisks. Tas nozīmē, ka katru notikumu Visumā apskata četrās dimensijās — trīsdimensiju telpā un laikā.

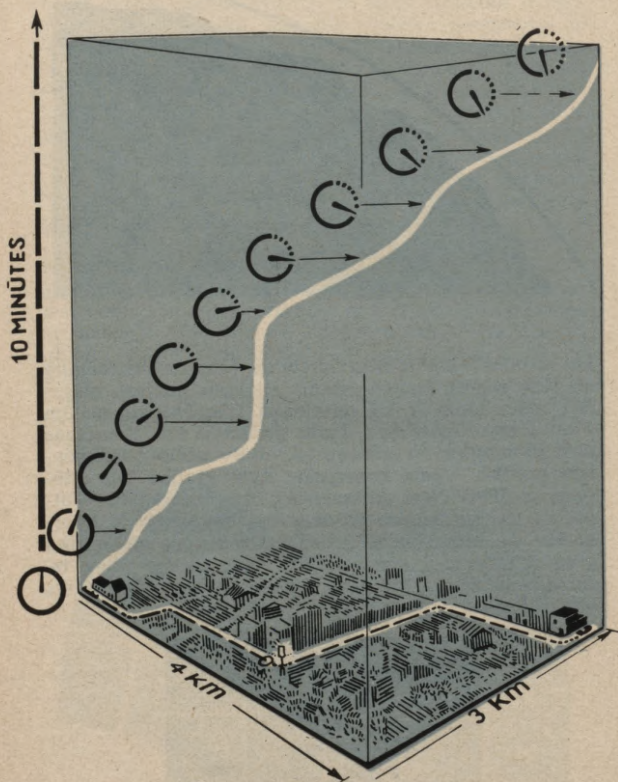
Lai to izprastu, iedomāsimies šādu piemēru. Pulksten divos dienā jūs izbraucat no savas mājas uz restorānu,





kas atrodas 3 km uz dienvidiem un 4 km uz austrumiem no jūsu mājas. Plaknē īsākais attālums no jūsu mājas līdz restorānam ir kā taisnleņķa trīsstūra (ar malām 3 un 4 km) hipotenūza, kuras garums 5 km. Brauciens ilgst 10 minūtes. Šo laika sprīdi varētu attēlot trīsdimensiju grafikā. Viena koordināte šādā grafikā būs attālums uz dienvidiem (kilometros), otra koordināte — attālums uz austrumiem (kilometros), bet vertikālā koordināte — laiks (minūtēs). Trīsdimensiju telpas-laika grafikā intervāls starp diviem notikumiem (jūsu izbraukšanu no mājas un ierašanos restorānā) tiks attēlots ar taisni.





Šāda taisna līnija nav reālā brauciena attēls. Tā vienkārši ir divu notikumu telpas-laika attāluma mērs. Brauciena grafiks būs lauza līnija, jo jūsu mašīna, braucieni uzsākot, kustas paātrināti, pilsētā jūs nevarat uz restorānu aizbraukt tieši pa taisnu līniju, kaut kur ceļā jums varbūt ir jāapstājas pie sarkanā gaismas signāla un, beidzot, piebraucot pie restorāna, jums mašīna jānobremzē (paātrinājums negatīvs). Relativitātes teorijā šo reālā brauciena sarežģīto vilņējādo līniju sauc par brauciena *pasaules līniju*. Dotajā gadījumā šī pasaules līnija attēlota telpas-laika trīsdimensiju koordinātēs vai (kā arī to kādreiz sauc) trīsdimensiju Minkovska telpā.

ŅTā kā brauciens ar automašīnu notika plaknē, kurai ir divas koordinātes, tad varēja pievienot vēl trešo koordināti — laiku un tādējādi attēlot šo braucieni trīs koordinātu sistēmā. Ja brauciens notiktu telpā (trīs koordinātes), tad telpas-laika četru koordinātu sistēmā mēs vairs grafiku uzzīmēt nevarētu. Taču matemātiķi prot arī rīkoties ar grafikām, tās nezīmējot. Iedomājieties četrdimensiju zinātnieku, kas zīmētu grafikas četru koordinātu sistēmā, pie tam tikpat viegli, kā to darītu parastais zinātnieks divu vai trīs koordinātu grafikās. Tāda zinātnieka grafikas trīs koordinātes atbilstu mūsu telpas trim koordinātēm, bet ceturrtā koordināte būtu mūsu laiks. Ja kosmiskais kuģis no Zemes aizlidotu uz Marsu, mūsu iedomātais zinātnieks savā četrkoordinātu grafikā kuģa ceļu attēlotu ar pasaules līniju. Šī līnija būtu līkne, jo šādu ceļojumu kuģis nevar veikt bez paātrinājuma. Telpas-laika *intervāls* no starta uz Zemes līdz nolaišanās uz Marsa šajā grafikā būtu taisne.

Relativitātes teorijā jebkuram ķermenim ir četrdimensiju struktūra, kura pārvietojas pa pasaules līniju telpas-laika četru koordinātu sistēmā. Ja arī pieņemam, ka kāds ķermenis attiecībā pret trim telpas koordinātēm ir miera stāvoklī, tad tas tomēr kustēsies laikā. Tā pasaules līnija būs taisne, kura paralēla grafikas laika asij. Ja ķermenis telpā kustas vienmērīgi, arī tad tā pasaules līnija būs taisne, tikai šoreiz tā nebūs paralēla laika asij. Pasaules līnija būs līkne tad, kad ķermenis kustēsies nevienmērīgi.



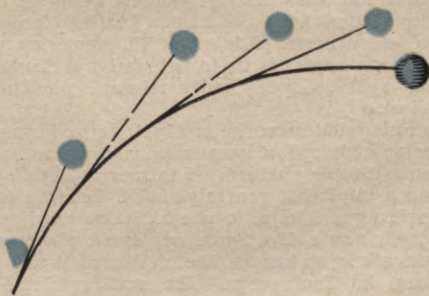
Lorenca — Ficdžeralda kontrakciju tagad varam apskatīt no cita viedokļa — no Minkovska uzskatu viedokļa, tas ir, tikpat kā no mūsu iedomātā četrdimensiju zinātnieka viedokļa. Kā jau redzējām, ja divi kosmiskie kuģi, lidojot viens otram garām, ir relatīvās kustības stāvoklī, tad kosmonautiem kuģos liekas, ka otrs kuģis ir izmainījis savu formu un pulkstenis tajā mainījis savu gaitu. Tas ir tāpēc, ka telpa un laiks nav absolūti lielumi un ir atkarīgi viens no otra. Var teikt, ka tie ir līdzīgi četrdimensiju telpas-laika ķermeņu ēnu projekcijām. Lai to izprastu, noliksim grāmatu pret gaismas avotu un tās ēnu projicēsim uz divdimensiju ekrāna. Tiklīdz izmainīsim grāmatas stāvokli, izmainīsies arī tās ēnas forma. Vienā gadījumā grāmatas ēna būs plats taisnstūris, citā gadījumā — šaurs taisnstūris. Bet grāmata taču savu formu nemainīja! Līdzīgi novērotājs redz arī četrdimensiju struktūru, piemēram, kosmisko kuģi dažādās trīsdimensiju projekcijās atkarībā no tā, kā attiecībā pret to kustas novērotājs. Dažos gadījumos projekcija aizņems lielāku telpu un mazāku laiku, citos gadījumos būs otrādi. Izmaiņas, kuras novērotājs ievēro otrā kuģa telpas un laika mērījumos, var izskaidrot ar īpašu kuģa *pagriezienu* telpā-laikā, jo tas izmainīs arī tā ēnas proporciju telpā un laikā. Tieši tā to iztēlojās Minkovskis, kad 1908. gadā vācu dabas zinātnieku un fiziķu biedrības 80. kongresā lasīja savu sla-

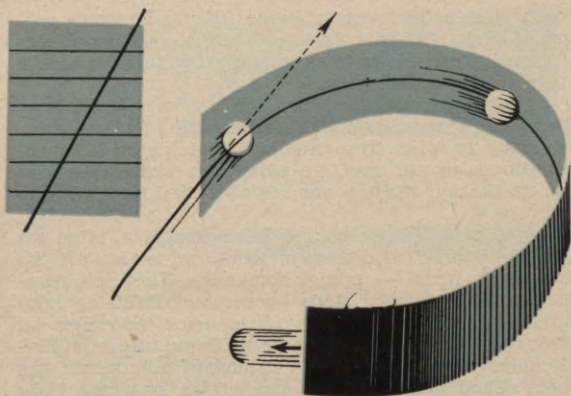
veno lekciju. Tā ir arī publicēta Alberta Einšteina grāmatā «Relativitātes princips». Neviens no populārām grāmatām par relativitātes teoriju nebūs pilnīga, ja tajā nebūs šāda Minkovska citāta:

«Uzskati par telpu un laiku, par kuriem es gribu jums pastāstīt, ir radušies uz eksperimentālās fizikas bāzes, un tur ir to spēks. Tie ir radikāli. Ja telpu un laiku apskatītu pašus par sevi, tie pārvērstos vienkāršās ēnās un neatkarīgu realitāti var saglabāt tikai kaut kāda to vienība.»

No tā izriet, ka telpas un laika struktūra, tātad arī kosmiskā kuģa četrdimensiju struktūra, ir tāda pati kā klasiskajā fizikā — pilnīgi nemainīga. Tieši šeit parādās būtiskā starpība starp Lorencu un Einšteina kontrakcijas teorijām. Lorencs saīsināšanos iedomājas kā reālu trīsdimensiju ķermeņa saīsināšanu, turpretim Einšteinam *reālais* ķermenis ir četrdimensiju ķermenis, kas pats nekad nemainās. Var izmainīties kosmiskā kuģa trīsdimensiju projekcija telpā un vienas dimensijas projekcija laikā, bet pats četrdimensiju kuģis telpā-laikā paliek nemainīgs.

Te atkal redzam piemēru, ka relativitātes teorija ievēd jaunus absolūtus. Cieta ķermeņa četrdimensiju forma ir absolūta un nemainīga. Arī četrdimensiju intervāls starp diviem notikumiem telpā-laikā ir absolūts





intervāls.⁹ Novērotājiem, kuri kustībā ar lieliem ātrumiem atrodas relatīvās kustības dažādos stāvokļos, var būt dažādas domas, ja tie mēģinātu noteikt, cik tālu ir atdalīti telpā divi notikumi un kā tie ir atšķirīgi laikā. Bet šo novērotāju domas sakrītīs tad, ja šos notikumus apskatīs telpā-laikā.

• Pēc klasiskās fizikas likumiem ķermenis telpā atradīsies vienmērīgā taisnvirziena kustībā tik ilgi, kamēr uz to neiedarbosies kāds spēks. Tā, piemēram, planēta kustētos pa taisni, ja uz to neiedarbotos Saules pievilkšanas spēks. Tāpēc Saules ietekmē planēta kustas pa elipsi. ◉

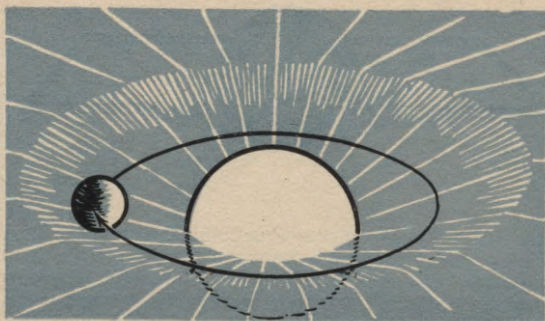
◊ Relativitātes teorijā ir tāpat. Ja uz ķermeni neiedarbojas kāds spēks, ķermenis kustēsies ar nemainīgu ātrumu taisnā virzienā. Šī taisne ir jāapskata kā līnija nevis telpā, bet gan telpā-laikā. Tas viss ir pareizi, ja ievēro gravitāciju, jo pēc Einšteina teorijas gravitācija vispār nav spēks. Saule *nepievelk* planētas, Zeme *nepievelk* leļup krītošu ābolu. Vienkārši tādi milzīgi ķermeņi kā Saule telpu-laiku savā apkārtņē izliec, pie



tam Saules tuvumā liekums palielinās. Citiem vārdiem sakot, milzīgu materiālu ķermeņu tuvumā telpas-laika struktūra kļūst neeiklīda. Šādā neeiklīda telpā ķermenis turpina izvēlēties visvairāk iespējamās taisnos ceļus, bet tas, kas ir taisns telpā-laikā, projicējot telpā tiek attēlots ar liektu līniju. Ja mūsu iedomātais zinātnieks savā četru koordinātu grafikā attēlotu Zemes orbītu, viņš iegūtu taisni. Mēs turpretim esam trīsdimensiju būtnes (pareizāk — būtnes, kuras iedala telpu-laiku trīsdimensiālā telpā un vienas dimensijas laikā) un Zemes orbītu redzam kā elipsi.

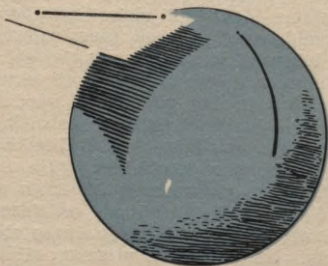
Autori, kas raksta par relativitātes teoriju, parasti šo piemēru izskaidro šādi. Iedomāsimies, ka plakanas gumijas gabals izstiepts uz taisnstūra rāmja. Ja uz tā novietosim apelsīnu, tad zem apelsīna izveidosies iedobums. Apelsīna tuvumā novietosim marmora lodīti — tā velsies apelsīnam virsū. Šajā gadījumā apelsīns lodīti nepievelk, bet rada tādas struktūras lauku (iedobumu), ka lodīte pa mazākās pretestības ceļu noripo pie apelsīna. Protams, tas ir tikai uzskatāms piemērs, un tomēr līdzīgā veidā milzīgu masu, piemēram, Saules, klātbūtne izliec telpu-laiku. Šis liekums tad arī ir gravitācijas lauks. Planēta ap Sauli rotē pa elipsi nevis tāpēc, ka Saule to pievelk, bet pateicoties speciālām lauka īpašībām — šādā laukā elipse ir vistaisnākā līnija, pa kuru planētai iespējams kustēties telpā-laikā.

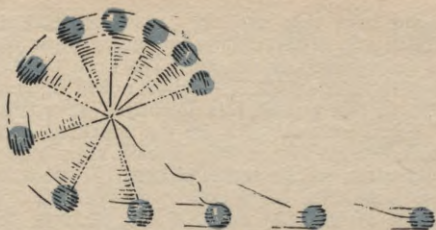
Šādu līniju sauc par *ģeodēzisko līniju*. Šo jēdzienu paskaidrosim sīkāk, jo tas ir ļoti svarīgs relativitātes teorijā. Eiklīda plaknē (piemēram, uz līdzenas papīra lapas) par taisni sauc visīsāko attālumu starp diviem tās punktiem. Uz sfēriskas virsmas attālums starp



diviem sfēras punktiem ir lielā riņķa loka daļa. Ja starp šiem diviem punktiem nostiepsim auklu, iegūsim ģeodēzisko līniju. Arī šeit tā ir vistaisnākais un īsākais attālums starp šiem diviem punktiem.

Arī četrdimensiju Eiklīda ģeometrijā, kur visi mērījumi ir telpiski, ģeodēziskā līnija ir visīsākā un vistaisnākā līnija starp diviem punktiem. Turpretim Einšteina telpas-laika neeiklīda ģeometrijā tas viss nav tik vienkārši, jo trīs telpas un viena laika koordināte ir saistītas ar relativitātes teorijas vienādojumiem. Ar





šiem vienādojumiem var aprēķināt, ka ģeodēziskā līnija (lai gan arī šeit tā ir vistaisnākais ceļš starp diviem punktiem) ir nevis visīsākais, bet gan vislielākais attālumš. To nevar izskaidrot bez sarežģīta matemātiska aparāta, ar ko arī iegūst šo pārsteidzošo rezultātu — ja ķermenis kustas tikai gravitācijas ietekmē, tad tas izvēlas ceļu, kura veikšanai jāpatērē vislielākais laiks. Pie tam jāievēro viens noteikums — ja šo laiku mērīs ar pulksteni, kas piederas pašam kustīgam ķermenim. Šo rezultātu Bertrands Rasels nosauc par *kosmiskā laiskuma likumu*. Ābols krīt pa taisnu līniju, raķete kustas pa parabolu un Zeme pa elipsi tāpēc, ka tie ir *pārāk slinkī*, lai izvēlētos citus ceļus.

Ķermeņi telpā-laikā kustas pēc šī kosmiskā laiskuma likuma, un dažreiz šo kustību izskaidro ar inerci, citreiz ar gravitāciju. Griežot auklā iesietu ābolu, tas kustēsies pa riņķa līniju, jo aukla neļaus ābolam kustēties pa taisni. Šādā gadījumā saka, ka auklu iestiepj ābola inerce un, ja aukla pārtrūktu, ābols turpinātu kustību pa taisni. Līdzīgs gadījums ir tad, kad ābols nokrīt no koka. Kamēr ābols karājas zarā, zars neļauj ābolam kustēties četrdimensiju taisnē. Šādā gadījumā attiecībā pret Zemi ābols ir miera stāvoklī, bet tas *kustas* laikā, jo taču nepārtraukti nogatavojas. Ja nebūtu gravitācijas lauka, tad četru koordinātu grafikā šīs ābola kustības laika koordināte būtu taisne. Zemes gravitācija telpu-laiku ābola apkārtnē izliec, un ābola pasaules līnija kļūst liekta. Kad ābols atraujas no zara, tas turpina kustību telpā-laikā, bet, būdams slinks ābols, tas

tagad savu ceļu iztaisno — izvēlas ģeodēzisko līniju. Tagad mēs ābola krišanu izskaidrojam ar pievilkšanos, jo redzam ģeodēzisko līniju, pa kuru tas krīt. Bet mēs varētu teikt arī citādi — ābols nokrīt uz Zemes inerces dēļ, jo tam pēkšņi bija jāizmaina savs izliektais ceļš.

Tagad iedomāsimies, ka pie nokritušā ābola pienāca kāds zēns un tam iespēra ar basu kāju. Viņš tūlīt sāpēs iekliedzās, jo bija sasisis pirkstu. Ņūtons teiktu, ka šajā gadījumā zēna kājas spērienam pretojās ābola inerce. Tāpat varētu teikt arī Einšteina pēctecis, bet viņš varētu to izskaidrot arī citādi: zēna kājas pirksti rada visa kosmosa (arī pašu pirkstu) paātrinātu kustību atpakaļ. Tas viss savukārt rada gravitācijas lauku, kurš tad ar lielu spēku pievelk ābolu pie pirkstiem. Šādu situāciju matemātiski var aprakstīt ar vienu un to pašu telpas-laika vienādojumu sistēmu. Bet, izmantojot ekvivalences principu, to var arī aprakstīt, izmantojot Ņūtona formulējumus — gravitāciju, inerci.

