

H. KERES

ADVEG
JA
RUJUM

Archie.

A-11546
275 I

EESTI NSV POLIITILISTE JA TEADUSALASTE TEADMISTE
LEVITAMISE ÜHING

PROFESSOR
H. KERES

AEG JA RUUM

Nr. 10 (275)

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS • TALLINN 1959

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
45408

I. RUUMI JA AJA MÕISTETE ARENEMINE ENNE XX SAJANDIT

1. Mis on ruum ja aeg? Kui küsiksime, mis on vesi või mis on õhk, siis saaksime üsna hõlpsasti enam-vähem täpse vastuse. On ju vesi ja õhk objektid, millega puutume kokku igal sammul, ning miski ei takista meid teostamast vajalikke vaatlusi ja katseid nende lähemaks tundmaõppimiseks. Me võime mõõta vee ja õhu erikaalu, konstateerida nende lõhna, maitset või värvust, määrata nende keemilist koostist jne. Sel viisil kogume rea omadusi ja tunnuseid, mis on iseloomulikud ainult veele või õhule ning mis niisuguses kombinatsioonis muude esemete juures ei esine.

Küsimusega, mis on ruum ja aeg, näib olukord mõnevõrra analoogiline olevat. Eks ole ju ruum ja aegki meie igapäevastes kogemustes kõige sagedamini esinevad objektid. Et olla, liikuda, töötada, selleks vajame ruumi ja aega. Meie igasuguste toimingutega kaasnevad ühel või teisel kujul ruumilised ja ajalised arvestused. Ruumi ja ajaga puutume kokku niisama sagedasti kui vee ja õhuga. Kas pole siis siingi võimalik küsimusele vastust saada vastavate vaatluste ja katsete teel?

Selle plaani teostamisel kohtame aga ootamatuid raskusi. Ruumi ja aega ei saa uurida ja mõõta nii nagu vett või õhku. Pole üldse mõtet püüda kindlaks teha ruumi ja aja värvust, lõhna või maitset, määrata ruumi ja aja erikaalu, keemilist koostist või midagi muud selletaolist. Ruumi ja aega ei saa lõigata, kaaluda ega käega katsuda. Esimesel pilgul pole näha, kuidas neid objekte üldse saaks praktiliselt tabada. Teame ju, et toas «on ruumi» seda rohkem, mida vähem temas on

esemeid. Päris puhas «ruum» omaette peaks niisiis olema seal, kus pole üldse mingisuguseid esemeid. Samuti on selge, et «aega on» meil seda rohkem, mida vähem meil on tegevust, s. o. mida vähemas hulgas sündmustes me oleme osalised. Päris puhas «aeg» omaette peaks niisiis kulgema seal, kus mingisuguseid sündmusi pole ja kus üldse midagi ei toimu. Aga kus midagi pole ja midagi ei toimu, seal pole ka midagi uurida.

Ometi peavad ruum ja aeg olema midagi tegelikku. Nende olemasolu annab end tunda meie igapäevase elu toimetustes, ja mõnikord üsnagi ebameeldival viisil. Eriti hästi tunneb ruumi ja aja praktilist probleemi suurlinna elanik. Kes ei teaks, mida tähendab ruumpuudus kodus ja autobussis või kibe ajanappus hommikul töötõttamisel. Ja kas pole terve kaasaegne keerukas liiklustehnika pühendatud ainult ruumi ja aja ületamisele?

Mis on siis ruum ja aeg?

2. Kuidas vastati küsimusele antiikajal. Eespool puudutasime möödamannes kujutlusi ruumist ja ajast, mis olid seotud vastavate kõnekeelsete väljenditega. Viimane asjaolu näitab, et need kujutlused on üldised ja igapäevased, tulenedes igapäevastest lihtsatest kogemustest. Lähtudes niisugustest naiivsetest kujutlustest, tuletasid antiikaja teadlased vastuse küsimusele: mis on ruum?

Nad väitsid, et tühi ruum on niisama tõeliselt olemas nagu kõik muudki esemed, sest kui poleks ruumi, siis poleks esemetel kusagil olla ega liikuda. Olemise esimeseks tingimuseks on k u s olla. Ruum ongi kõigi esemete üldine mahutaja ja kõige toimuva ühine looduslik näitelava. Ruum võib olla olemas tühjana ja mitte midagi sisaldavana, kuid ei saa olla esemeid ilma ruumita. Siit nähtub, et võrreldes teiste esemetega on ruum nagu primaarsem, algsem.

Eespool mainisime juba mõningaid põhimõttelisi raskusi, mis kerkivad esile ühenduses äsjakirjeldatud ruumimõistega ning mis ei jäänud märkamatuks ka antiikaja teadlastele. Kaasaegsele loodusteadusele on niisugune tühja ruumi mõiste veelgi võõram. Tühi ruum mahutab ju kõikvõimalikud esemed ja sündmused ühtviisi lähedalt, neid vähimalgi määral moonutamata ja mõjustamata, nende liikumisvabadust piiramata. Platoni väljenduse järgi on ruum nagu ideaalne salvialus, mis

on suuteline vastu võtma kõikvõimalikke lõhnu, ise omalt poolt midagi juurde lisamata. Aga siis pole võimalik tühja ruumi mingil viisil tajuda, sest tajumine eeldab uurija meeleorganite või aparatuuride mõnesugust otsest või kaudset mõjutamist tajutava eseme poolt, missugune võime aga tühjal ruumil kui tajumise objektile puudub. Tühi ruum on seega midagi niisugust, mis põhimõtteliselt pole kättesaadav vaatlusele ja katsele. Kuid põhimõtteliselt mittetajutavaid objekte looduses ei esine. Teiste sõnadega, neid pole olemas. Tähendab, omaette olemasoleva tühja ruumi mõiste osutub väljamõeldiseks. Antiikaja teadus ei suutnud püstitatud küsimusele meid rahuldaval viisil vastata. Mõiste, millel on oma sisu ja tähendus igapäevaste kogemuste piirides, muutub sisutuks ja mõttetuks, kui teda vaadelda lahtikistuna ja eraldatuna nendest kogemustest, omaette ja absolutiseerituna.

3. Mis on pimedus? Oli kunagi aeg, mil valgust ja pimedust peeti ühesuguse tõelisuse astmega olemasolevateks nähtusteks. Tänapäeval teame, et see pole nii. Tunneme küll valguslaineid ja valguse levimise kiirust, kuid pimeduslainetest ja pimeduse levimise kiirusest ei tea füüsika midagi. Pimedus tähendab ainult valguse puudumist. Soovides oma küsimusele vastuse saamise eesmärgil uurida pimedust omaette, lahus ja eraldi kõigest teistest nähtustest, satume samale põhimõttelisele raskusele, mis tühja ruumi puhulgi: uurimisobjekti pole lihtsalt olemas! Igapäevased kogemused aga näitavad, et pimedus on siiski midagi tegelikku, millega tuleb võidelda, kulutades selleks materiaalseid vahendeid. Et kogemusi tuleb uskuda, siis seisab meie eelmiste arutluste viga nähtavasti selles, et ületasime mõttes lubamatul viisil igapäevaste kogemuste piirid.

Tõepoolest, igapäevastes kogemustes tajume nii valgust kui ka valguse ajutist puudumist. Oli valgus, see kustus ja süttis siis uuesti. Vahepeal valitses pimedus. Pimedus on tajutav kui valguse lünk, kontrast valgusele. Teisiti pimedus tegeliku elu kogemustes ei esine. Kui kunagi poleks olnud valgust, siis poleks olnud võimalik märgata ka valguse puudumist, s. o. pimedust. Pimedus kui valguse lünk on tõeline ja tegelik niivõrd, kui võrd on olemas valgus, milles see lünk esineb.

Auguga riidekangas on reaalne objekt ja augu kõr-

valdamine nõuab meilt praktilist tööd ning materiaalseid vahendeid. Auk kangas on reaalne, kuna auk omaette, lahus kangast, pole enam tõsiasi, mis kuuluks tegeliku elu sfääri. Nii ka pimedus kui tajutav objekt on vaid ajaline või ruumiline auk suures valgusekangas ja pimeduse ületamine tähendab selle valgusekanga lap-pimist. Pimeduse kahandamine on täpselt seesama mis valguse suurendamine. Pimedus omaette, lahus valgusest, pole enam igapäevase elu tõsiasi.

4. Tühi ruum ja vaba aeg primitiivsetes kogemustes. Pöördugem tagasi ruumi ja aja küsimuse juurde. Tühja ruumi — omaette olevana ja sõltumatusena temas leiduvatest esemetest — peeti kunagi niisama tõeliseks nagu muidki materiaalseid esemeid. Eespool nägime, et kaas- aegne loodusteadus ei saa sellega nõustuda.

Igapäevastes kogemustes tajume mitmesuguseid materiaalseid esemeid ja sündmusi, samuti aga ka nende puudumist ja lõppemist. Siin on kõrge maja sein ja seal ta lõpeb. Edasi tuleb juba teine maja. Kahe maja vahepeal pole midagi, seal on «tühi ruum». Üliõpilane kuulab loengut; see lõpeb ja varsti algab uus. Loengute vaheajal pole üliõpilasel midagi teha, tal on «vaba aeg», tema «aeg jookseb tühjalt». Seega «tühi ruum» ja «vaba aeg» on meile tajutavad kui tühikud materiaalse esemete vahel ja ümbruses, kui lüngad sündmuste käigus, kontrastid ainelistele kehadele ja protsessidele. Teistsugust tühja ruumi ja aega tegeliku elu lihtsad kogemused ei tunne. See ruum ja aeg on tõeline ja tegelik niivõrd, kuivõrd on olemas materiaalsed esemed ja protsessid, milles ruum ja aeg tühikutena ja lünkadena esinevad. On arusaadav, et tühik või lünk ei saa eksisteerida iseseisvalt, eraldi materiaalsest maailmast. Seepärast ka omaette, esemetest eraldi olemasolev tühi ruum ja aeg pole igapäevase kogemuse tõsiasi.