Tātad relativitātes teorija aizvieto gravitāciju ar telpas-laika ģeometrisku izlieci, bet tomēr nedod atbildes uz daudziem svarīgiem jautājumiem. Vai šī izliekšanās notiek momentāni visā telpā, vai tā izplatās līdzīgi vilnim? Lielākā fiziķu daļa uzskata, ka izliekšanās pārvietojas līdzīgi vilnim, pie tam ar gaismas ātrumu.



6 Pastāv arī hipotēze, ka gravitācijas viļņi sastāv no ļoti mazām, sīkām, nedalāmām daļiņām, kurām piemīt noteikta enerģija. Šīs daļiņas sauc par *gravitoniem*. Tomēr līdz šai dienai nav izdarīts tāds eksperiments, kas būtu konstatējis vai nu viļņus, vai gravitonus.

Prinstonas universitātes fiziķis Roberts Diks uzskata, ka ar laiku gravitācija kļūst vājāka. Tā, piemēram, Zemes gravitācija samazinājusies par 13 procentiem salīdzinājumā ar Zemes izcelšanos apmēram pirms četriem līdz pieciem miljardiem gadu. Ja tas tiešām tā būtu, tad, Zemei palielinoties, uz tās virsmas jārodas plaisām. Jāpalielinās būtu arī Saulei. Pirms diviem miljardiem gadu Saulei bija jābūt mazākai, blīvākai un karstākai. Tas izskaidrotu, kāpēc agrākajos ģeoloģiskajos laikmetos uz lielākās Zemes daļas bija tropisks klimats. Protams, ka šādi uzskatī joprojām ir tikai minējumi. Un tomēr varbūt jau pēc neilga laika varēs radīt tādus eksperimentus, ar kuriem varētu pārbaudīt šo Dika teoriju.

6 Lai gan relativitātes teorija ļauj izprast un aprakstīt gravitāciju, tā joprojām vēl ir noslēpumaina, maz izskaidrota parādība. Neviens vēl nezina, kā tā saistīta un vai tā vispār saistīta ar elektromagnētismu. Einšteins un arī citi zinātnieki gan mēģināja radīt *vienota lauka teoriju*, kas aprakstītu gravitāciju un elektromagnētismu ar vienotu matemātisku vienādojumu sistēmu, tomēr rezultātu vēl nav. Var būt, ka tas kādreiz izdosies kādam no šīs grāmatas jaunajiem lasītājiem, kas būs apveltīts ar radošo ģenialitāti līdzīgi Einšteinam.

Vai arī vispārīgo relativitātes teoriju apstiprina eksperimenti? Jā, kaut arī ne tik pilnīgi kā speciālo relativitātes teoriju. Tādu teorijas apstiprinājumu var iegūt, pētot tuvāko Saules planētu Merkūriju. Merkūrijs kustas pa elipsi, bet šī elipse lēni griežas. Izmantojot Ņūtona gravitācijas vienādojumus, to var izskaidrot, ievērojot citu planētu iedarbību. Un tomēr, veicot šādus aprēķinus, precīza atbilde parāda, ka pagriešanās šī iemesla dēļ ir vēl lēnāka, nekā to novērojam. No Einšteina vienādojumiem var secināt, ka planētas eliptiskās orbītas pagriešanās notiek pat tad, ja tuvumā nav citu planētu. Šādi aprēķinātā Merkūrija orbīta ir daudz



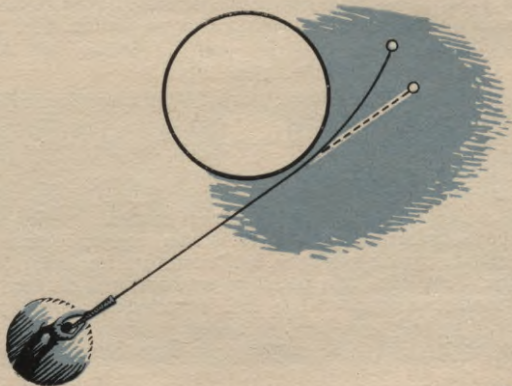
tuvāka reālajai nekā Ņūtona aprēķinātā. Tā kā pārējās planētas kustas pa gandrīz riņķveida orbītām, tad šādu efektu novērot ir daudz grūtāk. Tomēr pēdējos gados noteiktas Venēras un Zemes orbītas, un rezultāti pilnīgi sakrīt ar tiem rezultātiem, ko iegūst aprēķinu ceļā ar Einšteina vienādojumiem.

Einšteins arī paredzēja, ka Saules spektra līnijas ir nedaudz nobīdītas uz sarkanās robežas pusi, jo pēc vispārīgās relativitātes teorijas vienādojumiem spēcīgi gravitācijas lauki iedarbojas uz laiku bremsējoši. Tas nozīmē, ka jebkurš periodisks process, piemēram, atoma svārstības vai pulksteņa tikšņi, uz Saules palēnināsies salīdzinājumā ar ilgumu uz Zemes. Šāda perioda palēnināšanās samazina svārstību frekvenci, kas savukārt nozīmē viļņu garuma pieaugšanu, un tas tad arī rada Saules spektra *sārtošanos*. Šāda Saules spektra pārbīde ir tiešām novērota arī eksperimentāli, un tomēr tas vēl pietiekoši neapstiprina vispārīgo relativitātes teoriju, jo šai parādībai var būt arī daudzi citi izskaidrojumi.* Sīriusam ir pavadoņi, ļoti tuva zvaigzne, ko

* 1962. gadā, kad šī grāmata jau bija uzrakstīta, kļuva zināmi paši pēdējie, ļoti precīzi Saules spektra sarkanās pārbīdes mērījumi. Pielietojot pavisam jaunu metodi, Blamonts un Rodē Medonas observatorijā (Francijā) izmērija sarkano pārbīdi vienai no stroncija absorbcijas spektra līnijām. Mērījuma rezultāti pilnīgi sakrīt ar vispārīgās relativitātes teorijas noteikto pārbīdi, ka varam apgalvot — vispārīgā relativitātes teorija ir apstiprināta.

sauc par Balto pundurzvaigzni. Tās masa ir tik liela, ka sarkanajai pārbīdei jābūt trīsdesmit reizes lielākai nekā Saules radītajai, tāpēc Baltās pundurzvaigznes spektra mērījumi vislabāk noderēja teorijas pierādījumam. Tomēr vispārliciecināmais pierādījums par gravitācijas iespaidu uz laiku iegūts tikai nesēn, pie tam laboratorijas apstākļos. Par to pastāstīsim 8. nodaļas beigās.

Vissensacionālāk vispārīgo relativitātes teoriju mēģināja pārbaudīt 1919. gadā pilna Saules aptumsuma laikā. Ja starpplanētu telpā paātrināti uz augšu ceļas lifts, tad lifta iekšpusē no sienas uz sienu paralēli grīdai ejošs gaismas stars nolieksies uz leju — mainīs savu trajektoriju, — tas izveidos parabolu. To var izskaidrot ar inerces parādību, bet saskaņā ar relativitātes teoriju mēs varam arī uzskatīt liftu par nekustīgu atskaites sistēmu. Šādā gadījumā šo stara trajektorijas izmaiņu var uzskatīt par gravitācijas iedarbības rezultātu. Tas nozīmē, ka gravitācija var izliekt gaismas stara trajektoriju. Šī izliekšanās ir tik niecīga, ka to nevar konstatēt ar laboratorijas eksperimentiem. Tomēr var izmantot astronomiskos novērojumus, piemēram, pilnu Saules aptumsumu, kad Mēness aizsedz



Sauli. Tad kļūst redzamas tādas zvaigznes, kuras atrodas tuvu aiz Saules fotosfēras malas. Šo zvaigžņu gaismas stari savā ceļā šķērso Saules gravitācijas lauku tur, kur tas ir visspēcīgākais. Ja tiešām varētu novērot šo zvaigžņu pārbīdi, tad būtu skaidrs, ka Saules gravitācija izmaina stara trajektoriju. Jo lielāka pārbīde, jo lielāks trajektorijas izliekums.

Visu to iztēlojoties, tomēr jāatceras, ka, iedomājoties gaismas stara ceļa izliekumu gravitācijas vai inerces dēļ, šīs parādības apskatītas triskoordinātu sistēmā. Šādā telpā stara ceļš tiešām izmainās. Bet Minkovska telpas-laika četrdimensiju pasaulē gaisma tāpat kā klasiskajā fizikā izplatās pa ģeodēzisko līniju, tas ir, tā izvēlas vistaisnāko ceļu. Mūsu iedomātais četrdimensiju zinātnieks, atzīmējot savā telpas-laika kartē gaismas stara ceļu, vienmēr to attēlotu kā taisni neatkarīgi no tā, vai tas iet vai neiet cauri spēcīgiem gravitācijas laukiem.

1919. gadā uz Āfriku devās zinātniska ekspedīcija, ko vadīja angļu astronoms Edingtons. Šīs ekspedīcijas galvenais uzdevums bija pilna Saules aptumsuma laikā precīzi noteikt tuvu Saules diskam esošās zvaigznes. Gaismas stara noliekšanos gravitācijas laukā paredzēja jau arī Ņūtona fizika, bet pēc Einšteina vienādojumiem tai jābūt apmēram divas reizes lielākai. Tātad eksperimentos varēja iegūt vismaz vienu no šādiem trim rezultātiem.

1. Zvaigžņu stāvoklis neizmainās.

2. Novirzes lielums ir tuvu Ņūtona aprēķinātajām novirzēm.

3. Novirzes lielums ir tuvs tam, ko paredzēja Einšteins.

Ja iegūtu pirmo rezultātu, tad jānoraida gan Ņūtona, gan Einšteina teorijas. Otrais rezultāts runātu par labu Ņūtonam un noraidītu Einšteina teoriju, bet trešais rezultāts runātu par labu Einšteinam un noraidītu Ņūtonu. Tajā laikā bija populāra anekdote par diviem šīs ekspedīcijas astronomiem, kuri apsprieda šīs trīs iespējas.

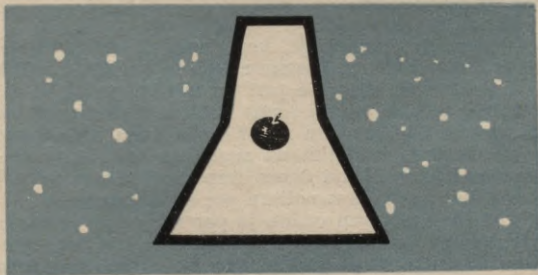
«Bet kas notiks,» sacīja viens no viņiem, «ja mēs

konstatēsīm divas reizes lielāku novirzi, nekā paredzēja Einšteins?»

«Tad,» atbildēja otrais, «Edingtons zaudēs prātu.»

Par laimi, eksperimenti pierādīja, ka novirze bija tuva Einšteina aprēķinātajai. Edingtona ekspedīcija bija plaši reklamēta, tāpēc daudzi sāka interesēties par vispārīgo relativitātes teoriju. Šodien astronomi uz Edingtona iegūto rezultātu skatās skeptiski, jo izrādās, ka grūtības, kuras jāpārvar, novērojot zvaigznes Saules pilna aptumsuma laikā, ir daudz lielākas, nekā domāja Edingtons. Ja salīdzina rezultātus, kurus ieguva vēlāk dažādās ekspedīcijās, novērojot Saules aptumsumu, tad tie tomēr nedaudz atšķiras. Šo jautājumu zinātnieki apsprieda 1962. gada februārī Karaliskās biedrības konferencē Londonā. Viņi nāca pie secinājuma, ka šādā eksperimentā ir pārāk daudz grūtību, un tāpēc nav nozīmes veikt šādus mērījumus.

Pašreiz ir izdarīti daži eksperimenti, kas apstiprina vispārīgo relativitātes teoriju, un ir iespējams veikt milzīgi daudz eksperimentu (kuri ne tikai nav vēl izdarīti, bet nav pat apspriesti), kuri vēl labāk apstiprinātu šo teoriju. Tomēr iespējami arī tādi eksperimenti, kuri relativitātes teoriju var stingri diskreditēt. Kolorādo universitātes pazīstamais fiziķis Džordžs Gamovs apraksta vienu tādu eksperimentu, ko veic ar antidaļiņām. Tās ir elementārdaļiņas, pilnīgi līdzīgas parastajām, tikai uzlādētas ar pretējas zīmes lādiņu. Pēc dažu





zinātnieku uzskatiem tām varētu būt pat negatīva masa. Tātad jebkurš spēks, kas uz tām iedarbosies, daļiņas paātrinās pretējā virzienā. No tādām antidaļiņām sastāvošs *antiābols* nevis nokristu uz Ņūtona deguna, bet, atrāvies no ābeles, uzlidotu gaisā. Pagaidām nav pierādīts, vai antidaļiņām ir negatīva masa, bet, ja tas tā būtu, relativitātes teorijai rastos lielas grūtības.

Lai to izprastu, iedomāsimies kosmisko kuģi, kas attiecībā pret zvaigznēm ir miera stāvoklī. Vienā no tā nodalījumiem telpas centrā peld antiābols ar negatīvu masu. Šāds kuģis sāk kustēties griestu virzienā ar paātrinājumu g . (g — brīvas krišanas paātrinājums, kurš uz Zemes ir $9,8 \text{ m/s}^2$. Tātad katrā sekundē kuģa ātrums pieaug par $9,8 \text{ m/s}$.)

Kas notiks ar ābolu?

Novērotājs ārpus kuģa, kam inerciālā atskaites sistēma būs saistīta ar kosmosu, redzēs, ka ābols paliek tajā pašā vietā attiecībā pret zvaigznēm un uz to nedarbojas nekāds spēks. Kuģis ābolam nepieskaras, tas vispār var būt pat tālu no tā. Taču kuģa nodalījuma grīda turpinās kustēties uz augšu un beidzot tā pieskarsies ābolam. (Šajā domu eksperimentā mēs neinteresēsimies par to, kas notiktu pēc šīs sadursmes.)

Viss būtu pavisam citādi, ja par nekustīgu atskaites sistēmu mēs uzskatītu kuģi. Tad novērotājam būs jāpieņem, ka kuģi rodas gravitācijas lauks, kas liks *krist*

antiābolam griestu virzienā ar paātrinājumu $2g$ (attiecībā pret zvaigznēm). Salīdzinot abus gadījumus, redzam, ka abas pieņemtās atskaites sistēmas nevar viena otru aizvietot, tātad šeit relativitātes pamatprincips nav spēkā.

Šāds piemērs parāda, ka vispārīgā relativitātes teorija izslēdz negatīvas masas jēdzienu, turpretim Ņūtona inerces princips pieļauj tādas masas pastāvēšanu. Klasiskā fizika vienkārši izmanto tikai pirmo izskaidrojumu, kad kuģis attiecībā pret ēteru atrodas absolūtā kustībā un ābols ir absolūtā miera stāvoklī. Tādā gadījumā nerodas nekādi gravitācijas lauki, kas tad arī visu sarežģī.

«Ja atklātu negatīvo masu un līdz ar to arī antigravitācijas efektu,» secina Gamovs, «mums būtu jāizšķiras starp Ņūtona inerces likumu un Einšteina ekvivalences principu.» Autors noteikti tic tam, ka tas nebūs jādara.



7. Maha princips

Einšteina ekvivalences princips nosaka, ka, ķermeņim kustoties paātrināti vai rotējot, rodas spēku lauks, kuru var uzskatīt gan par inerces, gan gravitācijas atkarībā no atskaites sistēmas izvēles. Bet izrādās, ka līdz ar to rodas viens ļoti svarīgs jautājums, kurš izvirza tālākus, vēl neatrisinātus uzdevumus.

Kā rezultāts tad ir spēku lauks? Vai to rada kustība attiecībā pret telpu-laiku, kas eksistē neatkarīgi no vielas, vai to izsaka pati telpa-laiks, kuru radījusi viela? Citiem vārdiem sakot, vai galaktikas un citi Visuma ķermeņi rada telpu-laiku?

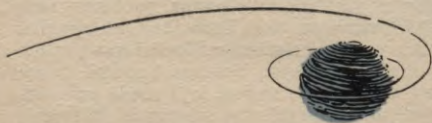
Speciālistu domas dalījās. Tika izteiktas agrākās astoņpadsmitā un deviņpadsmitā gadsimta domas par *telpas* un *ētera* pastāvēšanu atsevišķi — neatkarīgi no vielas, tikai tagad bija strīds par kosmosa telpas-laika struktūru (to kādreiz sauc par *metrisko lauku*). Lielākā daļa zinātnieku, kuri aprakstīja relativitātes teoriju (Arturs Edingtons, Bertrands Rasels, Alfreds Vaitheids u. c.), uzskatīja, ka zvaigznes telpas-laika īpašības neietekmē, lai gan vietējos izliekumus, protams, rada zvaigznes. Ja Visumā būtu tikai Zeme, tad, kā apgalvo šie autori, Zeme varētu griezties attiecībā pret telpu-laiku. (Jautājums par to, kāds liekums kopumā ir telpai — pozitīvs, negatīvs vai nulles, šajā strīdā nav svarīgs.) Tādā gadījumā, piemēram, vienīgais ķermenis

Visumā — kāds kosmiskais kuģis, ieslēdzot dzinējus, iegūtu paātrinājumu un kosmonauti kuģa iekšpusē tūlīt izjustu inerces spēku iedarbību. Griežoties telpā, vienuļā Zeme saplaktu ekvatoriālā virzienā, jo vielas daļiņas spēka iedarbībā kustētos telpā-laikā nevis pa ģeodēzisko līniju. Daļiņām šādā gadījumā būtu jākustas telpā-laikā it kā *pret spalvu*. Uz šīs vienuļās Zemes varētu izmērīt pat inerces spēku (tā saucamo Koriolisa spēku *) un tādā veidā noteikt Zemes griešanos.

Arī Einšteins pieļāva tādu uzskatu, bet (vismaz savā jaunībā) tas viņam ne sevišķi patika. Viņš priekšroku deva citam uzskatam, kuru pirmais izvirzīja īru filozofs bīskaps Berklijs. Ja jau Zeme ir vienīgais ķermenis Visumā, secināja Berklijs, tad taču ir bezjēdzīgi runāt par tās griešanos. Līdzīgi uzskati bija arī 17. gs. vācu filozofam Leibnicam un holandiešu fiziķim Kristianam Heigensam. Taču to aizmirsā, un tikai deviņpadsmitā gadsimtā tam atkal pievērsās austriešu fiziķis Ernsts Mahs, pie tam radot ticamu zinātnisku teoriju. Savos rakstos Einšteins atzīmē Maha darbu ietekmi uz viņa uzskatu veidošanos. Kad daudzas Maha idejas bija atspoguļotas Einšteina relativitātes teorijā, Mahs, būdams jau sirms, diemžēl šo teoriju neatzina.