Igapäevased kogemused on muidugi mitmekesised. Tühikuid materiaalse kehade vahel ja ümbruses võib esemete ümberpaigutamise teel suurendada või vähendada; ruumi võib täita ja tühjendada. Küllap niiviisi tekkiski kujutlus üldisest ruumist kui tohutu suure koo-pa või toa sisemusest, mis mahutab kõik materiaalsed esemed. Meie ülesandeks aga pole neid algelisi mõisteid siinkohal sügavamalt analüüsida. Märjime vaid, et juba selles primitiivses ja eelteaduslikus ruumi ja aja mõistetes

arenemise faasis paistab silma iseloomulik tõsiasi, et aeg ja ruum on looduses lahutamatult seotud materiaalsete objektide ja sündmustega.

5. René Descartes (1596—1650). Jälgime edasi ruumi ja aja mõistete ajaloolist arenemist. Jättes vahele pika keskaja, mis antiikajaga võrreldes ei lisanud loodusteadusele midagi olulist, hüppame kohe uusaja algusse, mil tekkisid uued ideed, mis püüdsid anda mõistlikku sisu iseseisvalt olemasoleva ruumi mõistele.

Prantsuse filosoof ja matemaatik René Descartes väitis, et ulatuvus on ainult materiaalsete kehade omaduseks ja järelikult kõik, millel on ulatus, on materiaalne. Ruumil on kindlasti ulatus, seega on ka ruum materiaalne objekt, midagi hõreda ainelise keskkonna taolist. Ainult meie meeltele paistab ruum teistsugusena kui muud materiaalsed esemed, tegelikult aga kuulub ta ise samuti viimaste hulka. Niisiis on kosmiliste objektide vahel haigutavad määratud tühikud ainult näiliselt tühjad, kuna tõeliselt on nad täidetud erilises olekus viibiva ainega. Loodus ei salli tühjust!

On arusaadav, et niisugune ruumimõiste ei tekita neid põhimõttelisi raskusi, millest oli juttu eespool. Sellist ruumi võib uurida nagu iga teistki materiaalses eses. Sellises ruumis on asukohal ja liikumisel oma selge ja hästimääratud mõte.

Descartes'i idee materiaalsest ruumist pole võõras kaasaegselegi teadusele. Mitmes füüsika harus osutub otstarbekohaseks ruumi käsitleda just niiviisi. Meenutagem näiteks vaakuumi mõistet kvant-väljateooriast: vaakuum on vastastikuse mõjustuse vahekorras elementaarosakestega nagu üks materiaalne objekt teisega.

6. Isaac Newton (1643—1727). Newtoni teooriaga jõudis lõpule ruumi ja aja mõistete arenemise pikk eelrelativistlik etapp. Inglise füüsik ja matemaatik Isaac Newton oli üks uusaja suurimaid loodusteadlasi. Toetudes Galilei varajasematele töödele, esitas ta oma peateoses «*Philosophiae naturalis principia mathematica*»¹ (1687) kogu klassikalise mehaanika põhialused, sealhulgas ka aja ja ruumi teooria, mis püsis loodusteaduses vankumatuna ja muutumatuna ligi kolm sajandit. Alles Albert

¹ «Loodusefilosoofia matemaatilised printsiibid».

Einsteini avastused XX sajandi alguses rajasid tee ruumi ja aja olemuse sügavamaks mõistmiseks.

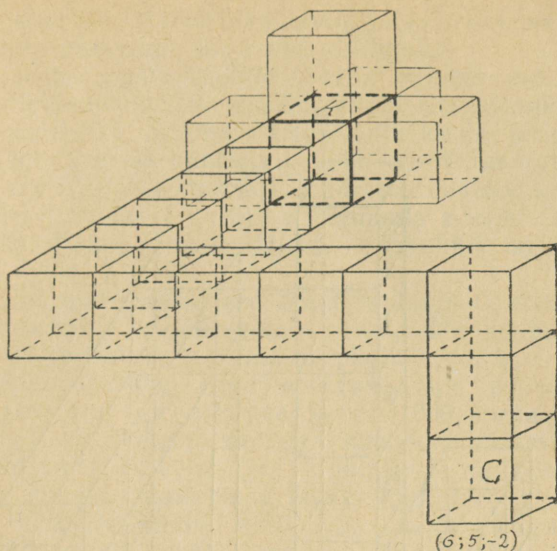
Newton pöördus põhiliselt tagasi esemetest eraldi olemasoleva tühja ruumi mõiste juurde. Looduses esineb tõeliselt ruum, mis on ainus ja üldine ning sisaldab kogu materiaalse maailma. Newton nimetab seda absoluutseks ruumiks. Ta kirjutab selle kohta: «Absoluutne ruum jääb oma loomu poolest, olemata vahekorras mistahes välise esemega, alati ühesuguseks ja liikumatuks.»

Peale ruumi vajavad esemed olemiseks ka aega. Kui käesolevale silmapilgule ei järgneks enam teisi, siis poleks edasistel sündmustel võimalust toimumiseks. Kogu olemine lõpeks käesoleva hetkega. Üksteisele järgnevatest silmapilkudest moodustubki aeg. Newtoni järgi on voolav aeg olemas omaette ja eraldi esemetest kui kõikide sündmuste objektiivne mahutaja. Ta kirjutab: «Absoluutne, tõeline ja matemaatiline aeg voolab omaette ja oma loomu poolest ühtlaselt, sõltumatult mistahes välisest esemest.» See tähendab, et kui kaoksid kõik esemed, säiliksid tõeliselt olemasolevana ikkagi tühi absoluutne ruum ja tühjalt voolav aeg.

On mõnevõrra üllatav, et nii suur loodusteadlane nagu Newton võis eeldada objektide olemasolu, mis pole seotud ei omavahel ega ka muude materiaalsete esemetega ja järelikult pole põhimõtteliselt tajutavad ega või seepärast olla füüsikalised tõsiasiad. Nagu arvab tuntud füüsik Max Born, on siin nähtavasti tegemist naiivse teadvuse kujutluste ülekandmisega objektiivsele maailmale ilma sügavama kriitikata.

7. Asukoha määramine ruumis. Newton ja tema järglased märkasid väga hästi absoluutse ruumi ja aja mõistetega seotud põhimõttelisi raskusi, kuid sellest ei tekkinud siiski praktilisi ebamugavusi. Loodusteaduses keegi tegelikult ei rakendanud absoluutse ruumi ja aja mõisteid, mis jäid peamiselt nähtuste teoreetilise «seletamise» tagapõhjaks.

Tegelikul asukoha määramisel ruumis on aluseks ja lähtepunktiks alati mingi konkreetne, muutumatu kujuga materiaalne keha või kehade süsteem. Olgu see keha näiteks kuubikujuline (kui ta seda pole, siis võime temast vähemalt mõttes eraldada niisuguse kuubi). Selle ainelise kuubi kõrvale võime mõelda igas suunas uusi niisama suuri kuupe (joon. 1), viimaste kõrvale jälle

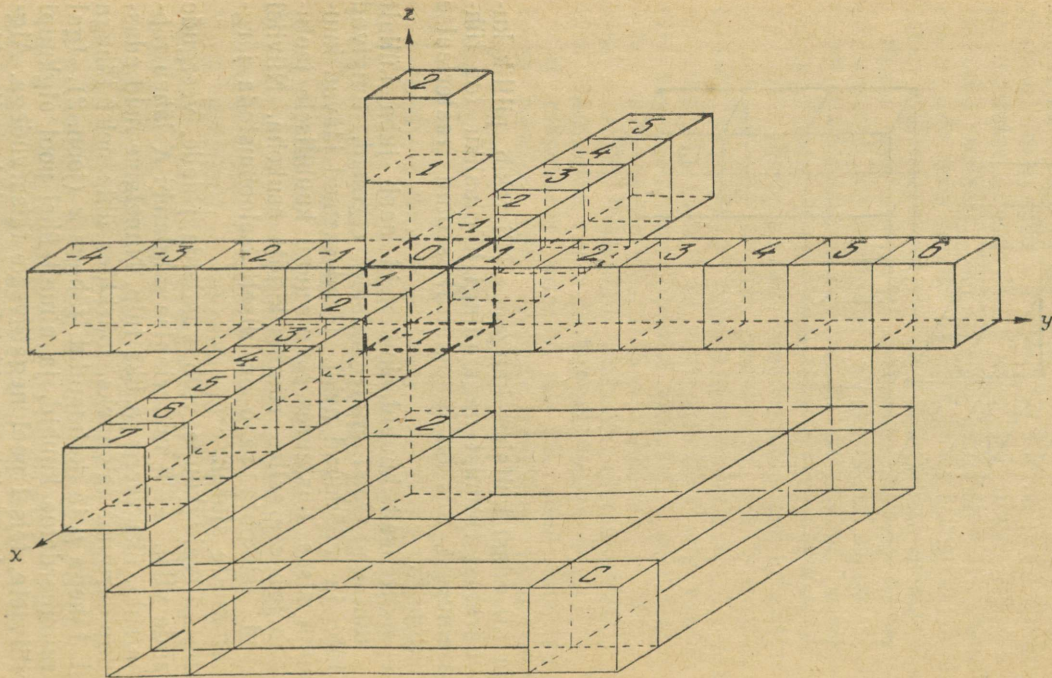


Joon. 1.

uusi ja nii edasi kuitahes kaugele. Nii tekib piltlik kujutus ääretust ruumist nagu mingi hiiglasliku toa tühjast sisemusest, mis on liikumatult seotud materiaalse altkuubiga K .

Meie mõttelised kuubid, kui neid saab juba küllalt palju, kohtavad teisi materiaalseid esemeid, tungivad neist läbi ja mööduvad neist. Need esemed jäävad kuupideruumi sisse, kusjuures tänu ruumi kuubilisele jaotusele saab iga ese selles ruumis kindla asukoha. Niiviisi mõistetud asukohta saab arvuliselt iseloomustada järgmise põhimõtte alusel.

Ruumi täitvaid kuupe võib vaadelda ridade, veergude ja tulpade viisi. Läbi materiaalse altkuubi K läheb täpselt üks rida, üks veerg ja üks tulp. Nimetame neid edaspidi kuupideruumi telgedeks, märkides ühte neist tähega x , teist tähega y ja kolmandat tähega z (joon. 2). Igal teljel nummerdame kuubid, ja nimelt ühel pool altkuupi K positiivsete, teisel pool negatiivsete täisarvudega. Altkuubile enesele omistame järjekorranumbri null. Altkuubi need kolm tahku, mis eraldavad teda telgedel aset-



(6;5;-2)

Жон. 2.

sevatest kuupidest järjekorranumbriga —1, lõikuvad ühes tipus, mida nimetame algkuubi nulltipuks.

Nüüd saame igale kuubile C meie ruumis vastavusse seada talle iseloomuliku järjekorranumbrite kolmiku. Esi-meseks numbriks võtame x -teljel selle kuubi järjekorra-numbri, mis asetseb kuubiga C ühes kuubikihis (olgu see näiteks arv 6); teise numbri määrame analoogilisel vii-sil y -teljel (näiteks arvu 5) ja kolmanda z -teljel (näiteks arvu —2). Kuupi C iseloomustav arvukolmik on siis (6; 5; —2) (joon. 1 ja 2).

Kui mõni materiaalne ese E sattus kuupi C , siis eseme E asukohta meie kuupideruumis — kuni ühe kuubi täpsu-seni — iseloomustab seesama arvukolmik (6; 5; —2). On see asukohamäärang liiga ebatäpne, siis peenendame kuupe, jaotades iga esialgse kuubi 1000 korda väikse-maks, 10 korda lühema servaga kuubiks. Väikeste kuu-pide read, mis lähevad läbi algkuubi K nulltipu, moo-dustavad kuupideruumi uued teljed. Igal uuel teljel rüh-mituvad väikesed kuubid 10-kaupa, kusjuures iga rühm asetseb ühe suure kuubi sisemuses. Nummerdame väike-sed kuubid igas niisuguses rühmas arvudega 0 kuni 9. Nüüd võime loendada väikesi kuupe teljel kümnendmur-dudega, millel on pärast koma üks koht. Näiteks väike kuup 6,3 asetseb suures kuubis nr. 6 kohal nr. 3. Eseme E asukoht kuupideruumis on määratud kuni ühe väikese kuubi täpsuseni kümnendmurdude kolmikuga, näiteks (6,3; 5,0; —2,8). Kui seegi asukohamäärang pole veel küllalt täpne, peenendame kuupe edasi ja määrame ese-me E asukoha kuni veel väiksema kuubi täpsuseni küm-nendmurdude kolmikuga, millel on pärast koma juba kaks kohta, näiteks kolmikuga (6,31; 5,05; —2,80) jne. Asukoha määramise täpsusel pole piiri. Füüsikas vaadel-dakse tavaliselt idealiseeritud piirjuhtu, n.ö. lõpmata täpset asukohta, mis on samaväärne üksiku ruumipunk-tiga ja on iseloomustatav lõpmatute kümnendmurdude kolmikuga. Teljed on siis juba kõdunud kolmeks risti lõi-kuvaks sirgeks.

8. Relatiivne ruum. Ruum, milles füüsikud tegelikult määravad kehade asukohti ja liikumisi, on just niisu-gune, nagu on kirjeldatud eelmises punktis. See ruum on liikumatult seotud mingi materiaalse tsentraal-kehaga, näiteks Maaga, mille suhteliseks loetakse ka lei-tud asukohad ja liikumised. Lahus tsentraalkehast ja

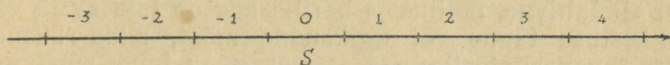
omaette pole niisugusel ruumil mõtet. Ainult tsentraalkeha annab asukohtadele ja liikumistele konkreetse materiaalse sisu. On arusaadav, et asukohtade ja liikumiste määramise aluseks võib omakorda põhimõtteliselt olla mistahes jäik keha. Iga sellise kehaga võib liikumatult ühendada ruumi, mis võib mõne teise keha ruumi suhtes olla liikuv. Ruume ülalkirjeldatud praktilises mõttes on looduses palju. Nimetame neid koos Newtoniga vastandina ainsale ja meile praktiliselt kättesaamatule absoluutsele ruumile tegeliku elu relatiivseteks ehk suhtelisteks ruumideks. Newton kirjutab: «Relatiivne ruum on absoluutse ruumi mõõt või mõni liikuv osa, mis oma asendi kaudu teiste kehade suhtes on meie meeltele kättesaadav ja loetakse tavaliselt liikumatuks ruumiks.»

Et asukohal ja liikumisel kui asukohamuutusel on füüsikaline mõte ainult relatiivses ruumis, seega ainult ühe või teise tsentraalkeha suhtes, siis öeldakse, et asukoht ja liikumine on relatiivsed. Teoreetiliselt kujutletavaid asukohti ja liikumisi absoluutses ruumis nimetas Newton absoluutseteks asukohtadeks ja liikumisteks.

Liikumise suhtelisust illustreerib hästi järgmine näide. Ruumis, mis on seotud Päikesega ega pöörle kaugete kinnistähedte suhtes, liiguvad planeedid, nende hulgas ka Maa, mööda kergelt elliptilisi kinnisi teid. Ruumis, mis samuti ei pöörle kaugete kinnistähedte suhtes, kuid milles Maa keskpunkt on paigal, pöörleb Maa ja planeedid liiguvad mööda keerukaid silmuselisi jooni, mida täpsemalt kirjeldas antiikaja astronoom Ptolemaios. Lõpuks, ruumis, mis on täiesti liikumatult seotud Maaga kui tsentraalkehaga, liiguvad planeedid ja ka kauged kinnistähed suure täpsusega mööda ringjooni, tehes iga ööpäeva jooksul ühe täistiiru ümber Maa. Nagu näeme, sõltub liikumise pilt ja kirjeldus oluliselt sellest, missuguses relatiivses ruumis liikumist vaadeldakse. Igapäevases elus vaadeldakse liikumisi peaaegu eranditult Maa suhtes, s.o. selles relatiivses ruumis, kus tähed kirjeldavad suuri ringjooni.

9. Asukoha määramine ajas. Soovides määrata asukohti ajas, peame lähtuma mõnest konkreetsetelt väljavalitud sündmusest. Nimetame seda edaspidi sündmuseks *S*. Sündmusel *S* on oma kestus. Kui lisame mõttes viimasele piiramatul hulgal ja ilma lünkadeta eelnevaid ja järgnevaid niisama suuri kestusi, siis tekib kujutus lõputust

ajast, mis mõnevõrra sarnaneb pildiga üksteise kõrvale paigutatud omavahel võrdsete lõikude reast ühel sirgel (joon. 3). Kestused, mis sündmusele S järgnevad, nummerdame positiivsete täisarvudega $1, 2, 3, \dots$, kestused, mis talle eelnevad, negatiivsete täisarvudega $-1, -2, -3, \dots$; sündmusele S enesele omistame järjekorranumbri 0 .



Joon. 3.

Järjest pikenedes kohtab sündmusele S juurde mõeldud kestuste rida teisi sündmusi ja möödub neist. Viimastest igaüks saab kestuste reas kindla asukoha. Seda asukohta iseloomustab kuni ühe kestuslülil täpsuseni selle kestuse järjekorranumber, kuhu vaadeldav sündmus sattus. Kui asukohta täpsus pole piisav, jaotame iga lülil 10 väiksemaks lüliks, nummerdame viimased kümnendmurdudega (analoogiliselt kuupidega kuupideruumi teljel) ja saame sündmuse asukoha kuni ühe väikese kestuslülil täpsuseni. Seda asukohta iseloomustab kümnendmurd, millel on pärast koma üks koht. Kui ka sellest täpsusest ei piisa, jaotame lülisid edasi. Asukoha määramise täpsusel ajas pole piiri.

Tegelikul asukoha määramisel ajas ei piirdu me muidugi kestuste ahela kujutlemisega, vaid selle tekitab materiaalselt seadeldis, mida nimetame kellaks. Igi vanaks aja mõõtmise vahendiks on järgmine looduslik kell.