Pēc Maha domām, kosmosam, ja tajā nebūs zvaigžņu, nebūs tādas telpas-laika struktūras, attiecībā pret kuru Zeme varētu griezties. Lai eksistētu gravitācijas (vai inerces) lauki, kas varētu saplacināt planētu vai pacelt

* 19. gs. sākumā franču zinātnieks Korioliss pirmais pilnīgi analizēja inerces parādības, kuras rodas sakarā ar Zemes griešanos ap savu asi. Tāpēc šo inerces spēku nosauca par Koriolisa spēku. Šis spēks novirza starpkontinentālās raķetes pa labi (ja tās lido ziemeļu puslodē uz ziemeļiem) un pa kreisi (ja lido dienvidu puslodē uz dienvidiem). Šī spēka dēļ rodas arī cikloni un citas rotācijas kustības atmosfērā.



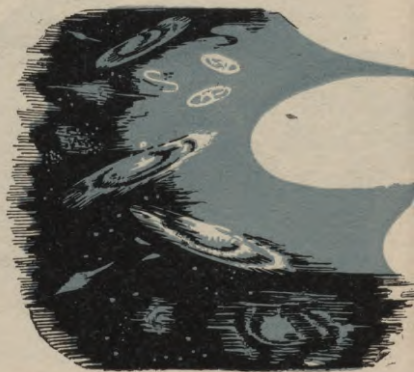
šķidrumu gar rotējoša spaiņa malām, ir nepieciešamas zvaigznes, jo tikai tā var radīt vajadzīgo telpas-laika struktūru. Ja telpai-laikam nav tādas struktūras, tiem nevar būt arī ģeodēziskās struktūras. Apskatot gaismas stara kustību pilnīgi tukšā telpā, mēs pat nevarētu apgalvot, ka tas kustas pa ģeodēzisko līniju, jo, ja nav telpas-laika struktūras, tad gaismas stars nevar nevienai no trajektorijām dot priekšroku. Kā saka A. d'Abro savā lieliskajā grāmatā «Zinātniskās domas evolūcija»: «Gaismas stars taču nezinātu pa kādu ceļu tam jāiet!» Tad nav iespējama pat Zemei līdzīgu sfērisku ķermeņu eksistence. Gravitācija ne tikai savāc Zemes daļiņas vienkopus, bet arī pārbīda tās pa ģeodēziskajām līnijām. Tātad, ja telpai-laikam nav struktūras, nav arī ģeodēzisko līniju, un Zeme, kā saka d'Abro, nezinātu kādu formu tai veidot. Te var citēt arī humorisku Edingtona teicienu: «Pilnīgi tukšā Visumā



(ja taisnība Maham) jāšabrūk Einšteina gravitācijas laukam!»

Lai varētu saprast Maha pozīciju, d'Abro apskata šādu domu eksperimentu. Iedomāsimies, ka Visumā lidinās kosmonauts un viņam rokā ir ķieģelis. Mēs zinām, ka ķieģelis ir bezsvara stāvoklī, jo nav taču gravitācijas masas. Bet vai ķieģelim būs inertā masa? Ja kosmonauts ķieģeli izsviestu, vai būs pretestība viņa rokas kustībai? Pēc Maha uzskata tāda nebūs, jo zvaigžņu, kuras rada telpas-laika metrisko lauku, taču nav. Tāpēc arī nav nekā, attiecībā pret ko ķieģelis būtu pārātrināts. Protams, ir gan kosmonauts, bet, tā kā viņa masa ir tik ļoti maza, tad to var neievērot.

Lai raksturotu Maha uzskatus, Einšteins ievied terminu *Maha princips*. Sākumā Einšteins cerēja, ka šo principu varēs izmantot relativitātes teorijā. Viņš pat izveidoja tādu Visuma modeli (to apskatīsim 9. nodaļā), kurā Visumam telpas-laika struktūra eksistē tikai tad, ja eksistē zvaigznes un citi materiāli ķermeņi, kas veido šo struktūru. «Loģiski veidotā relativitātes teorijā,» rakstīja Einšteins 1917. gadā, publicējot šāda modeļa matemātisko aprakstu, «nevar būt nekādas inerces



attiecībā pret telpu, bet ir tikai masu savstarpējā inerce. Tātad, ja kādu masu aiznesīsim pietiekoši tālu no visām citām Visuma masām, tās inerce samazināsies līdz nullei.»

Vēlāk šādam Einšteina kosmiskajam modelim tika konstatēts liels trūkums, un Einšteinam no Maha principa bija jāatsakās. Taču šis princips arī vēl tagad stipri ietekmē mūsdienu kosmologu uzskatus, jo tajā jautājums par kustību relativitāti ir atrisināts līdz galam. Pavisam pretējs ir uzskats, kas pieļauj telpas-laika metriskās struktūras eksistenci pat tad, ja nebūtu zvaigžņu. Tādā gadījumā mēs tiešām būtu ļoti tuvu vecajai ētera teorijai, jo nekustīgais, neredzamais receklis (ko nosauca par ēteri) būtu aizvietots ar telpas-laika nekustīgo, neredzamo struktūru. Pieņemot šādu uzskatu, paātrinājumam un rotācijai būtu neticami absolūts raksturs. Tā tas tiešām arī ir, jo šī uzskata aizstāvji ir pārliecināti, ka paātrinājums un rotācija ir *absolūti*. Taču, ja jau inerces parādības ir relatīvas attiecībā nevis pret šādu struktūru, bet gan pret zvaigžņu radīto struktūru, tad relativitāte izpaužas vistiešāk.

Asprātīgu teoriju, ejot pa Maha ceļu, radījis angļu



kosmologs Deniss Skiama. Tā saistošā veidā izklāstīta viņa populārajā grāmatā «Visuma vienība». Skiama uzskata, ka inerces parādības, kuras izraisa rotācijas kustība un paātrinājums, ir tādas kustības rezultāts, ko var attiecināt uz visiem Visuma ķermeņiem. Ja tas tiešām tā būtu, inerces mērījumi ļautu noteikt arī Visuma ķermeņu pilno kustības daudzumu. Skiama iegūtie viendabojumi parāda, ka tuvāko zvaigžņu ietekme uz inerci ir ārkārtīgi maza. Pēc viņa aprēķina visas mūsu Galaktikas zvaigznes dod tikai vienu desmitmiljono daļu no esošā inerces spēka uz Zemes. Lielāko daļu no tā rada tālās galaktikas. Pēc Skiamas domām, apmēram 80% no inerces spēka rodas sakarā ar kustību attiecībā pret tik tālām galaktikām, kuras mēs pat savos teleskopos nevaram ieraudzīt.

Laikā, kad dzīvoja Mahs, nekas vēl nebija zināms par citu galaktiku eksistenci. Tajā laikā pat nezināja, ka mūsu Galaktika griežas. Tagad astronomi zina, ka griežoties rodas centrālās spēki, un tāpēc mūsu Galaktika ir stipri saplacināta. Pēc Maha uzskatiem, tā var notikt tikai tad, ja ārpus mūsu Galaktikas eksistētu milzīgi vielas daudzumi. «Ja Mahs būtu zinājis par inerces parādībām, kas rodas mūsu Galaktikai griežoties,» norāda Skiama, «viņš būtu paredzējis, ka eksistē arī citas galaktikas jau apmēram 50 gadus pirms šo galaktiku atklāšanas.»

Īpatnējo Skiamas uzskatu vēl labāk var ilustrēt šādi. Apskatīsim rotālietiņu, kas ir kvadrātveida kastīte ar stikla vāciņu. Kastītes vidū iedobumā ir četras mazas tērauda lodītes. Šo centrālo iedobumu ar visiem četriem kastītes stūriem savieno renītes, kuras stūros nobeidzas ar mazu iedobumu. Jūsu uzdevums — panākt, lai visas četras lodītes vienlaicīgi atrastos iedobumos kastītes stūros. Ir tikai viens atrisinājums, kā to veikt, — uzlikt rotālietiņu uz galda un iegriezt. Tātad atrisinājums ir centrālās spēkā. Ja pareizs ir Skiamas uzskats, tad rotālietiņas uzdevumu nevarētu atrisināt, ja milzīgos attālumos no mums neeksistētu galaktiku miljardi.

Pa kādu ceļu tālāk attīstīsies relativitātes teorija? Pa Maha un Skiamas norādīto, vai saglabāsies telpas-

laika struktūra, kas nav atkarīga no zvaigznēm? Uz to neviens pagaidām nevar atbildēt. Ja tālāk sekmīgi attīstīsies tāda lauka teorija, pēc kuras vielas elementārdaļiņas varēsīm uzskatīt par telpas-laika lauku, tad arī zvaigznes pašas kļūst par šāda lauka izpausmi. Tad struktūru neveidos zvaigznes, bet gan pati struktūra veidos zvaigznes. Taču pagaidām tie visi ir tikai minējumi.



8. Dvīņu paradokss

Kā reaģēja pasauleslavenie zinātnieki un filozofi uz šo jauno, savādo relativitātes pasauli? Dažādi. Lielākā daļa fiziķu un astronomu bija samulsināti par *veselā saprāta* principu pārkāpšanu un arī par vispārīgās relativitātes teorijas matemātiskām grūtībām, tāpēc klusēja. Taču tādi zinātnieki un filozofi, kuri izprata relativitātes teoriju, pieņēma to ar prieku. Mēs jau pieminējām to, cik ātri Einšteina sasniegumu saprata Edingtons. Rinda izcilu filozofu — Moriss Šliks, Bertrands Rasels, Rūdolfs Kerneps, Ernsts Kasirers, Alfreds Vaitheds, Hansis Reichenbahs kļuva par šīs teorijas pirmajiem entuziastiem, kuri to aprakstīja un mēģināja izprast tās secinājumus. 1925. gadā pirmo reizi publicēja Rasela «Relativitātes teorijas ābeci», kas vēl līdz pat šai dienai ir viens no populārākajiem relativitātes teorijas izdevumiem.

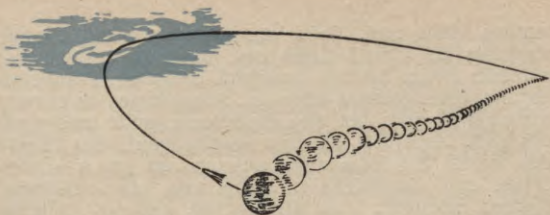
Tomēr daudzi zinātnieki nespēja atbrīvoties no vecā nūtoniskā domāšanas veida. Viņi daudzējādi līdzinājās tiem Galileja laika zinātniekiem, kuri savukārt nevarēja pieļaut, ka Aristotelis būtu kļūdījies. Arī Maikelsons neatzina relativitātes teoriju, lai gan tieši viņa lielais eksperiments bija viens no tiem, kas sekmēja speciālās relativitātes teorijas rašanos. 1935. gadā es biju Čikāgas universitātes students un mums astronomijas kursu lasīja plaši pazīstams zinātnieks profesors Viljams Makmilans. Viņš teica mums tieši tā: «Rela-

tivitātes teorija ir nožēlojams pārpratums!» Savās piezīmēs 1927. gadā viņš rakstīja: «Mēs esam pārāk nepacietīgi, lai kaut ko sagaidītu. Pagājušajos 40 gados pēc Maikelsona eksperimenta mēs esam atteikušies no visa, ko mums mācīja agrāk; esam radījuši postulātu, kas ir pats bezjēdzīgākais no tiem, kādus vien varējām iedomāties. Mēs esam pat radījuši neņūtonisku mehāniku, kura atzīst šo postulātu. Sasniegtie panākumi gan pierāda mūsu radošās aktivitātes un asprātības lieliskās iespējas, bet nav pārliecības, vai tie parāda arī mūsu veselā saprāta iespējas.»

Pret relativitātes teoriju izvirzīja visdažādākos iebildumus. Viens no pirmajiem un visvairāk lietotiem iebildumiem saistījās ar paradoksu, par kuru rakstīja pats Einšteins 1905. gadā publikācijā par speciālo relativitātes teoriju (vārdu *paradokss* lieto, lai apzīmētu it kā kaut ko pretrunīgu vispārpieņemtajam, bet kas loģiski nerada pretrunas).

Arī mūsdienu zinātniskā literatūra daudz uzmanības pievērš šim paradoksam. Kosmisko lidojumu attīstība ir saistīta ar fantastiski precīzu aparātu laika mērīšanai konstrukciju, tā ka varbūt jau drīz būs iespēja tieši pārbaudīt šo paradoksu.

Parasti paradoksu paskaidro ar iedomātu eksperimentu, kurā piedalītos dvīņi. Viņi kosmodromā atvadās un salīdzina savus pulksteņus. Viens no viņiem dodas ilgākā lidojumā kosmosā. Kad kosmiskais kuģis atgriežas, dvīņi satiekoties atkal salīdzina pulksteņus. Saskaņā ar speciālo relativitātes teoriju ceļotāja pulkstenis rādīs mazliet mazāku laiku, tātad laiks kosmiskajā kuģī iet lēnāk nekā uz Zemes. Līdz tam laikam, kamēr kosmiskie maršruti sniegsies tikai mūsu Saules sistēmā un kosmisko kuģu ātrumi būs relatīvi nelieli, šī laiku starpība būs neievērojami maza. Bet tad, kad kuģu ātrumi tuvosies gaismas ātrumam un lidojumi notiks daudz lielākos attālumos, *laika saīsināšanās* (arī tā kādreiz sauc šo parādību) palielināsies. Pilnīgi ticams, ka nākotnē būs iespējams ilgstoši paātrināt kosmisko kuģi, līdz tas sasniegs ātrumu, tuvu gaismas ātrumam. Tad varēs nokļūt līdz citām mūsu Galaktikas zvaigznēm un varbūt pat citās galaktikās. Tātad dvīņu paradokss nav



vienkārši interesanta mīkla tikai viesistabā, bet kādreiz klūs par kosmisko ceļotāju ikdienu.

Kaut mirkli iedomāsimies, ka viens no dvīņiem aizlido 1000 gaismas gadu attālumā un tūlīt atgriežas. Šis attālums salīdzinājumā ar mūsu Galaktikas izmēriem ir mazs. Vai var cerēt, ka kosmonauts ceļā nenomirs? Vai, ģimenēm dodoties ilgstošā kosmiskā lidojumā, kuģī nebūs mainījušās daudzas paaudzes, kā to bieži apraksta daudzu zinātniski fantastisko stāstu autori?

Atbilde ir atkarīga no kosmiskā kuģa kustības ātruma. Ja tas būs tuvs gaismas ātrumam, laiks kosmiskā kuģī ritēs ievērojami lēnāk. Protams, pēc Zemes laika ceļojums ilgs vairāk nekā 2000 gadu. Bet kosmonautam, ja vien kuģis lidos pietiekoši ātri, ceļojums var arī ilgt tikai dažus gadu desmitus.

Lasītājiem, kuriem patīk skaitliski piemēri, dosim Kalifornijas universitātes fiziķa Edvīna Makmilana aprēķinu rezultātu. Kāds kosmonauts lido no Zemes uz spirālveida Andromedas miglāju, kas atrodas gandrīz divus miljonus gaismas gadu attālumā. Ceļa pirmajā pusē kuģis kustas ar pastāvīgu paātrinājumu $2g$, otrajā — ar pastāvīgu palēninājumu $2g$. Tā lidot ir ļoti ērti, jo visā kuģa lidojuma laikā kuģī būs radīts pastāvīgs gravitācijas lauks. Tāpat noris atpakaļceļojums. Pēc kosmonauta pulksteņa redzēsīm, ka ceļojums ildzis tikai 29 gadus, bet pēc Zemes pulksteņiem būs pagājuši 3 miljoni gadu!

Jūs droši vien ievērojāt, ka tādā veidā var rasties dažnedažādas vilinošas iespējas. Tā, piemēram, četrdesmit gadus vecais zinātnieks un viņa jaunā laborante

iemīlas viens otrā. Taču viņi saprot, ka lielās gadu starpības dēļ viņu laulības nav iespējamās. Tāpēc zinātnieks dodas ilgstošā kosmiskā ceļojumā, lidojot ar ātrumu, tuvu gaismas ātrumam. Atgriežoties uz Zemes, viņam ir 41 gads, bet viņa draudzenei jau ir trīsdesmit trīs gadi. Iespējams, ka viņa nespēja gaidīt šos 15 gadus, kamēr atgriežas viņas mīlotais, un jau ir apprecējusi citu. Zinātnieks ir sarūgtināts, atkal aizbrauc ilgstošā ceļojumā. Viņu arī interesē, kāda būs nākošo paaudžu attieksme pret vienu no viņa izvirzītajām teorijām. Šoreiz viņš atgriežas, kad viņam jau ir 42 gadi. Viņa agrākā draudzene jau sen ir mirusi, un, kas vēl sliktāk, no viņa teorijas vairs nekas nav palicis. Apvainojies viņš aizlido vēl garākā ceļojumā. Atgriežoties 45 gadu vecumā, viņš var apskatīt pasauli, kurā tikmēr jau pagājuši vairāki tūkstoši gadu. Pilnīgi iespējams, ka, līdzīgi kā ceļotājs Velsa romānā «Laika mašīna», zinātnieks konstatēs, ka cilvēce ir deģenerējusies. Un tagad viņš *uzsēdīsies uz sēkļa*. Velsa «Laika mašīna» varēja kustēties abos virzienos, bet mūsu zinātnieks nevarēs vairs atgriezties savā vēstures posmā.

Ja kādreiz šādi ceļojumi laikā kļūs reāli, radīsies pavisam jauni, nepierasti morāles jautājumi. Vai būs neļikumīgi, ja sieviete apprecēs savu mazmazmazmazmazdēla dēlu?

Ievērojiet, ka tāda veida ceļojumi laikā apiet visas loģiskās lamatas (tās ir zinātniskās fantastikas posts), jo jūs varat, piemēram, nokļūt pagātnē un noslepkaot savus vecākus pirms savas piedzimšanas vai arī iemānīties nākotnē un nošaut pats sevi.

Palūkosimies, kāds ir misis Kētas stāvoklis pazīstamajā humoristiskajā dzejolī:

Lēdijai Kētai gan steigties bij prieks,
Ātrāk par gaismu tai joņot bij nieks.
Tāpēc bij lēdijai nelaime viena:
Mūžīgi ieradās vakardienā.*

Ja viņa būtu atnākusi jau vakar, tad viņa satiktos ar savu dubultnieci, kura tur bija ieradusies tiešām vakar.

* Atdzejojis H. Gāliņš.

Taču vakar nevarēja atnākt divas misis Kētas, jo, dodoties ceļojumā laikā, viņa neko neatcerējās par satikšanos vakar ar savu dubultnieci. Tātad šeit ir loģiska pretruna. Tāda veida ceļojumi laikā loģiski nav iespējami, ja neiedomājamies, ka eksistē cita pasaule līdzīga mūsējai, kura arī pārvietojas laikā, tikai pa kādu citu ceļu (piemēram, dienu agrāk).