Relatiivses ruumis, mis ei pöörle kaugete kinnistähedete suhtes ja milles Maa keskpunkt on paigal, tiirleb Päike aeglaselt ümber Maa. Täistiirude kestused, mida nimetatakse aastateks, ongi üksikuteks lülideks tohutu pikas ahelas, mida see looduslik kell on jõudnud tekitada. Lähtesündmuseks S võetakse mõnel konkreetset viisil tähistatud aasta, näiteks tuhande üheksasaja seitsmeteistkümnend aastat enne Oktoobrirevolutsiooni aastat. Nii saadakse meie ajaarvamise süsteem. Aastaarvud ajalooõpikus märgivad üksikute sündmuste asukohti ülalmainitud kestuste reas.

10. Relatiivne aeg ja taustsüsteem. Aeg, milles füüsi-
kud määravad sündmuste asukohti, on ikka mõne konk-
reetse sündmusega S seotud kestuste ahel. Põhimõtteli-
selt on iga sündmusega ühendatav oma ahel. Aegasid
ülalkirjeldatud praktilises mõttes on looduses palju.
Nimetame neid koos Newtoniga vastandina meile prak-
tiliselt kättesaamatule absoluutsele ajale tegeliku elu
suhtelisteks ehk relatiivseteks aegadeks. Newton kirju-
tab: «Relatiivne, näiline ja harilik aeg on tajutav ja väli-
ne, kestuse täpne või ligikaudne mõõt, mida rakenda-
takse tavaliselt tõelise aja asemel, nagu tund, päev, kuu,
aasta.»

Iga kell mõõdab omaenese relatiivset aega, millelt me
nõuame, et ta oleks absoluutse aja «täpne või ligikaudne
mõõt.» Teiste sõnadega, me nõuame, et kell käiks «õiges-
ti» selles mõttes, et tema poolt määratud üksikud kestus-
lülid oleksid täpselt ühepikkused. Kuidas seda kindlaks
teha? Absoluutsel ajal pole ju mõjustuslikke vahekordi
ühegi materiaalse objektiga, mistõttu pole võimalik kella
siduda absoluutse ajaga, et kontrollida kella käiku.
Sellegipärast oskame igapäevases elus otsustada, mis-
sugune kell käib õigesti ja missugune mitte. Õigesti käib
kell, kui ta käik on kooskõlas näiteks vastavate raadio-
signaalidega. Raadiosignaale aga kontrollitakse astro-
noomilisel teel, võrreldes neid viimases instantsis suure
kosmilise kellaga, mille moodustavad ümber Päikese tiir-
levad planeedid. Niisiis selle kosmilise kella järgi regu-
leeritakse iga muu kella käik «õigeaks». Kosmilise kella
relatiivne aeg asendab praktiliselt absoluutset aega nii
igapäevases elus kui teaduses. Pöörlev Maa kui kell
mõõdab mainitud kosmist aega väga suure täpsusega,
ent siiski mitte päris täpselt.

Eelmistes punktides toodud arutlustest järeldub, et
loodusnähtuste käsitlemine ajas ja ruumis pole võimalik
teisiti, kui valides aluseks mõne konkreetse materiaalse
kehaga seotud relatiivse ruumi koos selle juurde kuuluva
õigesti käiva kellaga. Nimetame niisugust relatiivse
ruumi ja relatiivse aja kombinatsiooni taustsüsteemiks,
soovides selle nimetusega märkida, et mainitud süsteem
on ajalis-ruumiliseks tagapõhjaks ehk taustaks loodus-
nähtuste kirjeldamisele ja vaatlemisele. On arusaadav,
et iga nähtuse vaatlemisel saab taustsüsteemi valida lõp-
matult mitmeti.

11. Inertsiaalsüsteemid. Asukoha määramise seisukohalt ruumis ja ajas on kõik taustsüsteemid üksteisega täiesti samaväärsed. Seda on nad ka liikumise seisukohalt, kuni me liikumist käsitleme ainult asukoha muutusena ruumis. Ühel taustsüsteemil pole erilisi põhimõtteisi eeliseid teiste ees. Inertsinähtuste seisukohalt aga pole kõik taustsüsteemid enam üksteisega samaväärsed. Newtoni mehaanika esimene põhiseadus väidab, et iga keha, mis on täielikult vaba kõrvalistest mõjutustest, kas püsib paigal või liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt. Kehade omadust säilitada omapead jäetuna kindlakujulist liikumisolekut, nimelt paigalolekut või ühtlase ja sirgjoonelise edasiliikumise olekut, nimetame inertsiks. Seepärast kannab Newtoni esimene seadus ka inertsiseaduse nime.

Newton mõtles inertsiseaduses muidugi liikumist absoluutses ruumis ja liikumise ühtlust absoluutse aja tagapõhjal. Kogemused näitavad, et inertsiseadus Newtoni sõnastuses on kehtiv ka paljudes relatiivsetes ruumides, mis õige aja juurdevõtmise teel on täiendatud taustsüsteemideks. Üks niisuguseid on näiteks taustsüsteem, milles Päike on paigal, mis ei pöörle kaugete kinnistähtede suhtes ja milles kellaks on ümber Päikese tiirlevate planeetide süsteem.

Kuid mitte kõikidel taustsüsteemidel pole sellist omadust. Kujutleme rõhtsalt maapinnale asetatud hästi siledat ja küllalt suurt tasast plaati. Sellel plaadil mitte väga suure kiirusega liikuma tõugatud kuulike ei liigu edasi sirgjooneliselt, vaid hoopis mööda ringjoont. Järelikult Maaga liikumatult seotud relatiivses ruumis ei ole inertsiseadus Newtoni sõnastuses õige.

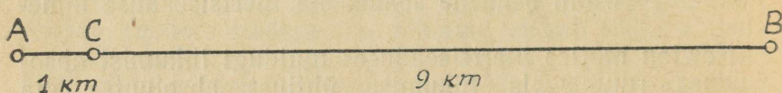
Nii näeme, et kõikvõimalikud taustsüsteemid jagunevad kahte klassi: ühed, mille puhul inertsiseadus Newtoni sõnastuses on rakendatav, ja teised, mille puhul mitte. Esimest liiki taustsüsteeme nimetatakse nende põhiomaduse järgi inertsiaalsüsteemideks. Füüsikalises praktikas asendavad inertsiaalsüsteemid absoluutset taustsüsteemi, mille jaoks Newton algselt formuleeris oma mehaanika põhiseadused. Seega osutuvad absoluutse ruumi ja aja mõisted teadusest tegelikult väljatõrjutuks.

Niisugusesse faasi jõudis ruumi ja aja mõistete arendamine loodusteaduses XIX sajandi lõpuks. Siis toimus murrang. Täiustatud katsetehnika võimaldas avastada

mõningaid uusi tõsiasju, mis polnud enam kooskõlas endiste vaadetega ruumile ja ajale ning sundisid revideerima kehtivaid tõekspidamisi.

II. RUUM JA AEG XX SAJANDI TEADUSES

1. **Heli levimise kiirus.** Heli on teatavasti õhu lainetuse nähtus. Ta levib õhus iga 3 sekundi jooksul keskmiselt 1 km võrra. Seega relatiivses ruumis, mille suhtes õhk on paigal, on heli levimise kiiruseks $1 : 3 = \frac{1}{3}$ km/sek.



Joon. 4.

Olgu sirgel maanteel märgitud kaks punkti A ja B , mille omavaheline kaugus on 10 km (joon. 4). Maanteel sõidab auto punkti B suunas kiirusega 120 km/h ehk $\frac{1}{30}$ km/sek. Auto möödumisel punktist A lastakse seal püssi. Kui ilm on tuulevaikne, siis on lask 10 km eemal olevas punktis B kuulda 30 sek hiljem, sest iga km katmiseks vajab heli 3 sek. Selle 30 sek jooksul jõuab auto sõita punktini C , mille kaugus punktist A on $30 \cdot \frac{1}{30} = 1$ km. Kaugus punktide C ja B vahel on siis 9 km. See on kaugus, mille võrra helisignaali eemaldub autost 30 sek jooksul, teiste sõnadega vahemaa, mille helisignaali läbib autoga seotud relatiivses ruumis 30 sek jooksul. Järelikult heli levimise relatiivne kiirus autoga seotud relatiivses ruumis ehk, lühemalt, heli kiirus auto suhtes on $9 : 30 = \frac{3}{10}$ km/sek, mis on täpselt võrdne Maa suhtes arvestatud helikiiruse ja auto sõidukiiruse vahega: $\frac{3}{10} = \frac{1}{3} - \frac{1}{30}$. Kui on teada heli levimise kiirus nii Maa suhtes kui ka auto suhtes, s. o. arvud $\frac{1}{3}$ ja $\frac{3}{10}$ km/sek,

siis saab hõlpsasti arvutada auto sõidukiiruse maanteel, nimelt $\frac{1}{30} = \frac{1}{3} - \frac{3}{10}$.

Auto sõidukiiruse suurenemisel pikeneb lõik AC ja lüheneb lõik BC , mille võrra helisignaali eemaldub autost 30 sek jooksul. Seega helisignaali kiirus auto suhtes kahaneb. Moodsad reaktiivlennukid võivad lennata nii kiiresti, et õhus edasi tormav helisignaali püsib lennuki suhtes paigal.

Esitatud arvutus on lihtne ja selge. Tegelik kontroll looduses näitab, et ta on ka õige. Selle arvutuse aluseks on juba koolipõlves omandatud kujutlusruumist ja ajast, mis on kooskõlas Newtoni teooria seisukohtadega. Nagu näha, pole neis seisukohtades midagi vastuvõetamatut. Newtoni teooriat kinnitavad tänapäevalgi laialdased tehnilised kogemused. Vähesed erandid välja arvatud, on need kogemused üldiselt liiga jämedad, et avastada juuspeeni efekte, mis viivad meid kõrvale Newtoni teooriast.