Jāievēro, ka, izmantojot Einšteina ceļojuma formu laikā, nav jāiedomājas, ka ceļotājs ir vai nu nemirstīgs, vai arī dzīvo līdz sirmam vecumam. No šāda ceļotāja viedokļa vecums viņam pienāk tāpat, kā dzīvojot uz Zemes, bet viņam liekas, ka laiks uz Zemes rit ar galvu reibinošu ātrumu.

Pazīstamais franču filozofs Anrī Bergsons, viens no lielākajiem domātājiem, dvīņu paradoksa dēļ *krustoja* šķēpus ar Einšteinu. Viņš daudz rakstīja par šo paradoksu un uzjautrinājās par to, jo šis paradokss viņam likās pilnīgs absurds. Par nožēlošanu jāsaka, ka visi šie viņa darbi pierādīja tikai to, ka liels filozofs var būt arī bez kaut cik ievērojamām matemātikas zināšanām. Arī pēdējos gados no jauna parādījušies dažādi protesti. *Visskaļāk* paradoksam atsakās ticēt angļu fiziķis



Herberts Dings. Par to jau viņš vairākus gadus raksta asprātīgus apcerējumus un apvairo relativitātes teorijas speciālistus gan stulbumā, gan patiesības sagrozīšanā. Sarežģītās matemātikas dēļ mēģināsim izdarīt tikai virspusēju analīzi, kura, protams, nevarēs pilnīgi izskaidrot šo polemiku. Šādā analizē pamēģināsim noskaidrot, kāpēc speciālisti ir nonākuši pie vienprātīga atzinuma — dvīņu paradokss kādreiz izpaudīsies tieši tā, kā to aprakstīja Einšteins.

Kādi tad ir Dingla iebildumi, kas ir visstiprākie starp visiem citiem dvīņu paradoksa noraidījumiem? Pēc vispārīgās relativitātes teorijas nav nekādas absolūtās kustības, nav nekādas *sevišķas* atskaites sistēmas. Jebkuru kustīgu ķermeni var uzskatīt par nekustīgu atskaites sistēmu, tādējādi nepārkāpjot nevienu dabas likumu. Ja par šādu atskaites sistēmu uzskatām Zemi, tad, kā jau redzējām, kosmonauts, atgriežoties pēc ilgāka ceļojuma, ievēros, ka viņš ir jaunāks nekā mājās palikušais brālis. Bet kā būs tad, ja par atskaites sistēmu izvēlēsimies kosmisko kuģi? No šāda viedokļa iznāk, ka Zeme attiecībā pret kosmisko kuģi dodas ilgstošā kosmiskā ceļojumā un atgriežas atpakaļ pie kuģa. Spriežot tā, jāsecina, ka brālis kosmiskajā kuģī būs kļuvis vecāks par savu brāli uz Zemes. Tādā gadījumā paradoksalais izaicinājums veselajam saprātam piekāpsies loģiskās pretrunas priekšā, jo abi dvīņu brāļi vienlaicīgi taču nevar būt jaunāki viens par otru!

Dings no tā secina — ir jāpieņem, ka pēc ceļojuma abu brāļu vecums būs pilnīgi vienāds, vai arī jānoraida relativitātes princips.

Pat neizdarot nekādus aprēķinus, var viegli saprast, ka šajā gadījumā bez divām alternatīvām pastāv arī citas. Tiesām, pareizi ir tas, ka jebkura kustība ir relatīva, taču šajā gadījumā ir būtiska atšķirība starp kosmonauta un uz Zemes palikušā brāļa relatīvajām kustībām. Pēdējais ir nekustīgs attiecībā pret Visumu.

Kā izprast šo starpību, izskaidrojot paradoksu?

Pieņemsim, ka kosmonauts ar nemainīgu ātrumu Galaktikā aizlido uz kādu planētu X. Mājās palikušā brāļa pulkstenis ir saistīts ar Zemes inerciālo atskaites sis-

tēmu. Tā rādījums sakrīt ar visu citu pulksteņu rādījumiem uz Zemes, jo visi šie pulksteņi cits attiecībā pret citu ir nekustīgi. Kosmonauta pulkstenis ir saistīts ar citu atskaites sistēmu — ar kosmisko kuģi. Ja kuģis visu laiku kustētos tikai vienā virzienā, tad nekāda paradoksa nebūtu, jo abu brāļu pulksteņus nekādā veidā nevarētu salīdzināt. Taču pie planētas X kuģis apstājas un sāk lidot atpakaļ uz Zemi. Tagad izmainās arī inerciālā atskaites sistēma — tās sistēmas vietā, kura kustējās projām no Zemes, rodas cita, kura kustas virzienā uz Zemi. Tā kā kuģis pagriezienā kustas paātrināti, rodas milzīgi inerces spēki. Tā, piemēram, ja šis paātrinājums būs ļoti liels, kosmonauts var pat nomirt. Protams, šādi inerces spēki iedarbosies uz kosmonautu tikai tad, kad mainīsies tā stāvoklis attiecībā pret Visumu. Otrs brālis uz Zemes nejutīs šo iedarbību, jo Zemei tāda paātrinājuma nebūs.

Kas attiecas uz laiku, tad var teikt, ka paātrinājuma dēļ radušies inerces spēki palēnina kosmonauta pulksteņa gaitu, vai arī radies paātrinājums vienkārši norāda uz to, ka mainījusies atskaites sistēma. Līdz ar to kosmiskā kuģa pasaules līnija (tā ceļš Minkovska telpas-laika četrkoordinātu grafikā) izmainās tā, ka pilnais ceļojuma *pašlaiks* ir mazāks nekā pilnais *pašlaiks* brālim uz Zemes, kura pasaules līnija neizmainās.

Bet Dingla iebildumi vēl nav novērsti. Tādus pašus aprēķinus var iegūt arī tad, ja pieņem, ka nekustīgā atskaites sistēma ir nevis Zeme, bet kosmiskais kuģis. Šādā gadījumā Zeme lidotu prom no kuģa, bet pēc tam atgrieztos atpakaļ, tātad Zeme mainītu inerciālo atskaites sistēmu. Kāpēc uz to pašu vienādojumu bāzes neizdarīt aprēķinus arī tagad, lai pierādītu, ka laiks uz Zemes ir atpalicis? Arī šādi aprēķini būtu pareizi, ja nebūtu aizmirsts viens svarīgs fakts — kustoties Zemei, tai līdzīgi kustētos arī Visums. Kad Zeme pagrieztos, to darītu arī Visums. Visuma paātrinājums radītu ļoti stipru gravitācijas lauku, bet, kā tas jau agrāk tika parādīts, gravitācija palēnina pulksteņa gaitu. Tā, piemēram, pulkstenis uz Saules tikšķ retāk nekā uz Zemes, bet uz Zemes retāk nekā uz Mēness. Izdarot visus aprēķinus, varētu noskaidrot, ka Visuma paātrinājuma

radītais gravitācijas lauks palēninātu pulksteņa gaitu kosmiskajā kuģī tieši tāpat, kā gadījumā, kad kustētos kosmiskais kuģis. Šis gravitācijas lauks pulksteni uz Zemes neietekmētu, jo Zeme taču attiecībā pret kosmosu nekustas un tāpēc uz tās šis papildu gravitācijas lauks nerastos.

Apskatīsim citu piemēru, kurā rodas tieši tāda pati laiku starpība, kaut gan nekāda paātrinājuma nav. Planētas X virzienā garām Zemei ar pastāvīgu ātrumu aizlido kāds kosmiskais kuģis A . Momentā, kad tas lido tieši garām Zemei, pulksteni uz kuģa nostāda uz nulli. Turpinot lidojumu, kuģis A pie planētas X satiek kosmisko kuģi B , kas arī lido ar nemainīgu ātrumu, tikai pretējā virzienā. Momentā, kad abi kuģi atrodas viens otram vistuvāk, kuģis A pa radio paziņo laiku pēc sava pulksteņa. Šo laiku atzīmē uz kuģa B , un kuģis B turpina lidot Zemes virzienā. Ejot garām Zemei, kuģis B paziņo Zemei, kādā laikā kuģis A lidojis no Zemes līdz planētai X , kā arī laiku, kādā kuģis B veicis attālumu no planētas X līdz Zemei, izmērītu pēc sava pulksteņa. Šo abu laiku summa būs mazāka nekā laiks, ko atzīmēs pulkstenis uz Zemes starp abu kuģu A un B garāmiešanas (Zemei) momentiem.

Šo laiku starpību var aprēķināt ar speciālās relativitātes vienādojumiem. Šādā piemērā nav runas par paātrinājumiem. Protams, nav arī dvīņu paradoksa, jo nav kosmonauta, kas izlidotu un atlidotu. Bet mēs varētu pieņemt, ka viens no dvīņiem aizlido kosmiskajā kuģī A , bet satiekot kuģi B , pārsēžas tajā un atlido atpakaļ. Tomēr to nevar izdarīt, nepārejot no vienas atskaites sistēmas uz otru, tāpēc pārsēšanās brīdī kosmonautam būtu jāizjūt neticami liels inerces spēks. Šajā gadījumā mēs varētu teikt, ka lidojošā brāļa pulksteņa gaitu palēnināja inerces spēki. Bet, apskatot visu epizodi no ceļojošā brāļa redzes viedokļa (uzskatot tā kuģi par nekustīgu atskaites sistēmu), jāpieņem, ka kosmoss kustas un rodas papildu gravitācijas lauks. Iztirzājot šos abus piemērus, redzams, ka sajukumu rada tas, ka situāciju var apskatīt no diviem dažādiem aspektiem. Relativitātes teorijas vienādojumi vienmēr dod vienu un to pašu laiku starpību neatkarīgi no pie-

ņemtās atskaites sistēmas. To var iegūt, izmantojot tikai speciālo relativitātes teoriju. Vispārīgo relativitātes teoriju mēs šeit izmantojam tikai tāpēc, lai aizstāvētu dvīņu paradoksu pret Dingla iebildumiem.

Bieži nav iespējams noteikt, kurš pieņēmums ir pareizs. Vai turp un atpakaļ lido dvīņu brālis kosmiskajā kuģī, vai to dara otrs brālis uz Zemes kopā ar kosmosu? Ir tikai viens fakts — dvīņu brāļu relatīvā kustība, bet ir divi veidi, kā to apskatīt. No viena redzes viedokļa vecuma starpība būs tāpēc, ka kosmonauta inerciālās atskaites sistēmas maiņa rada inerces spēkus. No otrā — tāpēc, ka radušies papildu gravitācijas spēki gūst pārsvaru pār efektu, kas rodas ar Zemes inerciālās sistēmas maiņu. Savukārt jebkurā gadījumā brālis uz Zemes un kosmosā ir nekustīgs attiecībā viens pret otru. Tātad iznāk, ka situācija no dažādiem redzes viedokļiem ir pilnīgi dažāda, neskatoties uz to, ka precīzi saglabājas kustības relativitāte. Paradoksālā vecuma starpība paliek neatkarīgi no tā, kurš no dvīņu brāļiem tiek pieņemts kā nekustīgs. Tātad paliek spēkā arī relativitātes teorija.

Bet tagad viens interesants jautājums. Pieņemsim, ka kosmosā nav nekā cita, izņemot divus kosmiskos kuģus *A* un *B*. Kuģis *A* ar sava raķešu dzinēja palīdzību paātrinās, veic ilgstošu kosmisko lidojumu un tad atgriežas atpakaļ. Ja kuģim *A* aizlidojot, abu kuģu pulksteņi būs sinhronizēti, vai tie rādīs vienādi, kuģim *A* atgriežoties?

Atbilde būs atkarīga no tā, vai izmantosim Edingtona vai Denisa Skiamas uzskatu par inerci. Pēc Edingtona teorijas atbilde būs pozitīva. Kuģis *A* paātrinās attiecībā pret kosmosa telpas un laika struktūru, bet kuģis *B* nepaātrinās. Šis stāvokļa nesimetriskums tad arī radīs parasto vecuma starpību. Pēc Skiamas teorijas atbilde būs negatīva. Par paātrinājumu ir jēga runāt tikai tad, ja attiecina to pret citiem materiāliem ķermeņiem. Taču šajā piemērā vienīgie ķermeņi ir abi kuģi, tāpēc situācija ir pilnīgi simetriska. Tik tiešām, šajā gadījumā nevar runāt par inerciālu atskaites sistēmu, jo inerces taču nav (izņemot ļoti vāju inerci, kas saistīta ar abu kosmisko kuģu sistēmu). Grūti iedomā-

ties, kas notiktu, ja kuģis ieslēgtu savus reaktīvos dzinējus, bet kosmosā nebūtu inerces! Pēc angļa Skiamas atturīgā izteiciena: «Tādā Visumā būtu pavisam cita dzīve!»

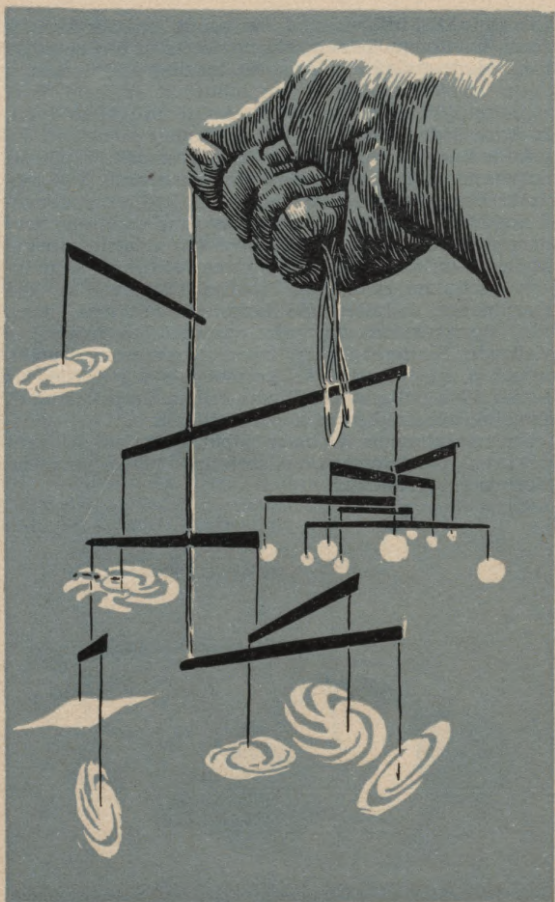
Tā kā lidojošā brāļa pulksteņa gaitas palēnināšanos var izskaidrot ar gravitāciju, tad jebkurš eksperiments, kurā laika palielināšanos rada smagums, praktiski pierāda dvīņu paradoks. Pēdējos gados daži tādi apstiprinājumi ir iegūti ar jaunu lielisku laboratorijas metodi, kurā izmanto Mesbauera efektu. Jauns vācu fiziķis Rūdolfs Mesbauers 1958. gadā atklāja, kā var izgatavot *atompulkstēni*, kurš ar neticamu precizitāti mēra laiku. Iedomājieties vienu pulksteni, kas tikšķētu piecas reizes sekundē, un otru, kas tikšķētu tā, ka pēc miljona miljona tikšķu atpaliktu tikai par tikšņa simto daļu. Mesbauera efekts tūlīt noteiktu, ka otrais pulkstenis atpaliek no pirmā. Izmantojot Mesbauera efektu, pierādīja, ka pulksteņa gaita pie mājas pamata (lielāks smaguma spēks) ir lēnāka nekā uz mājas jumta. Trāpīgi to ilustrējis Gamovs: «Mašīnrakstītāja, kas strādā debesskrāpja *«Empire State Building»* * pirmajā stāvā, noveco lēnāk nekā viņas dvīņu māsa, kas strādā zem paša jumta.» Skaidrs, ka šī vecuma starpība ir neievērojami maza, un tomēr to var izmērīt.

* Debesskrāpis Ņujorkā, kam 102 stāvi.



Izmantojot Mesbauera efektu, angļu fiziķi ir konstatējuši, ka atompulkstenis, kas novietots uz ātri rotējoša diska (diametrs 15 cm) apmales, mazliet palēnina savu gaitu. Rotējošo pulksteni var salīdzināt ar dvīni, kurš nepārtraukti maina savu atskaites sistēmu (vai kā dvīni, uz kuru iedarbojas gravitācijas lauks, pieņemot, ka disks ir miera stāvoklī, bet griežas kosmosā). Tāpēc šis eksperiments tieši pārbauda dvīņu paradoksu. Vēl precīzāks eksperiments tiktu veikts tad, kad atompulksteni novietotu uz mākslīgā pavadoņa, kas varētu ar lielu ātrumu riņķot ap Zemi. Tad pavadoni nolaistu atpakaļ uz Zemes un salīdzinātu tā pulksteņa rādījumu ar pulksteņa rādījumu uz Zemes. Protams, tuvojas laiks, kad kosmonauts, dodoties tālā kosmiskā ceļojumā, ņems līdzī atompulksteni un veiks visprecīzāko paradoksa pārbaudi. Neviens fiziķis, izņemot profesoru Dingle, nešaubās, ka tad, kad šis kosmonauts atgriezīsies uz Zemes, viņa pulksteņa rādījums nedaudz atpaliks no tā atompulksteņa rādījuma, kas būs uz Zemes.

Un tomēr mums vienmēr jābūt gataviem sagaidīt jebkurus pārsteigumus. Atcerieties Maikelsona un Morleja eksperimentu!

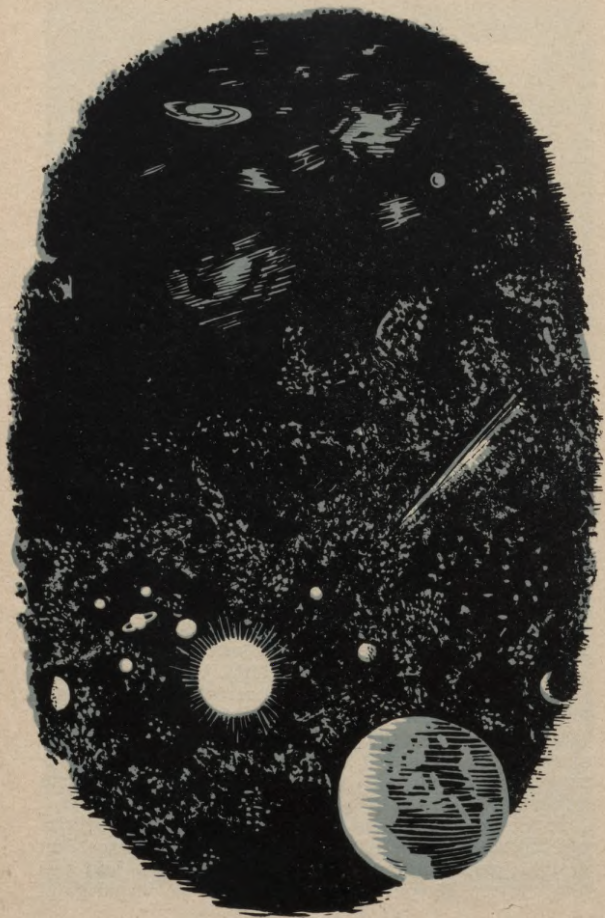


9. Visuma modeļi

Pašreiz nav neviena fizika, kas neatzītu speciālo relativitātes teoriju, un tikai nedaudzi apstrīd vispārīgās relativitātes teorijas pamatpostulātus. Tiesa, vispārīgā relativitātes teorija vēl nav atrisinājusi daudzas svarīgas problēmas. Arī novērojumi un eksperimenti, kuri apstiprina šo teoriju, ne vienmēr ir pārliecinoši, bez tam to ir maz. Bet pat tad, ja arī vispār nebūtu nekādu eksperimentālu pierādījumu, vispārīgā relativitātes teorija dotu lielu ieguldījumu zinātnē, jo tā fizikā ievēd daudzus vienkāršojumus.