2. Valguse levimise kiirus. XIX sajandi füüsikas käsitleti valgust mõnevõrra analoogiliselt heliga kui lainetusnähtust, mida arvati aga toimuvat mitte õhus, vaid eetriks nimetatavas eriliselt peenes ja hõredas aines, mis täidab kogu maailmaruumi. Valgus levib eetri suhtes igas suunas ühesuguse fantastilise kiirusega 300 000 km/sek.

Sajandi lõpul kerkis üles mõte määrata Maa liikumise kiirus tema aastase teekonna mõnes kindlas punktis maailmaruumi täitva eetri suhtes. See nõudis küll imetlusväärset peente mõõtmiste teostamist, kuid katsetehnika oli juba arenenud küllaldasele kõrgusele. Eelmises punktis nägime, kuidas määrata auto sõidukiirust seisva õhu suhtes, mõõtes heli levimise relatiivse kiiruse auto suhtes. Põhimõtteliselt samal viisil saame lahendada käesolevagi ülesande: mõõdame valguse levimise relatiivse kiiruse Maa suhtes, lahutame saadud kiiruse valguse kiirusest eetri suhtes, s. o. kiirusest 300 000 km/sek, ja leitud vahe annabki Maa liikumise eetri suhtes vaadeldaval hetkel.

Vajalikud mõõtmised teostas ameerika füüsik Michelson mõõdnud sajandi kaheksakümnendail aastail. Esimene katse ei andnud oodatud tulemusi: valguse relatiivne kiirus Maa suhtes osutus niisama suureks kui eetri suhtes. Täheleb, Maa pidi mõõtmiste hetkel juhuslikult eetri suhtes paigal olema. Kuid Maa teeb aasta jooksul

täistiiru ümber Päikese. Kui ta praegu ongi eetris paigal, siis poole aasta pärast, kui ta liigub teisel pool Päikest oma orbiidi vastaspoolel ja vastassuunas, peab tema kiirus eetri suhtes olema 60 km/sek (sest Maa kiirus oma orbiidil liikumisel on 30 km/sek). Teostatigi uued mõõtmised pool aastat hiljem, kuid endiste tulemustega. Maa liikumine eetris ei tulnud ka nüüd ilmsiks.

Siin oli midagi korrast ära! Lihtne ja selge kiiruste arvestamise viis, mis tugines Newtoni ruumi ja aja teooriale ja andis praktiliselt õigeid tulemusi helisignaalide puhul, polnud enam rakendatav valgussignaalide puhul. Katseid korrati küll endisel ja uuel viisil, nähtusele otsiti kõikmõeldavaid seletusi, kuid Newtoni teooria baasil polnud lahendus enam võimalik. Newtoni teooria oli esmakordselt sattunud vastuollu katselise materjaliga. See vastuolu ei võinud ilmsiks tulla mõõtmiste puhul helisignaalidega, sest siin saavutatav praktiline mõõtmistäpsus, mis pole kuidagi võrreldav Michelsoni poolt teostatud mõõtmiste täpsusega, on selleks lihtsalt liiga väike.

Uue katselise materjali põhjal avardusid meie teadmised ja kujunesid uued vaated ruumile ja ajale, mis esmakordselt leidsid selge ja kokkuvõtliku väljenduse 1905. aastal Albert Einsteini poolt loodud erirelatiivsusteoorias.

3. Valguse kiiruse konstantsuse printsiip. Uute katseandmete analüüs ja põhjalik uurimine viis lõpuks järgmise tõsiasja avastamisele. Vaba valgussignaali liigub kõikides inertsiaalsüsteemides ühtlaselt ja sirgjooneliselt, ja seejuures ühesuguse kindla kiirusega 300 000 km/sek, sõltumatult signaali liikumise suunast ja inertsiaalsüsteemide liikumisest üksteise suhtes. Iga valgussignaali relatiivne kiirus on korruga kõikide inertsiaalsüsteemide suhtes üks ja seesama. Valgussignaali relatiivse kiiruse mõõtmine ei võimalda kindlaks teha ühe inertsiaalsüsteemi liikumist teise suhtes.

Äsjamainitud tõsiasjast, mis on tuntud valguse kiiruse konstantsuse printsiibi nime all, tulenevad kaugeleulatuvad uudsed järeldused aja ja ruumi kohta. Et neid järeldusi paremini esile tuua, on otstarbekohane kasutada ajavahemike ja pikkuste mõõtmiseks valgussignaale, sest viimastega on ju uued empiirilised faktid esmajoonel seotud.

Kui mõnes inertsiaalsüsteemis lähetame valgussignaali ühe paigalseisva peegli juurest teise juurde, kust ta peegeldub tagasi esimesse peeglistse, siit omakorda tagasi teise peeglistse jne., siis saame peeglite vahel edasi-tagasi pendeldava valgussignaali, mille puhul üksikute võngete kestused on täpselt ühepikkused, sest valgus levib inertsiaalsüsteemis täiesti ühtlaselt ja muutmatu kiirusega. Seega vaadeldav lihtne süsteem osutub kellaks, mis näitab õiget aega antud inertsiaalsüsteemis, kus peeglid on paigal.

Kahe punkti vahelise kauguse mõõtmiseks saadame valgussignaali ühest punktist teise ja mõõdame signaali teeloleku aja. Kui see on antud sekundites, siis teame, kui palju kordi 300 000 km sisaldab otsitav kaugus.

4. Sündmuste samaaegsus. Tähistagu joonisel 5 *M* Maad ja *K* Kuud. Maalt lastakse Kuu suunas lendu kosmiline raket, millega sõidab kaasa kosmoserändur.



Joon. 5.

Samal hetkel lähetatakse teele valgussignaali, mis pärast peegeldumist Kuult jõuab tagasiteel kosmilise raketini, kui viimane asetseb oma teekonna punktis *R*. Oletame lihtsuse mõttes, et nii Maaga kui raketiga seotud taustsüsteemid on mõlemad inertsiaalsüsteemid. Sellel me antud juhul palju ei eksigi, sest kogu vaadeldav protsess, valgussignaali teekond Kuule ja tagasi, kestab vähem kui 3 sekundit, missuguse lühikese ajavahemiku jooksul Maaga seotud relatiivne ruum ei jõua veel märgatavalt eralduda sellest inertsiaalsüsteemist, millega Maa taustsüsteem katse algul hetkeliselt ühtis. Seega võime arvestada, et meie valgussignaali liigub nii Maa kui raketi suhtes ühesuguse kiirusega 300 000 km/sek.

Maapealne vaatleja, kes seda protsessi jälgib, leiab, et valgussignaali tagasitee Kuult raketini on ilmselt lühem kui sinnatee Maalt Kuule. Seetõttu kulub signaali tagasitulekuks vähem aega kui sinnaminekuks. Järelikult signaali peegeldumise hetk ei asetse teelemineku ja tagasisaabumise hetkede suhtes täpselt keskkohal, vaid on pisut nihutatud saabumise hetke poole. Kui kosmose-

rändur, kes valgussignaali lähetamise ja tagasisaabu-
mise sündmused ise vahetult kaasa elab, täpselt nende
sündmustega märgitud ajavahemiku keskkohal süütab
oma raketil mõnesuguse märgutule, siis ütleb maapeal-
ne vaatleja kõhklemata, et märgutuli raketil süttis pisut
varem, kui toimus valgussignaali peegeldumine
Kuult.

Kuidas näeb neidsamu sündmuse kosmoserändur oma
raketist? Raketiga seotud relatiivses ruumis on raketit
paigal ja Kuu liigub tema poole. Valgussignaal eemal-
dub raketist teatavale kaugusele, kus toimub peegeldu-
mine vastuliikuvalt Kuult, ja pöördub siis sama teed
raketi juurde tagasi. Seega raketi suhtes on valgussig-
naali edasi- ja tagasitee ühepikkused ning et raketi suh-
tes liigub valgus samuti kiirusega 300 000 km/sek, sõl-
tumatult liikumise suunast, siis leiab kosmoserändur, et
valgussignaali mineku- ja tulekuajad on ühepikkused,
mistõttu valgussignaali peegeldumine Kuult toimus täp-
selt signaali lähtumis- ja saabumishetkedega märgitud
ajavahemiku keskkohal, s.o. samaaegselt märgu-
tule süttimisega raketil. See otsus erineb maapealse
vaatleja omast.

Olukord on seega järgmine. Vaatluse all on neli sünd-
must:

- 1) valgussignaali lähtumine Maalt,
- 2) valgussignaali saabumine raketile,
- 3) valgussignaali peegeldumine Kuult,
- 4) märgutule süttimine raketil.

Kosmoserändur peab sündmuse 3 ja 4 samaaegse-
teks, kuid maapealne vaatleja leiab, et sündmus 3
toimub pisut hiljem kui sündmus 4. Vastavalt sellele
loeb kosmoserändur ajavahemikke sündmuste 1 ja 3
ning 2 ja 3 vahel ühepikkusteks, maapealne vaat-
leja aga tunnistab esimese ajavahemiku teisest pike-
maks.

Kummal vaatlejal on õigus? Näib ju, et sündmused 3
ja 4 kas toimuvad samaaegselt või ei toimu samaaegselt.
Tertium non datur — kolmandat võimalust pole, nagu
ütleb üks Aristoteelse loogika reegleid.