Vienkāršojumus? Var likties neparasti, attiecināt šādu vārdu uz teoriju, kurā pielieto tik sarežģītu matemātisku aparātu. Kādreiz sacīja, ka visā pasaulē šo teoriju saprot ne vairāk kā divpadsmit cilvēku (starp citu, tas ir pārspīlēti maz pat tam laikmetam). Vispārīgās relativitātes teorijas matemātiskais aparāts ir tiešām sarežģīts, bet vispārējie jautājumi vienkāršojas. Tā, piemēram, uzskatot gravitācijas un inerces parādības par vienu un to pašu, vispārīgo relativitātes teoriju veiksmīgi var izmantot, lai radītu priekšstatu par Visuma uzbūvi.

Šo domu 1921. gadā izteica jau Einšteins Prinstonas universitātē lekcijas laikā: «Tas, ka inerces un gravitācijas skaitliskās vērtības ir vienādas, ļauj par tām spriest kā par vienu parādību un vispārīgajai



relativitātes teorijai rada tādas priekšrocības salīdzinājumā ar klasiskās mehānikas koncepcijām, ka visas grūtības var uzskatīt par nelielām . . .»

Bez tam relativitātes teorijai piemīt arī tas, ko matemātiķi sauc par *eleganci*, jo tā ir kā sava veida mākslas darbs. «Katram skaistuma mīļotājam,» kādreiz izteicās Lorencs, «ir jāvēlas, lai šī teorija izrādītos pareiza.»

Šajā grāmatas nodaļā neapskatīsim relativitātes teorijas stingri iesakņojušos aspektus, bet lasītājam būs jāienirst niknu strīdu dzelmēs, kur katrs uzskats ir tikai pieņēmums, kas savukārt ar zinātniskiem spriedumiem ir vai nu jāpierāda, vai jānoraida. Kas ir Visums? Mēs zinām, ka Zeme ir planēta mūsu Saules deviņu planētu sistēmā. Savukārt Saule ir viena no apmēram simtiem miljardu zvaigžņu, kuras veido mūsu Galaktiku. Mēs arī zinām, ka tajā telpas daļā, kuru esam izpētījuši ar visjaudīgākiem teleskopiem, ir izklidētas arī citas galaktikas, kuru skaits sniedzas miljardos. Vai tas tā turpinās līdz bezgalībai? Vai galaktiku skaits arī ir bezgalīgs? Jeb vai telpai tomēr ir kādi galīgi izmēri? Varbūt mums jāsaka *mūsu telpa*, jo, ja tā ir galīga, tad kāpēc gan nevarētu pastāvēt vēl arī citas?

Astronomi mēģina atbildēt uz šiem jautājumiem. Viņi konstruē dažādus Visuma modeļus — pasaules iedomāto izskatu, ja pieņem, ka pasaule ir viens vesels. Deviņpadsmitā gadsimta sākumā daudzi astronomi uzskatīja, ka Visums ir bezgalīgs un tajā ir bezgalīgi daudz sauļu. Telpu uzskatīja par Eiklīda telpu. Taisnas līnijas, ejot visos virzienos, aizgāja bezgalībā. Ja kosmiskais kuģis dotos ceļā jebkurā taisnā virzienā, tā ceļojums ilgtu bezgalīgi un tas nekad nesasniegtu robežu. Tāds uzskats bija jau arī senajiem grieķiem. Viņi mēdza teikt, ka, ja karavīrs mestu savu šķēpu telpā arvien tālāk un tālāk, viņš nekad nevarētu sasniegt tās beigas. Ja tādu telpas nobeigumu mēs tomēr varētu iedomāties, tad karavīrs varētu nostāties tur un atkal mest šķēpu vēl tālāk.

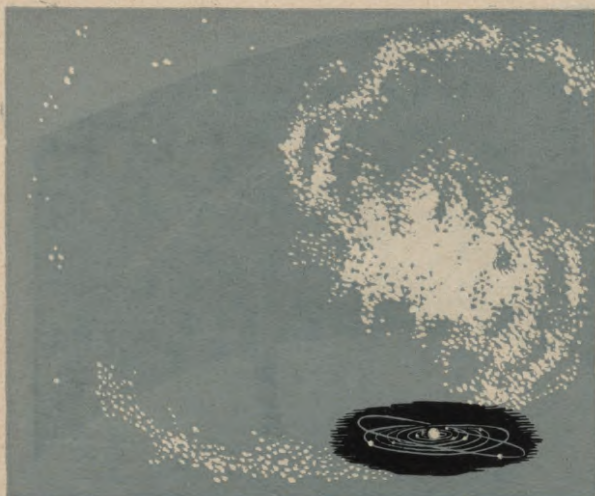
Šādu uzskatu 1826. gadā apšaubīja vācu astronoms Heinrihs Olberss. Ja jau sauļu skaits ir bezgalīgs un tās izvietotas telpā haotiski, tad taisnei, ejot no Zemes jebkurā virzienā, galu galā būtu *jāatduras* pret kādu no





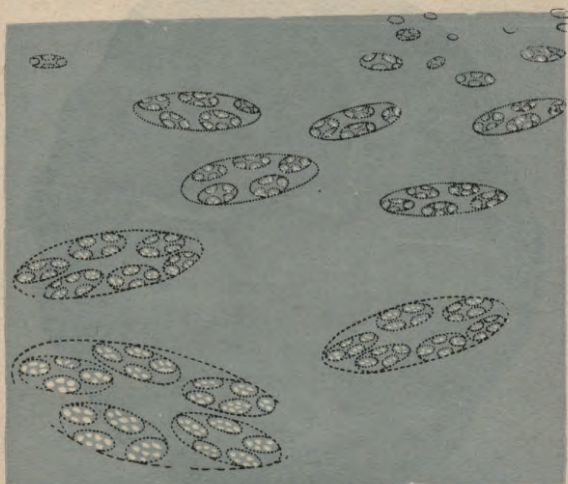
zvaigznēm. Tādā gadījumā visai debesij naktī vajadzētu izskatīties kā nepārtrauktai žilbinošai virsmai. Mēs zinām, ka tā nav, tāpēc ir jāpierāda, kāpēc debesis naktī ir tumšas. Tas ir tā saucamais *Olbersa paradokss*. Lielākā daļa astronomu deviņpadsmitā gadsimta beigās un divdesmitā gadsimta sākumā uzskatīja, ka saūļu skaits ir ierobežots. Pēc viņu domām visas saules ir koncentrētas mūsu Galaktikā. Bet kas ir ārpus šīs Galaktikas? Nekas! Tikai šī gadsimta divdesmito gadu vidū ieguva neapstrīdamus pierādījumus, ka eksistē miljoniem galaktiku, kuras atrodas milzīgos attālumos no mūsējās. Tomēr pastāvēja arī uzskats, ka tālo zvaigžņu gaismu var absorbēt kosmisko putekļu sablīvējumi.

Zviedru matemātiķis V. Šarljē šim paradoksam deva visasprātīgāko izskaidrojumu. Viņa doma ir šāda — galaktikas grupējas asociācijās, asociācijas — superasociācijās, superasociācijas tālāk supersuperasociācijās utt. līdz bezgalībai. Katrā apvienošanās pakāpē attālumi



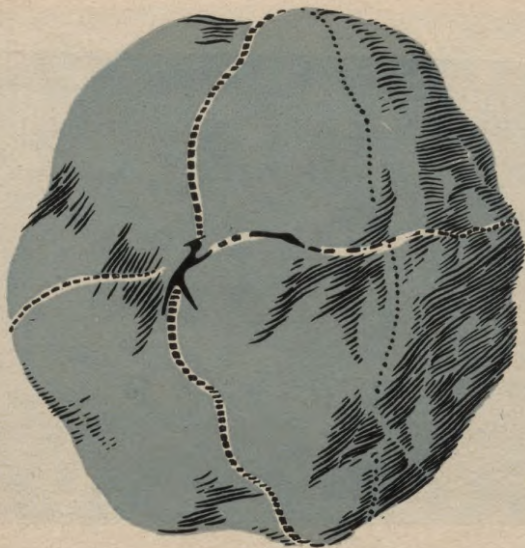
starp grupām pieaug ātrāk nekā grupu izmēri. Ja tas būtu pareizi, tad, jo tālāk mēs turpinātu taisno līniju no mūsu Galaktikas, jo mazāka būtu varbūtība, ka tā krustotu citu galaktiku. Šādu asociāciju hierarhija ir bezgalīga, tātad, kā iepriekš varētu apgalvot, Visumā ir bezgalīgi daudz zvaigžņu. Šādā Olbersa paradoksa izskaidrojumā nav nekādu kļūdu, izņemot to, ka ir vēl viens, daudz vienkāršāks izskaidrojums.

1917. gadā pats Einšteins, pamatojoties uz relativitātes teoriju, izstrādāja jaunu Visuma modeli. Tas bija elegants, lielisks modelis, tikai diemžēl vēlāk Einšteins bija spiests no tā atteikties. Jau agrāk mēs apskatījām, ka gravitācijas lauks ir telpas un laika struktūras izliekums, kas rodas lielu masu klātbūtnē. Skaidrs, ka katrā galaktikā ir daudz tādu telpas un laika savērpumu un liekumu. Bet kā ir ar milzīgajiem tukšuma apgabaliem



starp galaktikām? Daudzi uzskata, ka, jo attālums no galaktikas ir lielāks, jo telpa kļūst plakanāka. Ja Visumā nebūtu matērijas, tad telpa būtu pilnīgi plakana. Citi fiziķi uzskata, ka šādā gadījumā vispār nav jēgas runāt par kādu Visuma struktūru. Visuma telpa un laiks abos gadījumos izplatās neierobežoti visos virzienos.

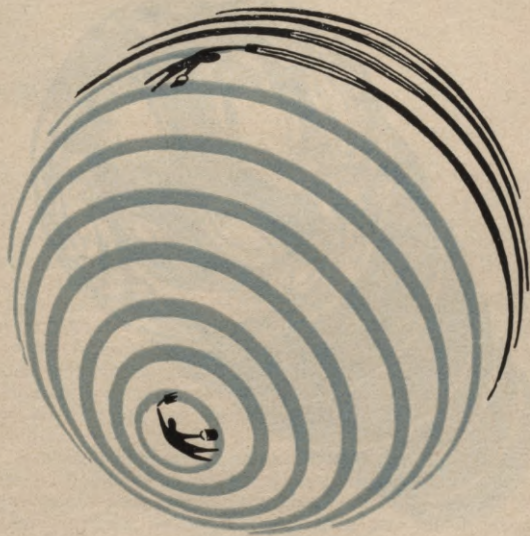
Einšteins izvirzīja citu priekšlikumu. Pieņemsim, viņš sacīja, ka matērijas Visumā ir tik daudz, ka tam ir pozitīvs liekums. Šādā gadījumā telpa pati sevi noslēgtu visos virzienos. To nevar izprast, ja neņem palīgā četrdimensiju neeiklīda ģeometriju, tomēr pašu domu var uztvert pat ar divdimensiju modeļa palīdzību. Iedomāsimies, ka pastāv kāda plakana zeme Plaknija, kurā dzīvo divdimensiju būtnes. Tās uzskata, ka viņu zeme ir Eiklīda plakne, kura neaprobežoti izplatās visos



virzienos. Protams, Plaknijas saules uz šīs virsmas rada dažādus izliekumus, taču tie ir tikai lokāli un neietekmē vispārējo gludumu. Taču šīs zemes astronomi varētu domāt arī citādi. Iespējams, ka katrs tāds lokāls izliekums nedaudz izliec visu virsmu tā, ka visu saulu kopējā iedarbībā tomēr deformējas visa plakne un tā pēc izskata kļūst līdzīga paugurainai sfērai. Arī šāda virsma būs neierobežota, un jūs pa to varētu kustēties jebkurā virzienā un tomēr nevarētu sasniegt robežu. Plaknijas karavīrs nevarēs atrast tādu vietu, no kurienes viņš savu plakano šķēpu nevarētu mest tālāk. Un tomēr šādas zemes virsma būtu galīga. Ceļotājs, kas ļoti ilgi kustētos pa taisnu līniju, galu galā nonāktu atpakaļ turpat, no kurienes sāktu savu ceļojumu.

Matemātiķi saka, ka tāda virsma ir *noslēgta* un, protams, nav neierobežota. Līdzīgi bezgalīgai Eiklīda telpai, tās centrs ir visur, bet perifērijas nav. Tādas zemes iedzīvotāji var viegli pārbaudīt šo *noslēgtību*. Par vienu no kritērijiem jau runājām — kustība ap sfēru visos virzienos. Cits varētu būt šāds. Ja tādas zemes iedzīvotājs kādā punktā uz šīs virsmas sāktu ap sevi vilkt lielākus un lielākus aplus, tad viņš galu galā sfēras pretējā pusē pats sevi ieslēgtu šādā riņķī. Taču, ja šī sfēra būtu ļoti liela un iedzīvotāji apdzīvotu tikai nelielu daļu no tās, viņiem šādus topoloģiskus eksperimentus nebūtu iespējams veikt.

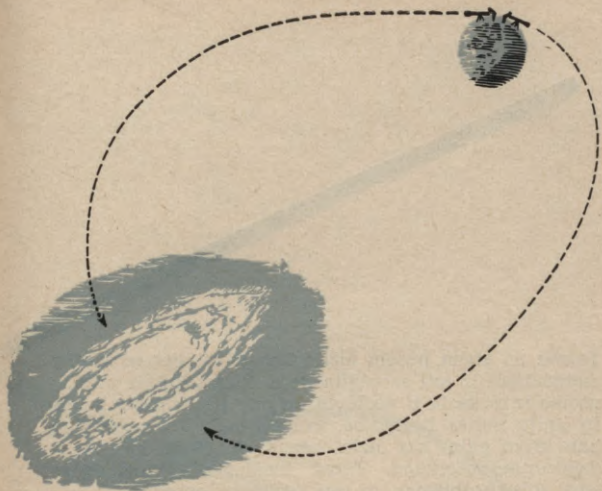
Einšteina dotais modelis bija šāds. Mūsu telpa ir milzīga hipersfēras (četrdimensiju sfēras) trīsdimensiju



virsmā. Šādā modelī laiks nav izliekts — tā ir taisna koordināte, kura nāk no bezgalības un izplatās tālu uz priekšu. Ja iedomāsimies, ka šādam modelim ir četrdimensiju telpas un laika struktūra, tad tas vairāk atgādinās hipercilindru nekā hipersfēru. Tāpēc parasti to arī sauc par *cilindriskā Visuma* modeli. Jebkurā laika momentā mēs varam iedomāties telpu kā šāda hipercilindra trīsdimensiju šķērs griezumumu, un katrs šāds šķērs-griezums būs hipersfēras virsma.

Mūsu Galaktika no šīs virsmas aizņem tikai neievērojamu daļu, tā ka, protams, pagaidām nav iespējams veikt tādus topoloģiskus eksperimentus, kuri pierādītu šīs virsmas noslēgtību. Taču tāda iespēja principā pastāv. Iestādīsim kādā virzienā pietiekoši jaudīgu tele-





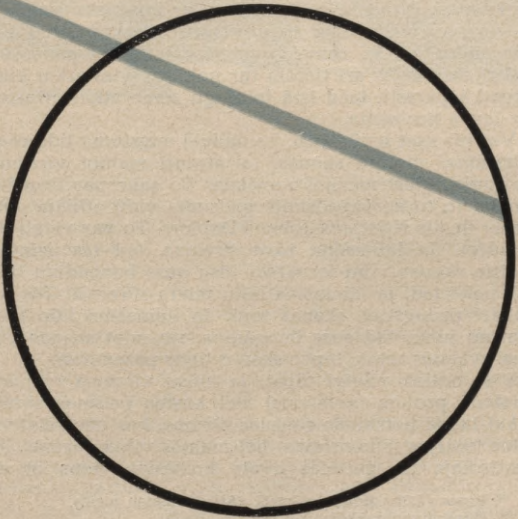
skopu un fokusēsim to uz kādu galaktiku. Ja tagad pagriezīsim teleskopu pretējā virzienā, mēs ieraudzīsim šo pašu galaktiku no otras puses. Ja kosmiskie kuģi varētu lidot ar ātrumu, kas tuvs gaismas ātrumam, tad, kustoties jebkurā virzienā pa vistaisnāko līniju, tie varētu izveidot Visumā aploci. Visumā nevarētu vilkt apļus vārda burtiskā nozīmē, bet principā to var izdarīt, sastādot Visuma sfēriskās kartes arvien lielākos izmēros. Ja kartogrāfs šo darbu turpinātu pietiekoši ilgi, viņš konstatētu, ka atrodas pēdējās kartes iekšpusē. Šāda sfēra samazinātos arvien vairāk un vairāk, līdzīgi kā samazinājās apli, kurus vilka plakanās zemes iedzīvotājs.

Einšteina izveidotais neeiklīda modelis dažos aspektos ir vienkāršāks pat par klasisko modeli, kurā telpa nav liekta. Šeit vienkāršība jāizprot līdzīgi tam, kā sakām — riņķa līnija ir vienkāršāka par taisnu līniju.

Taisne uz abām pusēm aiziet bezgalībā, bet bezgalība matemātikā ir ļoti sarežģīta lieta. Riņķa līnijas priekšrocība ir tā, ka tā ir noslēgta, un nav jāuztraucas, kas ar šo līniju notiks bezgalībā. Precīzajā Einšteina Visumā nav brīvo galu, kas aiziet bezgalībā, tāpēc nav vajadzīgi robežnoteikumi. Tātad Einšteina Visumā neeksistē robežproblēmas, jo tam taču nav robežas.