Sellise arutluse puhul on eelduseks Newtoni teooriale
vastav kujutus ülemaailmsest ja ühtsest absoluutsest
ajast, mida mõõdavad täpselt või ligikaudselt kõik kel-

lad. Kui teatav hetk on kätte jõudnud, siis toimub maailmas siin ja seal midagi ja kõik need sündmused on samaaegsed. Selle järgi on kahe sündmuse samaaegsus niisamasugune looduslik tõsiasi nagu näiteks fakt, et õun ripub puu oksa küljes.

Õun tõepoolest kas ripub oksa küljes või ei ripu seal ja mingisugust kolmandat võimalust loodus ei tunne. Kuid sündmuste samaaegsusega on lugu siiski teine, nagu selgub arutlustest kosmoseraketi näite puhul. Siin me ei toetu enam teoreetilisele hüpoteesile absoluutsest ajast, vaid konkreetsele katselisele tõsiasi jaoks valguse kiiruse konstantsuse printsiibi näol. Sellest tõsiasi järel tuleb, et mõlemal vaotlejal on ühte viisi õigus, olgugi et üks neist näeb kaht sündmust samaaegseina, teine aga mitte. Õigus on mõlemal vaotlejal sellepärast, et kumbki rakendab oma otsuse tuletamisel oluliselt valguse kiiruse konstantsuse printsiipi.

Seega jõuame uudsele järeldusele: mõnikord kaks sündmust, mis ei toimu just vahetult üksteise kõrval, pole omaette võetuna iseenesest ei samaaegsed ega ka mittesamaaegsed. Samaaegsus või mittesamaaegsus saab füüsikaliseks faktiks alles siis, kui sündmusi käsitletakse ühenduses ühe või teise taustsüsteemiga, sest kahe sündmuse samaaegsus on mõiste, mis väljendab nende sündmuste teatavat vahetust antud kindla inertsiaalsüsteemiga. Mõne teise inertsiaalsüsteemi puhul on see vahetust teistsugune ja selles inertsiaalsüsteemis pole mainitud sündmused ka enam samaaegsed.

Nüüd peaks olema selge, miks Aristotelese loogika ei saanud meid aidata sündmuste samaaegsuse küsimuse otsustamisel. Täiesti analoogiliselt oleksime võinud arutleda ka nii: kaks keppi on pistetud maasse kas kohakuti teineteise taha või mittekohakuti teineteise taha. Kolmandat võimalust pole. Aga missugusele vaotlejale kohakuti? Ühele vaotlejale paistab nii, teisele teisiti, vastavalt sellele, missugune on tema asukoht keppide suhtes. Aristotelese loogika formaalne skeem on ilmselt tegelikusse rakendatud vildakalt. Keppid omaette võetuna pole iseenesest ei kohakuti ega ka mittekohakuti teineteise taga.

Näidates sündmuste samaaegsuse suhtelist iseloomu, oleme ühtlasi tõestanud, et looduses puudub absoluutne aeg Newtoni mõttes.

5. Nähtuse arvuline külg. Numbrilised andmed selgitavad paremini, mispärast sündmuste samaaegsuse suhtelisus jääb varjatuks igapäevastes kogemustes.

Oletame, et kosmoserakett liigub Maa suhtes kiirusega 12 km/sek (esimene Kuu suunas välja saadetud Nõukogude maailmaruumirakett liikus ligikaudu nii kiiresti) ja et rakett saavutab selle kiiruse otsekohe liikuma hakates. Valgussignaal, mis lähetatakse teele koos raketiga, jõuab Kuule (keskmine kaugus 384000 km) 1,28 sekundiga. Selle aja jooksul liigub rakett Kuu poole 15,36 km.

Nüüd hakkavad valgussignaal ja rakett teineteisele vastu liikuma, kusjuures signaal läbib igas sekundis 300 000 km, rakett aga 12 km, mistõttu raketi ja signaali vahemaa kahaneb igas sekundis 300 012 km võrra. Selle vahemaa algpikkus on $384\ 000 - 15,36 = 383\ 984,64$ km ja nulliks kahaneb ta $383\ 984,64 : 300\ 012 = 1,2799$ sekundi jooksul. Valgussignaali edasi-tagasi teeloleku koguaeg on seega $1,28 + 1,2799 = 2,5599$ sekundit ja pool sellest ajavahemikust on 1,27995 sekundit. Nii kaua aega pärast raketi starti näeb maapealne vaatleja märgutule süttimist raketil. Valgussignaal aga jõuab tema arvestuste kohaselt Kuule alles 1,28 sek pärast starti, seega 0,00005 sekundi võrra hiljem.

Niisuguse ajavahemikuga eraldab maapealne vaatleja teineteisest märgutule süttimise ja valgussignaali Kuult peegeldumise hetked. Selline ajavahemik on tavalistele kelladele täiesti kättesaamatu, nii et isegi väga suure täpsusega teostatud praktiliste mõõtmiste seisukohalt on need kaks sündmust maapealsele vaatlejale niisamuti samaaegsed, nagu nad seda on põhimõtteliselt kosmose-rändurile tema raketis.

Tõsi küll, kui raketi kiirus oleks tunduvalt suurem, ütleme 100 000 km/sek, ja kui Kuu asemel oleks valitud mõni kaugem kosmiline objekt, näiteks 3 000 000 km kaugusel Maast, siis oleks mittesamaaegsuse efekt tunduvalt suurem. Maapealse vaatleja seisukohalt toimuks valgussignaali tagasipeegeldumine siis 2,5 sek hiljem kui märgutule süttimine raketil. See ajavahemik on mõeldav juba tavalise taskukellaga, nii et mõlemat mainitud sündmust ei saaks enam kuidagi pidada korraga toimuvaks.

Maapealsetes tingimustes aga ei tunne inimlikud kogemused esemete nii suuri liikumiskiirusi ja nii määratud

omavahelisi kaugusi. Kiirus 12 km/sek on tehnika tipp-tulemus, mis on saavutatud alles kõige viimasel ajal. Suurtükikuul liigub 10—12 korda, püssikuul rohkem kui 14 korda aeglasemalt, liiklemisvahendite igapäevased kiirused aga on veelgi märgatavalt väiksemad. Kõik maapealsed kaugused on tühised võrreldes Kuu kaugusega Maast. Seepärast on mittesamaaegsuse efektid erinevate vaatlejate puhul maapealses tegelikkuses sadu ja tuhandeid kordi väiksemad kui 0,00005 sekundit. Arusaadavalt jäävad nad siis märkamatuks igasuguste mõõtmiste puhul ja Newtoni absoluutse aja hüpotees sobib suurepäraselt kogemustega. Ainult mõnedes moodsates aparaatides, kus aine elementaarosakeste kiirusi suurendatakse mõnedel juhtudel peaaegu kuni valguse kiiruseni, tulevad aja ja ruumi uudsed omadused väga selgelt ilmsiks ja nõuavad tegelikku arvestamist.

6. Nähtuste relatiivsusest. Looduses leidub materiaalsete objektidega seotud nähtusi ja suurusi, mille olemuses peitub ja milles eneses kajastub peale muu ka vastava objekti teatav vahekord ühe või teise taustsüsteemiga. Kui see vahekord taustsüsteemiga jätta kahe silma vahele, siis nähtus kaotab oma tervikliku iseloomu ja ühes sellega konkreetse ja ühese füüsikalise sisu. Nii-suguseid nähtusi ja suurusi nimetatakse füüsikas suhtelisteks ehk relatiivseteks nähtusteks ja suurusteks. Et materiaalne objekt ei või olla kõikide taustsüsteemidega ühesuguses vahekorras, ei paista relatiivne nähtus kõikides taustsüsteemides ühesugusena.

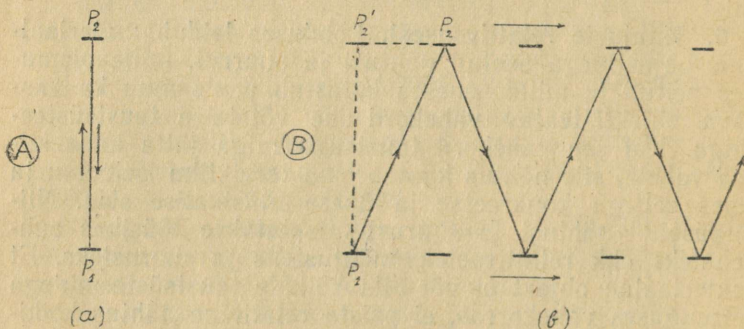
Eespool leidsime, et sündmuste samaaegsus on taustsüsteemi suhteline ehk relatiivne nähtus. Teise tuttava näitena võiksime mainida paigalseisu nähtust. Ükski ese omaette pole iseenesest ei paigal ega mittepaigal. Paigalseis väljendab ainult eseme vahekorda mingi kindla taustsüsteemiga. Paigalseis ühe taustsüsteemi suhtes paiskab liikumisena teise taustsüsteemi suhtes. Paigalseis on tüüpiliselt relatiivne nähtus.

Nähtuste relatiivsuse avastamine, mis tähendab tungimist nende nähtuste olemuse sügava mõistmise poole, on tavaliselt seotud muude suuremate avastustega teaduses, üldise silmaringi laienemisega ja kogemuste piirkonna suurenemisega. Omal ajal peeti paigalseisu absoluutseks, s.o. mitterelatiivseks nähtuseks. Maa ja kõik temaga

liikumatult ühenduses olev oli lihtsalt paigal, Kuu, Päike ja planeedid aga «liikusid», rännates maailmaruumis mööda enam või vähem keerukaid teid. Paigalseisu relatiivsuse lõpliku tunnetamiseni jõudmiseks oli vaja esmajoones Koperniku teedrajavat avastust ja veel paljude hilisemate uurijate visa tööd.

Valguse kiiruse konstantsuse seaduse avastamisega on samuti seotud rea nähtuste ja suuruste relatiivsuse avastamine. Sellest räägib Albert Einsteini erirelatiivsusteooria.

7. Aja relatiivsus. Kaks inertsiaalsüsteemi A ja B (vt. I osa, p. 11) liiguvad teineteise suhtes alati ühtlaselt ja sirgjooneliselt, pöörlemiseta. Olgu käesoleval juhul inertsiaalsüsteemide A ja B vastastikune liikumiskiirus 12 km/sek, seega niisama suur kui kosmoseraketi kiirus Maa suhtes.



Joon. 6.

Inertsiaalsüsteemis A olgu ehitatud valguskell (vt. II osa, p. 3), mille peeglite omavaheline kaugus olgu 300 000 km, nii et kell «tiksub» täpselt sekundeid (joon. 6, a). See kell liigub inertsiaalsüsteemi B suhtes kiirusega 12 km/sek, mistõttu ta paistab selles süsteemis teistsugusena kui süsteemis A , kus ta on paigal. Oletame, et peegleid ühendav sirge on risti liikumise suunaga. Siis peeglit P_1 risti peegli pinnaga teele saadetud valgus-signaal möödub vastapeeglist P_2 , sest viimane on vahepeal tüki teed kõrvale liikunud. Et tabada peeglit P_2 , peab signaal peeglit P_1 lähtuma pisut kaldu liikumise suunas (ka jahimees ei sihi kiiresti jooksvale loomale

otse pihta, vaid pisut ettepoole). Peeglite vahel edasi-tagasi võnkuv valgussignaal kirjeldab seega inertsiaalsüsteemis B siksakjoone (joon. 6, b).

Pidades silmas, et

1) ühelt peeglit teisele jõudmiseks läbib valgussignaal süsteemis A peeglite omavahelise otsekauguse, inertsiaalsüsteemis B aga siksakjoone ühe lüli,

2) siksakjoone iga lüli on pisut pikem kui peeglite omavaheline otsekaugus,

3) valgussignaal liigub kummaski inertsiaalsüsteemis ühte viisi kiirusega 300 000 km/sek, jõuame järgmisele järeltulele: inertsiaalsüsteemis B kulub valgussignaalil ühelt peeglit teisele liikumiseks pisut rohkem aega kui inertsiaalsüsteemis A . Inertsiaalsüsteemist B vaadatuna «tiksub» antud valguskell pisut aeglasemalt kui inertsiaalsüsteemist A vaadatuna. Tähendab, meie kellaga seotud relatiivne aeg (I osa p. 10 mõttes) on erinevates inertsiaalsüsteemides erinev: ühes inertsiaalsüsteemis voolab ta kiiremini, teises aeglasemalt. Kella poolt mõõdetav aeg on relatiivne suurus, aja voolamine on relatiivne, taustsüsteemi suhteline nähtus.

Nagu samaaegsuse puhul, nii on siingi relatiivsuse efekt tavalistes tingimustes kaduvväike ja jääb seetõttu märkamatuks. Selle aja jooksul, kui valgussignaal liigub inertsiaalsüsteemis B peeglit P_1 peeglile P_2 , liigub peegel P_2 edasi lõigu $P_2'P_2$ võrra (joon. 6, b). Et valgussignaal liigub kiirusega 300 000 km/sek, peegel P_2 aga kiirusega 12 km/sek, s.o. 25 000 korda aeglasemalt, siis lõik $P_2'P_2$ moodustab lõigust P_1P_2 ka ainult $\frac{1}{25000}$ ehk 0,00004 osa. Rakendades täisnurkses kolmnurgas $P_1P_2P_2'$ Püthagorase teoreemi, leiame nüüd, et lõik P_1P_2' moodustab lõigust P_1P_2

$$\sqrt{1 - (0,00004)^2} = 0,999999992$$

osa, nii et siksakjoone lüli P_1P_2 on peeglite omavahelisest otsekaugusest P_1P_2' pikem 1,0000000008 korda ehk 0,000000008% võrra. Järelikult valguskell, mis inertsiaalsüsteemis A on paigal ja «tiksub» täpselt sekundeid, näitab inertsiaalsüsteemis B , kus ta liigub kiirusega 12 km/sek, aega nii, et iga võnke kestuseks on 1,0000000008 sekundit. Tavaliste maapealsete liikumis-

kiiruste ja kauguste puhul on efekt muidugi veel kauge-
gelt väiksem.

Lähemas tulevikus on lootust Maa kunstlike kaaslaste abil otseselt mõõta kella poolt registreeritava ajavoolu aeglustumise efekti. Maa kunstliku kaaslaste sisemusse paigutatakse teadaoleva sagedusega ostsillaator, mille poolt väljakiiratavate perioodiliste raadiosignaali järgi määratakse ostsillaatori võnkeperioodi kestus maa-
pealse vaatleja suhtes. See peaks osutama pisut pikema-
maks kui enne kaaslaste ülessaatmist määratud võnke-
periood ostsillaatori paigaloleku tingimustes Maa peal.

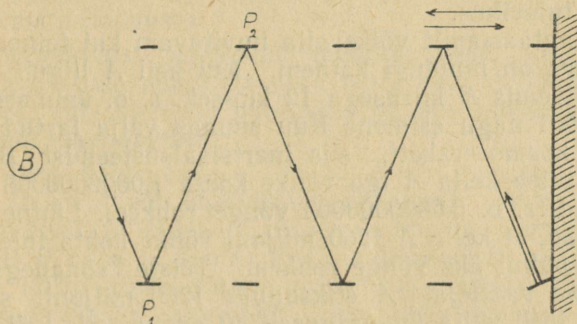
8. Kellade vastastikune tahajäämine. Olgu inertsiaalsüsteemis B veel teine valguskell (kell B), mis on selles süsteemis paigal ja «tiksub» samuti täpselt sekundeid. Inertsiaalsüsteemist B vaadatuna jääb liikuv kell A kellast B igas sekundis taha $0,0000000008$ sek võrra. Kuid kell B liigub omakorda inertsiaalsüsteemi A suhtes kiirusega 12 km/sek ja järelikult inertsiaalsüsteemist A vaadatuna jääb kell B kellast A igas sekundis taha $0,0000000008$ sek võrra. Kummagi kella juures olev vaatleja märkab, et teise kell jääb tema omast taha!

Selles nähtuses pole midagi paradoksaalset, kui peame silmas, et kummagi kella poolt mõõdetav aeg on relatiivne suurus, et kell ei näita lihtsalt «aega», vaid «aega antud taustsüsteemi suhtes», ja kui muutub kella liikumise vahetegur taustsüsteemiga, siis muutub ka kella poolt mõõdetava aja voolamise tempo selle taustsüsteemi suhtes. Antud juhul liigub kell A inertsiaalsüsteemis B niisama kiiresti kui kell B inertsiaalsüsteemis A , mistõttu kella A poolt näidatav aeg paistab inertsiaalsüsteemis B täpselt samasugusena nagu kella B poolt näidatav aeg inertsiaalsüsteemis A .

Kirjeldatud nähtus oleks aga täiesti paradoksaalne, kui oleks õige Newtoni hüpotees absoluutsest ajast, mille «ligikaudne või täpne mõõt» on mistahes kella poolt näidatav aeg. Siis oleksid kellade A ja B lugemid seotud absoluutse aja voolamisega ja oleks täiesti omal kohal meile juba tuntud loogiline arutlus: kell A kas jääb kellast B taha või ei jää temast taha; kolmandat võimalust pole. Et aga loodus tegelikkuses just näitab «kolmanda võimaluse» olemasolu, siis tuleb sellest järeldada absoluutse aja puudumist looduses.

9. Teekond tulevikku. Ajavoolu taustsüsteemi-suhtelisust võiks praktiliselt ära kasutada järgmisel põnevust tekitaval viisil.

Inertsiaalsüsteemis B liigub valguskell A kiirusega 12 km/sek suunas, mis on risti peegleid ühendava sirgega. Asugu peeglite liikumise teel, risti viimasega, tugev sein. Just sel hetkel, kui valgussignaali oma edasi-tagasi teekonnal järjekordselt jõuab peeglile P_1 , pörgaku mõlemad peeglid vastu nimetatud seina (joon. 7). Pörge olgu elastne, nii et kohe pärast pörget hakkavad peeglid liikuma vastupidises suunas endise kiirusega 12 km/sek.



Joon. 7.

Kui pörke hetkel hoida veel peegel P_1 sobival viisil pisut kaldu, siis valgussignaali peegeldub peegilt P_1 endist teed tagasi ja terve valguskell hakkab liikuma tulnud teed tagasi.

Oletame, et enne pörget kell A möödus kellast B , mis on inertsiaalsüsteemis B paigal, just siis, kui mõlemad kellad näitasid ühte ja sedasama momenti. Edaspidi näeb kella B juures olev vaatleja, et kell A jääb kellast B püsivalt taha, ja seda nii enne kui pärast pörget, sest pörke tagajärjel ei muutu kella A liikumise kiirus inertsiaalsüsteemis B . Järelikult saabudes pärast pörget uuesti tagasi paigalseisva kella B juurde, näitab kell A vähem kui kell B .