Divdesmitos gados bija izveidoti arī citi kosmoloģiski modeļi, kas arī atbilda vispārīgajai relativitātes teorijai. Daudziem no tiem bija raksturīgas tādas īpašības, kādas nav Einšteina cilindriskajam Visumam. Hollandiešu astronoms Viljams de Sitters izveidoja tādu





noslēgtu, norobežotu Visuma modeli, kurā tāpat kā telpa izliecas arī laiks. Jo tālāk skatās caur šādu de Sitera telpu, jo liekas, ka pulksteņi iet lēnāk. Paskatoties pietiekami tālu, redzēsīm, ka laiks ir apstājies pavīsam. Šajā sakarībā kādreiz Edingtons teica: «Kā pie ārpriekšējā Cepuriša tējas dzērājiem, kuriem vienmēr pulkstenis ir seši vakarā.» *

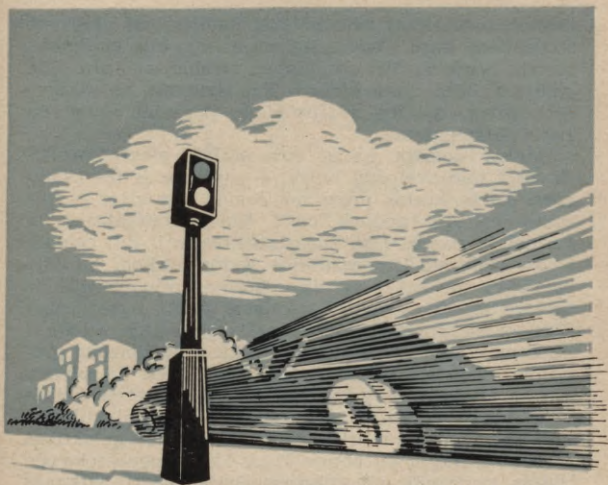
«Un tomēr nevajag domāt, ka eksistē kāda robeža,» paskaidro Bertrands Rasels «Relativitātes teorijas ābecē». «Ļaudis šādā zemē, kuru mūsu novērotāji uzskata par lotofagu ** zemi, dzīvo tādā pašā steigā kā pats novērotājs, un tāpēc lotofagiem savukārt liekas, ka novērotājs sastindzis mūžīgā miera stāvoklī. Jūs nekad neko par šo lotofagu neuzzināsi, jo, lai gaismas stars no turienes nonāktu pie jums, vajadzētu bezgalīgi ilgu laiku. Jūs varētu iepazīt vietas, kuras atrodas netālu no šīs zemes, bet pati zeme jums vienmēr būtu aiz horizonta.» Protams, ja jūs lidotu ar kosmisko kuģi uz šo zemi un visu laiku to novērotu teleskopā, tad jūs konstatētu, ka, šai zemei tuvojoties, laiks tur pamazām paātrinās. Ja jūs arī tiešām tur nokļūtu, viss atkal kustētos kā parasti, taču istā lotofagu zeme atkal atrastos aiz jauna horizonta.

Vai jūs esat ievērojuši, ka nelielā augstumā lidojošas lidmašīnas motora skaņas, tai strauji mainot virzienu uz augšu, kļūst mazliet zemākas? To sauc par Doplera efektu, jo to deviņpadsmitā gadsimta vidū atklāja austriešu fiziķis Kristjans Johans Doplers. To var viegli izskaidrot. Ja lidmašīna jums tuvojas, tad tās dzinēju radītie skaņas viļņi iesvārsta jūsu auss bungādiņu biežāk nekā tad, ja lidmašīna būtu miera stāvoklī. Tas savukārt paaugstina skaņas toni. Ja lidmašīna lido projām no jums, tad auss bungādiņa, saņemot skaņas viļņus, svārstās retāk, tāpēc skaņas tonis pazeminās.

Viss notiek pilnīgi tāpat, ja mūsu virzienā (vai arī virzienā projām no jums) ātri kustas gaismas avots. Tikai tagad nemainās gaismas ātrums, kas pēc relativitātes teorijas ir konstants, bet mainās viļņa garums. Ja novērotājs un gaismas avots kustēsies viens otram

* Persona Lūisa Kerola grāmatā «Alise brīnumu zemē».

** Pārpilnības un ārkārtības zeme «Odisejā».



pretī, tad Doplera efekta dēļ novērotās gaismas viļņa garums saīsināsies un saņemtās gaismas krāsa spektrā novirzīsies uz violeto pusi. Ja novērotājs un gaismas avots attālināsies viens no otra, tad Doplera efekta dēļ gaismas krāsa būs novirzīta uz sarkano galu.

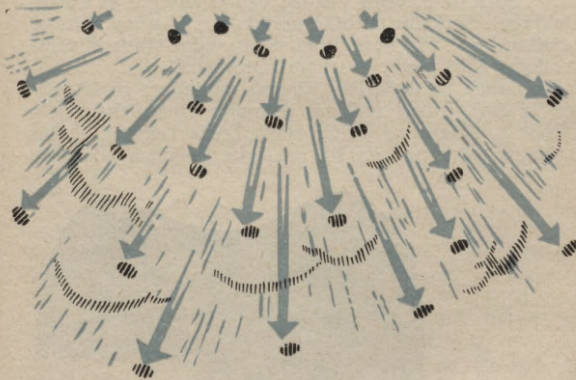
Apskatīsim vēl vienu neparastu piemēru, par kuru vienā no savām lekcijām par Doplera efektu stāstīja Džordžs Gamovs. Liekas, ka šis gadījums bija noticis ar pazīstamo amerikāņu Džona Hopkina universitātes fiziķi Robertu Vudu. Viņu aizturēja Baltimorā, jo, braucot savā automašīnā, viņš bija šķērsojis ielu krustojumu pie sarkanās gaismas. Tiesā aizstāvoties, viņš izskaidroja, ka tas noticis sakarā ar Doplera efektu. Braucot pāri krustojumam ar lielu ātrumu, šī efekta dēļ viņš sarkanās gaismas vietā redzējis zaļu. Paskaidrojums bijis tik pārliecinošs, ka tiesnesis jau gribējis Vudu at-

taisnot, taču tiesas zālē nejausi gadījies arī viens no studentiem, kuru Vuds neilgi pirms tam bija eksāmenā izgāzīs. Students ātri aprēķinājis ātrumu, ar kuru šādā gadījumā Vuds būtu braucis. Tad tiesnesis, no sākuma apsūdzības atteicies, sodījis Vudu par pieļaujamā ātruma pārsniegšanu.

Doplers domāja, ka ar viņa atklāto efektu var izskaidrot tālo zvaigžņu krāsu — sarkanas ir tās zvaigznes, kuras kustas prom no Zemes, bet zilas — tās zvaigznes, kas tuvojas Zemei. Vēlāk noskaidroja, ka tas nebija pareizi (šīm zvaigžņu krāsām ir citi cēloņi). Mūsu gadsimta divdesmitajos gados atklāja, ka tālo galaktiku spektrā ir skaidri redzama līniju pārbīde uz spektra sarkano galu. To, protams, varētu izskaidrot ar Doplera efektu, ja pieņem, ka šīs galaktikas attālinās no Zemes. Ļoti svarīgi, ka šī pārbīde vidēji pieaug proporcionāli galaktikas attālumam no Zemes. Tā, piemēram, ja attālums līdz galaktikai A ir divas reizes lielāks nekā līdz galaktikai B , tad sarkanā pārbīde galaktikas A spektrā ir apmēram divas reizes lielāka nekā galaktikas B spektrā. Angļu astronoms Freds Hoils apgalvo, ka pēc Hidras zvaigznāja galaktiku asociācijas spektra sarkanās pārbīdes var aprēķināt, ka šī asociācija attālinās no Zemes ar milzīgu ātrumu — apmēram 61 000 km/s.

Tāpēc bija citādi mēģinājumi izskaidrot spektra sarkano pārbīdi. Tā, piemēram, radās *gaismas noguruma* teorija. Pēc šīs teorijas, gaismas staram ejot arvien tālāk, samazinās tā svārstību frekvence. Te redzam lielisku hipotēzes *ad hoc* piemēru (hipotēze saistīta tikai ar šo parādību, jo nav nekā cita, kas to apstiprinātu). Pastāv arī cits izskaidrojums — pārbīde rodas tāpēc, ka gaismas stars iet cauri kosmisko putekļu sablīvējumiem. Turpretim pēc de Sittera modeļa šī pārbīde rodas tāpēc, ka izliecas laiks. Un tomēr visvienkāršākais izskaidrojums, kas arī vislabāk pamatojas uz pārbaudītiem faktiem, ir tas, ka sarkanā pārbīde norāda uz reālu galaktiku kustību. Ievērojot šo rezultātu, drīz vien izstrādāja virkni jaunu modeļu Visumam, kas izplešas.

Šāda izplešanās tomēr nenozīmē, ka izplešas pašas galaktikas vai arī (tā to tagad uzskata) galaktiku asociācijās palielinās attālumi starp galaktikām. Var



domāt, ka šī izplešanās saistīta ar attālumu palielināšanos starp asociācijām. Iedomāsimies, ka mums ir milzīga pika mīklas, kurā iemīcīti daži simti rozīņu. Pieņemsim, ka katra no rozīnēm simbolizē galaktiku asociāciju. Ja ieliksīm mīklu krāsnī, tā uzrūgs vienmērīgi visos virzienos, taču rozīņu izmēri praktiski nemainās. Tātad palielinās attālumi starp rozīnēm, bet nevienu no rozīnēm mēs nevaram uzskatīt par izplešanās centru. Katrai rozīnei *liekas*, ka visas pārējās it kā attālinās no tās. Ja kāda no rozīnēm atrodas tālāk no iedomātās rozīnes, jo lielāks šķiet tās attālināšanās ātrums.

Einšteina Visuma modelis ir statisks, jo viņš šo modeli izveidoja vēl ilgi pirms tam, kad astronomi konstatēja Visuma izplešanos. Lai nepieļautu sava Visuma saraušanos gravitācijas spēku dēļ un līdz ar to arī tā bojā eju, Einšteins pieņēma, ka eksistē vēl kāds spēks. Savā modeli viņš ieveda tā saucamo *kosmoloģisko konstanti*. Šis jaunais spēks atgrūž zvaigznes, tādējādi noturot tās noteiktā attālumā citu no citas. Vēlāk izdarīja aprēķinus un konstatēja, ka šāds Einšteina modelis nav stabils līdzīgi monētai, kas nostādīta uz malas. Mazākais grūdiens šādu monētu apgāzīs vai nu uz vienu pusi, vai otru, kas it kā atbilstu Visuma paplašināšanai un sašaurināšanai. Sarkanā pārbīde norāda, ka Visums noteikti nesašaurinās. Tad kosmologi sāka veidot tādus Visuma modeļus, kuri pieļauj Visuma izplešanos.

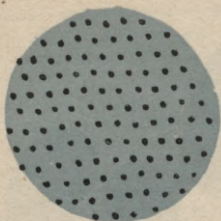
No daudz un dažādiem Visuma modeļiem pazīstamākie ir divi, kurus radījuši padomju zinātnieks Aleksandrs Fridmans un beļģu abats Žoržs Lemetrs. Dažos modeļos telpu uzskata kā noslēgtu (liekums pozitīvs),





citos — par nenoslēgtu (liekums negatīvs), bet daudzos jautājums par telpas noslēgtību atstāts atklāts. Vienu no šādiem modeļiem aprakstīja arī Edingtons savā grāmatā «Visums, kas izplešas». Viņa izveidotais modelis būtībā ir ļoti līdzīgs Einšteina dotajam Visuma modelim. Tas ir noslēgts līdzīgi milzīgai četrdimensiju lodei, kura izplešas vienmērīgi trijos telpiskos virzienos. Taču pēdējā laikā astronomi apšaubā, ka telpa var būt noslēgta pati sevī. Liekas, ka matērijas blīvums telpā tomēr ir pārāk mazs, lai varētu radīt pozitīvu liekumu. Priekšroka tiek dota nenoslēgtam vai bezgalīgam Visumam ar vispārēju negatīvu liekumu, tāpat tas atgādina seglus.

Lasītājam nav jāiedomājas, ka sfēras virsmai ar pozitīvu liekumu no iekšpuses liekums ir negatīvs. Sfēriskas virsmas liekums vienmēr ir pozitīvs kā no iekšpuses, tā no ārpuses. Seglu virsmai liekums ir negatīvs, jo katrā punktā tai ir dažādi liekumi. Ja jūs pārvilksiet ar rokas plaukstu pār seglu virsmu no aizmugures uz priekšu, virsma arī jums liksies ieliekta, taču, ja virzīsiet plaukstu no vienas seglu malas uz otru, tā jums liksies izliekta. Vienu liekumu izsaka ar pozitīvu



skaitli, otru — ar negatīvu. Lai dabūtu precīzu virsmas liekumu dotajā punktā, šie abi skaitļi ir jāsareizina. Ja visos punktos šis reizinājums ir negatīvs (kā vajag iznākt, ja katrā punktā ir dažādi virsmas liekumi), tad virsmai liekums ir negatīvs. Kā otru pazīstamu negatīvas virsmas piemēru var apskatīt virsmu, kas ierobežo caurumu toroīda (līdzīgs barankai) vidū. Protams, ka šādas virsmas ir tikai uzskatāmi negatīva liekuma trīsdimensiju telpas modeļi.

Iespējams, ka, izgatavojot jaunus, jaudīgākus teleskopus, varēs atbildēt uz jautājumu, kāds ir Visuma liekums — pozitīvs, negatīvs vai vienāds ar nulli. Ar teleskopu galaktikas var redzēt tikai noteiktā sfēriskā tilpumā. Ja galaktikas izvietotas haotiski un telpai liekuma nav, tad galaktiku skaits tādā sfērā ir proporcionāls sfēras rādiusa kubam. Citiem vārdiem sakot, ja būtu teleskops, ar kuru varētu redzēt divas reizes tālāk, tad ar to redzamo galaktiku skaits palielinātos no n līdz $8n$. Ja šī izmaiņa būs mazāka, tad tās nozīmēs, ka Visuma liekums ir pozitīvs, ja lielāka — negatīvs.

Var domāt, ka tam jābūt otrādi, tāpēc ņemsim divdimesiju virsmas ar pozitīvu un negatīvu liekumu. No plakanas gumijas izgriezīsim apli un uz tā 0,5 cm attālumā citu no citas uzlīmēsīm rozīnes. Lai no šī plakana gumijas apla izveidotu sfēru, tas no malām ir jāaspiež, tad daudzas rozīnes atradīsies tuvāk viena otrai. Ja mēs gribētu, lai starp rozīnēm attālums nemainītos, mums vajadzētu daudz mazāk rozīņu. Ja šo plakano gumijas apli uzliksim uz seglu virsmas, rozīnes cita no citas attālināsies, tātad, lai tagad saglabātu to pašu attālumu starp rozīnēm, mums vajadzētu jau daudz vairāk rozīņu. No apskatītā izriet šāds anekdotisks secinājums. Ja jūs pārkat alus pudeli, tad noteikti piesakiet pārdevējam, ka vēlaties pudeli, kas satur telpu ar negatīvu liekumu, bet ne ar pozitīvu!

Visuma modeļos, kas izplešas, Einšteina kosmoloģiskā konstante nav vajadzīga, jo tā rada hipotētisku zvaigžņu atstumšanos. (Šīs konstantes izmantošanu vēlāk Einšteins pats atzina par savu lielāko kļūdu, kādu viņš jebkad ir izdarījis.) Tikko parādījās šie jaunie Visuma modeļi, uzreiz tika atrisināts Olbersa paradokss par

nakts debess spilgtumu. Einšteina statistiskais modelis šeit maz ko deva. Lai gan šajā modelī saļu skaits ir galīgs, bet telpa ir noslēgta un gaismai no saulēm vienmēr ir jāpiet Visums (gaismai jāizliec sava trajektorija, ja telpā un laikā ir vietēji izliekumi). Tātad debesij nakti ir jābūt tikpat spilgtai, kā tas būtu tad, ja būtu bezgalīgi daudz saļu. Protams, ka tā nebūtu, ja mēs varētu pieņemt, ka Visums vēl ir jauns un gaismas stars paspējis veikt tikai dažas riņķveida cilpas.

Pieņemot, ka Visums izplešas, paradoksu var apgāzt pavisam vienkārši. Ja tālākās galaktikas attālinās no Zemes ar ātrumiem, kas proporcionāli attālumiem līdz tām, tad pilnais gaismas daudzums, kas sasniedz Zemi, samazinās. Ja kāda no galaktikām būs tik tālu, ka tās ātrums pārsniegs gaismas ātrumu, tad no šīs galaktikas gaisma vispār nekad nerasnīs Zemi. Mūsu dienās daudzi astronomi piekrīt tādai nopietnai domai, ka, ja Visums neizplestos, tad nekad nebūtu atšķirības starp dienu un nakti.

Tas, ka tādu tālo galaktiku ātrums attiecībā pret Zemi var pārsniegt gaismas ātrumu, pirmajā brīdī, šķiet, ir pretējs postulātam, ka neviens materiāls ķermenis nevar kustēties ātrāk par gaismu. Taču mēs jau 4. nodaļā redzējām, ka šis postulāts ir spēkā tikai tad, ja ievēro noteikumus, kurus izvirza speciālā relativitātes teorija. Vispārīgā relativitātes teorijā postulāts skan šādi: nekādus signālus nevar noraidīt ar ātrumu, kas būtu lielāks par gaismas ātrumu. Joprojām atklāts paliek šāds jautājums: vai tiešām tālās galaktikas var pārvarēt gaismas barjeru un līdz ar to, kļūdamas neredzamas, uz visiem laikiem pazust no cilvēka redzes lauka pat tad, ja cilvēka rīcībā būtu visjaudīgākie teleskopi? Daudzi speciālisti tomēr uzskata, ka gaismas ātrums ir galējā robeža un tāpēc pašas tālākās galaktikas nekad nebūs pilnīgi neredzamas, bet kļūs nespodrākas.

Vecās galaktikas nekad nemirst, bet gluži vienkārši lēnām izzūd. Protams, jāsaprot, ka neviena no galaktikām neizzūd kā matērija no Visuma. Tās vienkārši sasniedz tādus ātrumus, ka mūsu teleskopi tās vairs nevar konstatēt. Šis *izzūdošās galaktikas* paliek tāpat redzamas no visām tām tuvākām galaktikām. Tāpēc saka,



ka katrai galaktikai ir *optiskais horizonts* — sfēriska robeža, aiz kuras teleskopi vairs nelīdz. Jebkurām divām galaktikām šie sfēriskie horizonti nav vienādi. Astronomi ir aprēķinājuši, ka attālums, pēc kura galaktikas sāk izzust no mūsu redzes lauka, ir apmēram divas reizes tālāk nekā attālums, kuru var redzēt ar mūsdienu jebkuru vislabāko teleskopu. Ja tas ir pareizi, tad pašlaik mēs redzam apmēram vienu astoto daļu no visām tām galaktikām, kuras kādreiz varēsim novērot.

Ja Visums izplešas (nav svarīgi, vai telpa ir plakana, nenošlēgta vai noslēgta), rodas šāds jautājums. Kam tad Visums līdzinājās agrāk? Atbildes var būt divējādas, un tās dod divi mūsdienu Visuma modeļi. Šos modeļus apskatīsim nākošajā nodaļā.

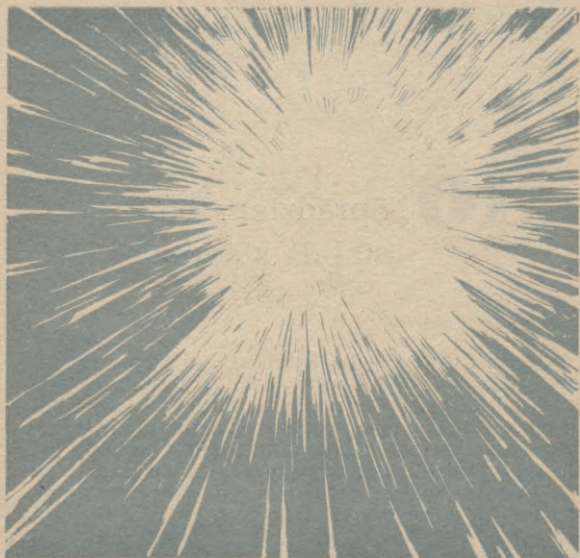


10. Sprādziens vai stabils stāvoklis?

Vispirms iedomāsimies kosmosu, kas vienmērīgi izplešas, un tad, it kā skatoties kinofilmu no beigām, pretēju ainu — kosmosa saraušanos. Skaidrs, ka «tumsībā slēptā pagātnē un laika bezdibenī», kā rakstīja Šekspīrs, kādreiz milzīgi matērijas daudzumi bija koncentrēti ļoti mazā tilpumā. Var būt, ka kosmoss sācis izplesties pirms daudziem miljoniem gadu, pie kam ar milzīgu sprādzienu. Šādu koncepciju pirmo reizi izvirzīja Lemetrs. Pašlaik šo koncepciju visvairāk aizstāv Džordžs Gamovs.

Grāmatā «Visuma radīšana» Gamovs pārliecinoši aizstāv savu teoriju. Lemetrs uzskatīja, ka Sprādziens noticis apmēram pirms pieciem miljardiem gadu, taču vēlāk Visuma vecumu aprēķināja arvien lielāku. Mūsu dienās uzskata, ka Visumam ir 20—25 miljardi gadu. Pēc Gamova domām, Visuma matērija bijusi kādreiz koncentrēta vienā neticami blīvā, viendabīgā koncentrētas matērijas (*Hylema**) lodē. Kur radās šī lode? Gamovs uzskata, ka tā izveidojās iepriekšējās Visuma saraušanās rezultātā. Skaidrs, ka par šo Visuma saraušanos mēs neko nevaram uzzināt. Pēc Gamova, tāpat kā pēc Lemetra modeļa, viss sākās ar Sprādzienu. Dažreiz šo Sprādzienu sauc arī par *radīšanas momentu*.

* *Hylema* — pirmatnējās matērijas sengrieķu nosaukums.



Nevajag domāt, ka kaut kas tika radīts no nekā, pašķaidro Gamovs, bet gan veidojās forma no pilnīga haosa.

Tieši pirms Sprādziena *Hylema* temperatūra un spiediens bija neticami augsts. Tad notika brīnumainais, neatkārtojama Sprādziens. Gamovs savā grāmatā detalizēti apskata visu, kas varēja notikt pēc Sprādziena. No visos virzienos izplūstošajiem putekliem un gāzēm izveidojās zvaigznes. Pašreizējā Visuma izplešanās ir tās kustības turpinājums, kuru Sprādziens deva matērijai. Pēc Gamova domām šī kustība nebeigsies nekad.

1948. gadā trīs Kembridžas universitātes zinātnieki Hermans Bondijs, Tomass Golds un Freds Hoils radīja jaunu stabila Visuma teoriju, kas bija pilnīgi pretēja Ga-

mova Sprādziena teorijai. Vispārliciecināšākie jaunās teorijas pierādījumi aprakstīti Hoila populārajā grāmatā «Visuma daba». Šeit, tāpat kā Gamova teorijā, pieņemts, ka Visums izplešas un telpa ir bezgalīga (bet ne noslēgta kā Edingtona modelī). Atšķirībā no Gamova teorijas šajā stabilā Visuma teorijā nav pirmā Sprādziena un vispār nav sākuma momenta. Tāpēc arī Hoila grāmatas virsraksts atšķiras no Gamova grāmatas virsraksta tikai ar vienu vārdu. Hoila kosmosam nav *radīšanas momenta*, taču tajā ir bezgala daudz citu interesantu pieņēmumu. Hoils raksta: «Katram galaktikas mākonim, katrai zvaigznei, katram atomam ir sākums, taču Visumam tā nav. Visums ir daudz lielāks par tā daļām.»

Stabilais Visums vienmēr ir nepārtrauktā kustībā. Ja mēs varētu atgriezties pirms simt tūkstošiem miljardu gadu, mēs jebkurā vietā kosmosā atrastu tādas pašas galaktikas, kuras izplešas, tādas pašas zvaigznes un ap dažām no tām riņķotu tādas pašas planētas. Varbūt mēs pat atrastu arī līdzīgas dzīvības formas, un varbūt arī eksistē daudz tādu planētu, uz kurām arī pašlaik domājošās būtnes sūta kosmosā savus kosmonautus. Kosmos ir viendabīgs bezgalīgā telpā un laikā. Tā izplešanās nav saistīta ar sprādzienu, bet gan ar kādu atgrūšanās spēku, kura daba vēl nav noskaidrota. Interesanti, ka šis spēks ir līdzīgs Einšteina kosmoloģiskajai konstantei. Atgrūšanās spēks attālina galaktikas, kamēr tās beidzot aizies aiz gaismas barjeras un izzudīs no mūsu redzes lauka. Kad novērotājs uz Zemes ievēros, ka galaktika X un tās kaimiņi *izzūd*, arī iedomātais novērotājs uz galaktikas X, skatoties uz Zemi, konstatēs to pašu.

Var rasties viens ļoti svarīgs jautājums. Ja Visums visu laiku izplešas, kāpēc nesamazinās tā blīvums? Lai to izskaidrotu, acīm redzot ir jāpieņem, ka nepārtraukti rodas jauna matērija. Iespējams, ka tā veidojas no vienkāršākā elementa — ūdeņraža. Pēc Hoila domām, ja vienā spainī telpas (praktiski nav iespējams rakstīt par Hoila uzskatiem, neizmantojot šo viņa tēlaino salīdzinājumu) apmēram katros 10 miljonus gadu rastos viens ūdeņraža atoms, tad kosmos būtu stabils. Dabiski,

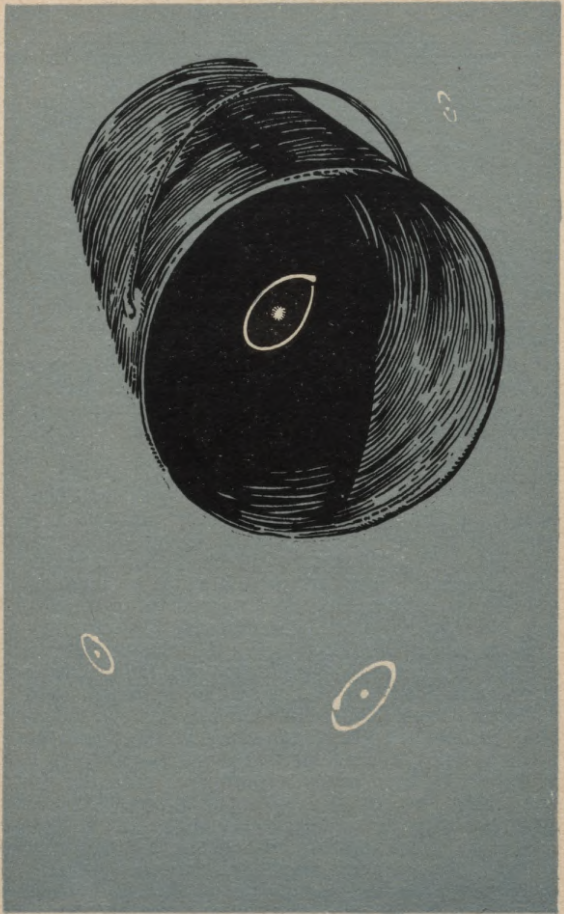


ka ātrumam, ar kuru veidojas matērija, ir jābūt tieši tādām, kas kompensētu blīvuma samazināšanos.

No kurienes tad rodas šie ūdeņraža atomi? Uz šo jautājumu neviens nav iedrošinājies atbildēt. Ar šo punktu arī sākas Hoila teorija. Ja var ticēt, ka radīt var no nekā, tad stabila stāvokļa teorijā tas tieši ir punkts, kurā notiek (pareizāk — nepārtraukti notiek) radišana.

Lai gan Sprādziena teorija un stabilā stāvokļa teorija ir pretējas, tomēr tās abas izskaidro visu, ko mēs pašlaik zinām par kosmosu, un pilnīgi saskan ar relativitātes principiem. Mūsu dienās šīs abas teorijas ir vienādi pieņemamas. Tā katru gadu jauni novērojumi apstiprina Sprādziena teoriju un rodas šaubas par stabilā stāvokļa teoriju, taču tāpat citi jaunie novērojumi savukārt apstiprina stabilā stāvokļa teoriju un apšaubā Sprādziena teoriju. Ja jūs lasīsit kādu publikāciju vai grāmatu, kurā aizstāvēta viena no šīm teorijām, tad tūlīt ievērosiet, ka autors rakstījis tā, it kā visi fakti pierādītu tikai šo teoriju. Tam jūs nedrīkstiet ticēt. Kād speciālistu domas dalās, nedrīkst apgalvot, ka pareizs ir tikai viens viedoklis, protams, ja vienīgi jūs emociju dēļ nedodiet priekšroku kādai no šīm teorijām. Gamovs pats atzīst, ka viņa simpātijas pieder Sprādziena teorijai, tāpat arī Hoils neslēpj to, ka viņam patīk stabilā stāvokļa teorija. (Cik zināms, psihoanalītiķi vēl nav mēģinājuši sasaistīt abu teoriju rašanos ar to zinātnieku psihiskām īpašībām, kuri aizstāv vienu vai otru teoriju, taču droši vien to galu galā izdarīs.) Tāpēc nevajag padoties emocijām, bet galīgo spriedumu izveidot tad, kad astronomiem būs pietiekoši daudz tādu faktu, lai svaru kausi nosvērtos uz vienu vai otru pusi.

Pastāv vēl arī daudz citu kosmisko modeļu. Daži no tiem ir izveidoti nopietni, bet daži jāvērtē kā joki. Vairākos modeļos, kuros telpa tiek sagriezta pati sevī, kā, piemēram, Mebiusa lapa (vienpusīga virsma, kura rodas, ja vienu papīra strēmeles galu pagriež par 180° attiecībā pret otru, un tad abus galus salīmē). Ja šādu Visumu jūs vienreiz apietu, tad nonāktu tajā pašā vietā, kur jūs sāktu savu ceļojumu, tikai viss būs apgriezts — kā spogulī. Protams, jūs Visumu varētu apiet vēlreiz,



un tad viss būtu atkal tāpat kā sākumā. Eksistē arī oscilējoša Visuma modeļi, kuros Sprādzieni mainās ar izplešanās un saspiešanās periodiem. Šādi cikli turpinās nepārtraukti, līdzīgi kā dažu filozofu un austrumu reliģiju doktrīnās par mūžīgu atdzimšanu. Interesanti atzīmēt, ka Edgars Po savā īpatnējā kosmoloģiskā darbā «Eurika», kuru viņš pats ļoti augstu vērtēja, aizstāvēja oscilējoša Visuma modeļi, kurš tajā brīdī atrodas saspiešanas stāvoklī. Liekas, ka visekscentriskākais no visiem modeļiem ir Oksfordas universitātes astronoma Edvarda Milna *kinemātiskās relativitātes* modelis. Tajā izmantoti divi pilnīgi dažādi laika jēdzieni. Vienā gadījumā Visuma vecums un izmēri ir bezgalīgi, bez tam tas neizplešas, bet otrā — Visuma izmēri ir galīgi un tas izplešas, skaitot no sākuma momenta. Kādu no šiem laika jēdzieniem izmantot? Protams, to, kurš ir izdevīgāks.



Angļu astronoms Edmunds Vitekers kā humoru ierosināja samazinošu Visuma modeli. Tajā kosmosā ne tikai sašaurinās, bet arī matērija tiek nepārtraukti sakopota tur, kur pēc Hoila teorijas tā rodas. Tas nozīmē, ka galu galā pasaule pilnīgi izzūd, taču ne ar Sprādzienu, bet gan ar pēdējo *nopūtu*. «Šai teorijai ir tā priekšrocība,» raksta Vitekers, «ka pēc tās ļoti vienkārši ir Visuma gals.» Dabiski, ka šādai teorijai jāizskaidro, kāpēc galaktiku spektrā mēs redzam sarkano, bet ne violeto pārbīdi. Izrādās, ka arī to var izskaidrot pavisam vienkārši. Mums tikai jāaiņņemas viens no de Sittera paņņēmieniem un jāuzskata, ka laiks paātrina savu gaitu. (Joka dēļ kāds no fiziķiem ar šo pieņņēmumu izskaidroja, kāpēc tad, kad mēs kļūstam vecāki, mums šķiet, ka gadi skrien kā mēneši. Tik tiešām tie skrien kā mēneši!) Gaismā, kura nonāķ pie mums no galaktikas, patiesībā ir izstarota jau pirms vairāķiem miljoniem gadu. Bet tad taču elektromagnētiskajām svārstībām bija lielāķ periods (laiks gāja ilgāķ) un tāpēc šis starojums ir daudz sarkanāķ nekā tas, ko galaktika dod tagad. Šī iemesla dēļ sarkanā pārbīde varētu būt pat lielāķa par Doplera pārbīdi uz violeto pusi. Vienkārši tad saprotams arī tas, ka, jo galaktika atrodas tālāķ, jo tā lieķas vecāķa un sarkanāķa.

Tātad var izveidot arī tādu Visuma modeli, kas samazinās. Tas parāda, cik elastīgi ir vispārīgās relativitātes teorijas vienādojumi. Tos var izmantot dažāda veida kosmiskos modeļos, pie kam katrs no tiem ļoti labi





izskaidro visu, kas mums pašlaik ir zināms par Visumu. «Interesanti atzīmēt,» angļu filozofs Frensis Bēkons jau 1620. gadā savā darbā «*Novum Organum*» rakstīja, «par Visumu var radīt daudz citu no citas atšķirīgas hipotēzes, kuras visas tomēr pietiekoši labi izskaidro mums zināmās parādības.» Kā redzams, modernā kosmoloģija šajā ziņā nav mainījusies, lai gan zināmo parādību skaits kļuvis daudz lielāks. Tāpēc mums ir jāpieņem, ka pašreizējie kosmiskie modeļi ir daudz tuvāk patiesībai nekā agrākie. Protams, kosmiskajiem modeļiem, kurus izveidos pēc 100 gadiem un vēlāk, ko pamatos tādi astronomiski novērojumi, par kuriem mums vēl nav ne jausmas, varbūt būs pavisam atšķirīgi no pašreizējiem modeļiem.

Īru rakstnieka Dansenija pasaku grāmatā «Cilvēks, kurš ēda Feniksu» ir kāda amizanta pasaka. Tajā Atlants stāsta Dansenijam par to dienu, kad, pateicoties zinātnei, mirstīgie pārstāja ticēt sengrieķu Visuma modelim. Atlanta uzdevums šajā modelī bijis diezgan muļķīgs un nepatīkams. Viņam bijis auksti, jo uz kakla bijis jātur Zemes dienvidpols, bet viņa rokas vienmēr bijušas slapjas, jo mirkušas divos okeānos. Taču, kamēr ļaudis tam ticējuši, arī viņš pildījis savu pienākumu.

Vēlāk, skumji sacījis Atlants, pasaule kļuvusi par daudz mācīta un viņš tai vairāk nav bijis vajadzīgs. Viņš atstājis pasauli un aizgājis. Taču viņš atstājis to ne bez svārstīšanās un lielām pārdomām. Un tomēr viņš bijis ļoti pārsteigts par to, kas noticis pēc tam. Bet kas tad notika? «Pilnīgi nekas, vienkārši pavisam nekas,» atbildējis Atlants.

Šajā grāmatā es mēģināju aprakstīt, kas noticis nesenā pagātnē, kad Einšteins pāris reizi iebukņīja ņūtoniskās absolūtās kustības dievu un tas Zemi atstāja. Ar Zemi nekas sevišķs nav noticis, vismaz līdz šim laikam. Tā turpina griezties ap savu asi, izstiepties pa ekvatoru, griezties ap Sauli. Taču fizikā ir notikušas daudz pārmaiņu. Tai radās iespējas — vairāk kā nekad agrāk — izskaidrot, paredzēt un arī izmainīt Zemes izskatu.

Terminu vārdnīca

Šis terminu vārdnīcas mērķis — dot vienkāršus un skaidrus definējumus, kuri derīgi šīs pasaules elementārajam izklāstam (tie nebūs precīzi definējumi, jo tad, piemēram, definējot *liekumu*, vajadzētu pāris lapas puses). Ja lasītājs grib zināt stingri precīzus definējumus, viņam jāizmanto attiecīgas enciklopēdijas vai mācību grāmatas.

Absolūtā kustība — kustība attiecībā pret nekustīgo ēteru vai kādu citu, tikpat universālu, izdalītu atskaites sistēmu.

Antimatērija — matērija, kura sastāv no antidaļiņām.

Antidaļiņa — parastā elementārdaļiņa, tikai ar pretēju lādiņu un (vai) magnētisko momentu. Ja daļiņai ir lādiņš, antidaļiņai tas būs pretējs, bez tam arī būs pretējs magnētiskais moments, bet, ja daļiņai lādiņa nav, atšķirīgi būs tikai magnētiskie momenti.

Atskaites sistēma — pieņemta nekustīga koordinātu sistēma, attiecībā pret kuru relatīvi mēra laiku, kustību, garumu, masu utt.

Brīva krišana — ķermeņa kustība gravitācijas spēku ietekmē.

Centrbēdzes spēks — inerces spēks, kas liek ķermenim vai tā daļiņām kustēties prom no rotācijas ass.

Ceturtais mērījums — jebkura ceturkā koordināte koordinātu sistēmā. Relativitātes teorijā ceturkā koordināte ir laiks.

Cilindriskais Visums — Alberta Einšteina pirmais Visuma modelis. Telpai tajā liekums ir pozitīvs, bet laika koordināte ir taisne.

Doplera efekts — mēramā skaņas vai elektromagnētiskā viļņa garuma pārbīde, kura rodas, ja novērotājs un viļņu avots relatīvi attiecībā viens pret otru pārvietojas.

Eksperiments

domu — eksperiments, kuru var tikai iedomāties, bet nevar realizēt.

Kenedija — *Torndaika* eksperiments — Maikelsona — Morleja eksperimenta atkārtojums, izmantojot iekārtā dažāda garuma plecus.

Maikelsona — *Morleja* — slavenais eksperiments, kas pierādīja, ka, zemei kustoties telpā, nerodas ētera vējš.

Elektromagnētiskais spektrs — visu magnētisko viļņu kopa, sākot ar vislielāko viļņa garumu un beidzot ar vismazāko viļņa garumu.

Elektromagnētiskais vilnis — izstarojums, ko emitē svārstošs elektriskais lādiņš. Tas iet caur tukšu telpu ar pastāvīgu ātrumu (attiecībā pret vienmērīgi kustošos novērotāju) neatkarīgi no sava avota vai novērotāja kustības ātruma.

Eliptiskā ģeometrija — neeiklīda ģeometrija, kurā uz plaknes caur doto punktu ārpus dotās taisnes nevar novilkt nevienu līniju, kas būtu paralēla šai taisnei.

Ētera vējš — ētera kustība gar ķermeņiem, kas kustas ēterā.

Ēters — viela, kura, kā uzskatīja deviņpadsmitā gadsimta fiziķi, pilda visu telpu un kurā izplatās elektromagnētiskie viļņi.

Eiklīda ģeometrija — ģeometrija, kas pamatojas uz Eiklīda postulātiem.

Eiklīda telpa — telpa, kurai liekums ir nulle.

Gaisma — elektromagnētiskā spektra redzamā daļa.

Galaktika — miljardu zvaigžņu kopa, kurai bieži ir lēcas forma un kas kustas telpā kā viens vesels.

Galileja sistēma — skat. inerciāla sistēma.

Ģeodēziskā līnija — vistaisnākā līnija starp diviem punktiem uz dotās virsmas vai dotajā telpā, vai arī telpa-laikā; tādai līnijai ir ekstremālais garums (vislielākais vai vismazākais).

Hiperboliskā ģeometrija — neeiklīda ģeometrija, kurā uz dotās plaknes caur doto punktu, kas atrodas ārpus dotās līnijas, var novilkt bezgalīgi daudz līniju, paralēlu dotajai.

Hipersfēra — četrdimensiju sfēra.

Hylema — pirmatnējā substance, kura, sprāgstot pirms miljardiem gadu, radījusi tagadējo Visumu, kas izplešas.

Inerciāla sistēma — koordinātu sistēma, kura vienmērīgi kustas telpā attiecībā pret citām inerciālām sistēmām. Tā ir tāda pati ka Galileja atskaites sistēma.

Inerce — materiāla ķermeņa tieksme palikt mierā (attiecībā pret inerciālu sistēmu) vai vienmērīgā taisnvirziena kustībā tik ilgi, kamēr uz to neiedarbojas kāds ārējs spēks.

Koordināte — viens skaitlis no skaitļu kopas, kuru izmanto, lai noteiktu punktu stāvokli. Līnijai vajadzīga viena koordināte, plaknei — divas, telpai — trīs, telpai-laikam — četras koordinātes.

Kosmoss — viss telpas-laika Visums.

Liekums — līnijas, plaknes vai telpas novirze no taisnuma vai plakanuma.

Lorenca — *Ficdžeralda kontrakcija* — relatīva ķermeņa saīsināšanās tā kustības virzienā.

Masa — neprecīzi izsakoties, vielas daudzums ķermeņiem.

Masa

gravitācijas — ķermeņa masa, kuru apskata kā gravitācijas lauka avotu. Gravitācijas lauks iedarbojas uz šo masu. Uz zemes to mēra kā ķermeņa svaru.

inertā — ķermeņa masa, kura rada tā pretošanos paātrinājumam. To mēra ar spēku, kas nepieciešams, lai piešķirtu ķermeņiem kādu noteiktu paātrinājumu.

miera — tāda ķermeņa masa, kas attiecībā pret novērotāju ir miera stāvoklī.

negatīvā — hipotētiska ķermeņa īpašība. Ja tā eksistētu, ķermenis kustētos pretēji pieliktā spēka virzienam.

Masas un enerģijas saglabāšanās likums — apgalvojums, ka Visumā pilnais masas un enerģijas daudzums nevar ne palielināties, ne samazināties.

Negatīvais paātrinājums — ātruma samazināšanās.

Neeklidā ģeometrija — ģeometrija, kurā viens vai daži Eiklida postulāti aizstāti ar citiem postulātiem.

Nulles g — nulles gravitācija, bezsvara stāvoklis telpā tālu no materiāliem ķermeņiem vai arī kosmiskajā kuģī, kas brīvi krīt.

Optiskais horizonts — robežsfera kosmiskajā modelī (kurā Visums izplešas), kuru varētu redzēt, skatoties ar ideālu teleskopu. Aiz šīs robežas galaktikas attālinās no novērotāja ar ātrumu, kas vienāds vai lielāks par gaismas ātrumu.

Oscilējošais Visums — Visums, kas periodiski gan izplešas, gan saraujas.

Paātrinājums — kustoša ķermeņa ātruma vai (un) virziena maiņa.

Paradokss

dvīņu — pulksteņu paradokss, kuru izmanto dvīņu brāļu hipotēzē. Viens no tiem dodas kosmiskā ceļojumā ar lielu ātrumu. Attiecībā pret Zemes inerciālo atskaites sistēmu viņš noveco lēnāk un tāpēc, atgriežoties uz Zemes, viņš būs jaunāks par savu brāli, kurš paliek uz Zemes.

Olbersa — apbrīnojams aprēķins, kas parāda, ka, ja kosmosā visas galaktikas izvietotas vienmērīgi, ja Visums ir bezgalīgs laikā un telpā un ja tas neizplešas, tad debesij arī naktī ir jāspīd spīgtāk par Sauli.

pulksteņu — relativitātes teorijas pārsteidzošs apgalvojums, ka divi sinhronizēti pulksteņi var tikt attālināti viens no otra un pēc tam satuvināti tādā veidā, ka tie nerādītu vienādu laiku, kaut gan abi ietu ar vienādu precizitāti.

Pasaules līnija — kustoša ķermeņa trajektorija attēlota četrdimensiju telpas-laika koordinātu sistēmā.

Postulāts — bezpierādījuma pieņēmums, kas veido loģiskas sistēmas pamatu. To sauc arī par aksiomu.

Princips —

Maha — teorija, kura uzskata, ka inerci rada ķermeņa kustības paātrinājums attiecībā pret visiem materiālajiem ķermeņiem Visumā.

ekvivalences — apgalvojums, kas ir vispārīgās relativitātes teorijas pamatā — ka smagums un inerce ir divi dažādi veidi, kā apskatīt pēc būtības vienu un to pašu parādību.

Sarkanā pārbīde — gaismas viļņu garuma pārbīde uz spektra sarkanā galu. To var izskaidrot ar 1) gaismas avota kustību projām no novērotāja; 2) spēcīga gravitācijas lauka iedarbību; 3) pieņēmumu, ka gaismas avots gaismu izstarojis jau ļoti sen un laiks paātrinājis savu gaitu.

Signāls — jebkuru likumsakarīgi saistītu notikumu ķēde dažādos ķermeņos.

Telpa-laiks — četrdimensiju koordinātu sistēma relativitātes teorijā.

Telpas-laika intervāls — attālums starp diviem notikumiem telpa-laikā.

Telpas-laika struktūra — telpas-laika ģeometriskā struktūra.

Teorija

speciālā relativitātes — Einšteina pirmā relativitātes teorija, kurā pieņēma, ka novērotājs atrodas tikai inerciālās atskaites sistēmās.

vispārīgā relativitātes — Einšteina otrā relativitātes teorija, kas vispārina speciālo relativitātes teoriju, ieslēdzot tajā pātrinātu kustību, gravitāciju un inerci.

stabila stāvokļa — teorija uzskata, ka pasaulei laikā nav ne sākuma, ne gala, taču tā ir stabilā stāvoklī tāpēc, ka nepārtraukti rodas jauna matērija, kas aizvieto to matēriju, kura izgaist bezgalībā sakarā ar Visuma izplešanos.

vienota lauka — teorija, kas vēl nav pietiekoši izveidota. Tajā ar vienu un to pašu vienādojumu sistēmu apraksta gravitāciju un elektromagnētismu.

Topoloģija — neprecīzi izsakoties, pēta tādas ķermeņa īpašības, kuras neizmainās, ja ķermeni nepārtraukti deformē.

Viļņa garums — attālums, ko mēra viļņa izplatīšanās virzienā starp diviem tādiem tuvākiem viļņa punktiem, kuri dotajā momentā ir vienā fāzē.

Hronoloģija

1879. g. — 14. martā Ulmē (Vācija) piedzimst Alberts Einšteins.
1881. g. — Alberts Maikelsons pirmo reizi mēģina noteikt ētera vēju.
1887. g. — Maikelsona—Morleja eksperiments neatklāj ētera vēju.
1893. g. — H. Lorencs publicē pirmo kontrakcijas teoriju, kura izskaidro Maikelsona—Morleja eksperimentu.
1905. g. — Einšteins publicē speciālo relativitātes teoriju.
1908. g. — apbrīnojami precīzus eksperimentus veic Rolands fon Etvešs un pierāda, ka inertā masa ir proporcionāla gravitācijas masai. Hermans Minkovskis nolasa savu slaveno lekciju par telpu un laiku kā telpas-laika *ēnu projekcijām*.
1911. g. — Einšteins iesaka uzstādīt eksperimentu pilna Saules aptumsuma laikā, lai pārbaudītu, vai gaismas stars no zvaigznes nenoliecas Saules gravitācijas laukā.
1916. g. — Einšteins pabeidz vispārīgo relativitātes teoriju.
1917. g. — Einšteins rada *cilindriskā Visuma* modeli. Mūsdienu kosmoloģijas sākums.
1919. g. — Arturs Edingtons vada ekspedīciju uz Āfriku, lai novērotu Saules aptumsumu. Mērījumi apstiprina Einšteina domas par gravitācijas lauka ietekmi uz gaismas staru.
1932. g. — Kenedijs un Torndaiks atkārtoti Maikelsona — Morleja eksperimentu, kas apgāž Lorenca kontrakcijas teoriju.
1942. g. — Enriko Fermi kopā ar līdzgaitniekiem izraisa pirmo kodolu ķēdes reakciju. Masa pāriet enerģijā saskaņā ar Einšteina formulu. Sākas atomu laikmets.
1955. g. — 18. aprīlī Prinstonā, Ņūdžersijas štatā (ASV) nomirst Einšteins.
1958. g. — Rūdolfs Mesbauers atklāj «Mesbauera efektu». Pamatojoties uz to, drīz uzstādīja eksperimentu, kurš pierādīja Einšteina hipotēzi — gravitācijas ietekmē laiks palielinās.

Saturs

Autora priekšvārds	5
1. nodaļa. Absolūti vai relatīvi?	9
2. nodaļa. Maikelsona — Morleja eksperiments	19
3. nodaļa. Speciālā relativitātes teorija. 1. daļa	37
4. nodaļa. Speciālā relativitātes teorija. 2. daļa	55
5. nodaļa. Vispārīgā relativitātes teorija	71
6. nodaļa. Gravitācija un telpa-laiks	87
7. nodaļa. Maha princips	109
8. nodaļa. Dvīņu paradokss	117
9. nodaļa. Visuma modeļi	129
10. nodaļa. Sprādziens vai stabils stāvoklis?	153
Terminu vārdnīca	163
Hronoloģija	167

М. Гарднер

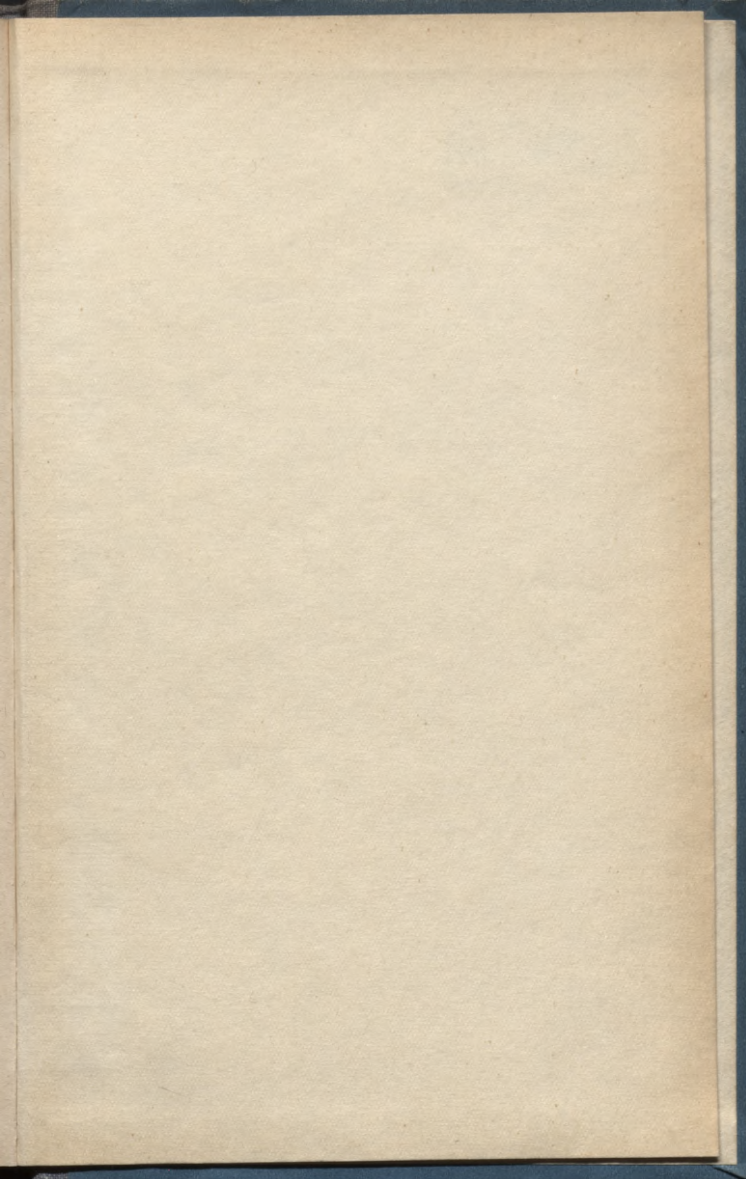
ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МИЛЛИОНОВ
Атомиздат, Москва, 1967

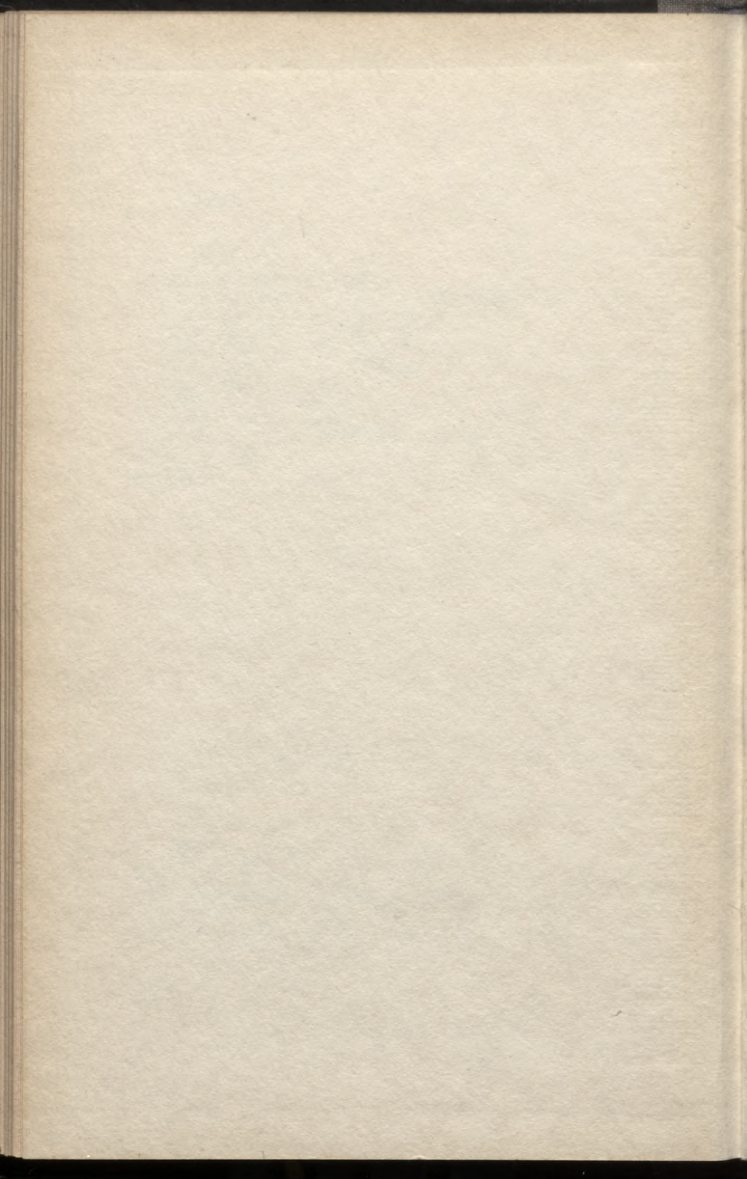
Издательство «Лиезма». На латышском языке

Tulkotājs A. Okmanis. Vāku zīmējis M. Svidlers.

Redaktore A. Zēgnere. Māksl. redaktors A. Lipins.
Tehn. redaktore V. Dārziņa. Korektore A. Mustapa.

Nodota salikšanai 1968. g. 13. maijā. Parakstīta iespiešanai 1968. g. 18. novembrī. Tipogrāfijas krita papīrs 80 g, formāts 84×108/32. 5,25 fiz. iespiedl.; 8,82 uzsk. iespiedl.; 7,94 izdevn. 1. Melns 10 000 eks, Maksā 48 kap. Izdevniecība «Liesma» Rīgā, Padomju bulv. 24. Izdevn. Nr. 21831-R1601. Iespiesta Latvijas PSR Ministru Padomes Preses komitejas Poligrāfiskās rūpniecības pārvaldes 3. tipogrāfijā Rīgā, Ļeņina ielā 137/139. Pasūt. Nr. 272.





LATVIJAS NACIONĀLĀ BIBLIOTĒKA



0308054655

48 kap.

- 22081