Olgu ka kella A juures vaatleja, kes kella liikumise koos pörkega kaasa teeb. Nii vaatlejale A kui B «tiksub» tema kell täpselt sekundeid, sest kumbki on oma valguskella suhtes paigal. Kui nüüd kummagi vaatleja

süda lööb näiteks igas sekundis ühe löögi, siis järeldeb eespool öeldust, et vaatlejate lahkumise ja uuesti kohtumise hetkede vahel on vaatleja *A* süda löönud vähem lööke kui vaatleja *B* oma, sest kell *A* «tiksus» mainitud sündmuste vahel vaatlejale *A* vähem sekundeid kui kell *B* vaatlejale *B*. Teiste sõnadega, vaatleja *B* on vahepeal rohkem vananenud kui vaatleja *A*.

Võiks kujutleda, et vaatlejad lahkusid teineteisest noores eas, ja kui vaatleja *A* näiteks keskealise mehena endisse paika tagasi jõuab, on vaatleja *B* juba ammu surnud ja teda asendab mõni kauge järeltulija. Vaatleja *A* näeb sündmusi, mis vaatlejale *B* on kättesaamatult kauges tulevikus.

Üks fantaasiapilt võiks olla huvitavam kui teine. Kuid tegelikkus on muidugi kainem. Kui kell *A* liigub inertsiiaalsüsteemis *B* kiirusega 12 km/sek, s. o. ümmarguselt nii kiiresti nagu esimene Kuu suunas välja lastud Nõukogude kosmoserakett, siis inertsiiaalsüsteemist *B* vaadatuna tuleb kella *A* iga võnke kohta 1,0000000008 kella *B* võnget, s. o. 0,0000000008 võnget rohkem. Lihtne arvutus näitab, et kella *A* 1260 miljoni võnke kohta tuleb siis kella *B* puhul üks võnge rohkem. Teiste sõnadega, kui kell *A* on vaatlejale *A* «tiksunud» 1260 miljonit sekundit, mis teeb välja ümmarguselt 40 aastat, siis kell *B* on «tiksunud» vaatlejale *B* ainult ühe sekundi rohkem! Saabudes reisilt tagasi 40 aasta pärast, leiab vaatleja *A*, et vaatleja *B* on vahepeal vananenud temaga võrreldes ainult ühe sekundi võrra rohkem. Ilmselt pole vaatlejal *A* niisugusel kombel lootust jõuda oma eluaja jooksul nimetamisväärselt kaugemasse tulevikku kui vaatleja *B*.

Kui vaatleja *A* koos oma valguskellaga suudaks liikuda inertsiiaalsüsteemis *B* kiirusega 100 000 km/sek, siis läheks kell *B* kella *A* iga võnke puhul viimasest ette juba ca 0,0607 sekundit, mis teeb 40 aasta kohta ümmarguselt 2,4 aastat. Niisugune vahe vaatlejate vananemises oleks juba märgatav, kuid ta oleks ikkagi veel liiga väike selleks, et vaatleja *A* saaks näha sündmusi, mis toimuvad kaugemas tulevikus pärast vaatleja *B* surma. Rääkimata küsimusest, kuidas saavutada fantastilist kiirust 100 000 km/sek, on lahendamata küsimus ka sellest, missugustele mõjudele allub organism raketile niisuguse kiiruse andmisel ja raketi pidurdamisel pärast selle kiirusega lendamist. Lõpptulemusena need mõjud

võib-olla hoopis kiirendavad vaatleja A surma, võrreldes vaatlejaga B , kes istus vahepeal rahulikult kodus.

10. «Kellaparadoks». Pöördume veel kord eelmise näite juurde. Vaatleja B leiab, et kell A jääb tema omast taha ja näitab tagasi saabudes vähem kui kell B . Kuid liikumisel teineteise suhtes on kellade tahajäämine ju vastastikune! Tähendab, vaatleja A leiab samuti, et kell B jääb tema omast püsivalt taha ja peab seega mõlema kella taaskohtumisel näitama hoopis vähem kui kell A . Niisiis kaks kella on teineteise kõrval ja kumbki näitab teisest vähem! Selline olukord on juba tõesti paradoksaalne. Näib, et uus relativistlik aja teooria on iseenesega vasturääkivuses.

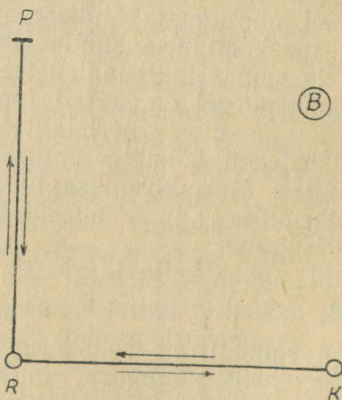
Vasturääkivust tegelikult muidugi pole, kuigi ülaltoodud arutluse puhul on viga leida kaugelt raskem kui juhtudel, mil segaduse põhjuseks on absoluutse aja idee varjatud rakendamine.

Märgime kõigepealt, et kellad A ja B pole antud näite puhul füüsikaliselt ühesuguses olukorras: mõlema kella lahkumineku ja taaskohtumise sündmuste vahepeal viib kell B ühes ja samas inertsiaalsüsteemis paigal, kell A aga mitte. Enne pörget on kell A inertsiaalsüsteemis A , pärast pörget aga uues inertsiaalsüsteemis A' , mis liigub inertsiaalsüsteemi B suhtes endise kiirusega, kuid vastupidises suunas. Meie küsimuse tuum peitub selles, et inertsiaalsüsteemides A ja A' on sündmuste samaaegsuse arvestus erisugune.

Olles liikunud oma kella järgi täpselt 20 aastat, leiab vaatleja A , et kell B näitab $\frac{1}{2}$ sekundit vähem kui 20 aastat. Seega vahetult enne pörget loeb vaatleja A samaaegseteks kaht sündmust, millest üks toimub kella A juures siis, kui viimane näitab täpselt 20 aastat, ja teine toimub kella B juures siis, kui see näitab $\frac{1}{2}$ sekundit vähem kui 20 aastat. Nüüd järgneb pörge ja kella A äkiline üleminek uude inertsiaalsüsteemi. Seetõttu pole ülalmainitud kaks sündmust vahetult pärast pörget vaatlejale A enam samaaegsed. Nüüd leiab ta juba, et just sel hetkel, kui kell A näitab täpselt 20 aastat, näitab kell B hoopis $1\frac{1}{2}$ sekundit rohkem kui 20 aastat. Põrke tulemusel «põrub» vaatleja A tulevikust

minevikku tervelt 2 sekundit kella *B* poolt mõõdetavat aega. Teiste sõnadega: pörke tõttu vaatleja *A* ajavool jääb kaheks sekundiks seisma vaatleja *B* ajavoolu suhtes! Tagasiteel, mis kella *A* järgi kestab jälle täpselt 20 aastat, jääb kell *B* uuesti $\frac{1}{2}$ sekundit taha, nii et teekonna lõpul, kui mõlemad kellad taas kohtuvad, näeb vaatleja *A*, et tema kell on kellast *B* üks sekund taga. Sedasama konstateerib ka vaatleja *B*. Vaatamata sellele, et mõlemad kellad jäävad tõepoolest vastastikku teineteisest taha, näitab kellade uuestikohtumisel ometi kell *B* ühe sekundi võrra rohkem kui kell *A*, sest kell *A* tegi vahepeal pörke näol läbi erakordse sündmuse, mida kella *B* puhul ei esinenud.

11. Pikkuse relatiivsus. Vaatleme veel kord näidet kosmoseraketist, millest oli juttu käesoleva osa punktis 4. Olgu Kuuga hetkeliselt seotud inertsiaalsüsteem märgitud tähega *A*, raketiga seotud inertsiaalsüsteem aga tähega *B*.

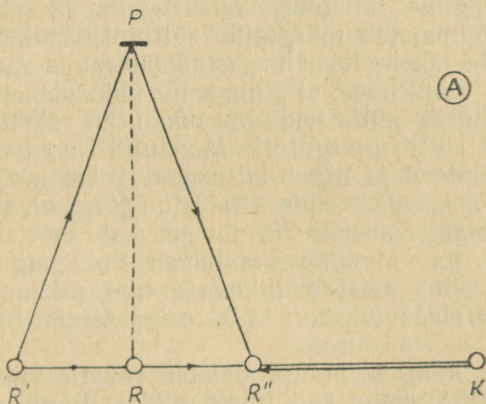


Joon. 8.

Inertsiaalsüsteemis *B* olgu paigal valguskell, mille üks peegel asetseb raketil *R*, teine peegel *P* temast eemal suunas, mis on risti raketi liikumise teega (joon. 8). Samal hetkel, kui valgussignaali koos raketiga lähetaakse Maalt teele Kuu suunas, alustagu kella valgussignaali oma teekonda raketilt *R* peegli *P* poole. Peegli *P* kaugus raketist *R* olgu selline, et mõlemad valgus-

signaalid — üks pärast peegeldumist Kuult, teine peeg-
lilt P — saabuksid raketile tagasi üheaegselt. Siis on
mõlema valgussignaali edasi-tagasi teekond nii inert-
siaalsüsteemist A kui inertsiaalsüsteemist B vaadatuna
täpselt ühepikkune, sest valgus levib mistahes inertsiaal-
süsteemis igas suunas ühesuguse kiirusega, nii et kahe
signaali teeloleku aegade võrdsusest järeldub läbikäidud
teepikkuste võrdsus.

Inertsiaalsüsteemis B liiguvad valgussignaalid nii,
nagu on näidatud joonisel 8. Kummagi signaali sinnatee
on niisama pikk kui tagasitee, mistõttu mõlemad sig-
naalid peegelduvad samaaegselt, nimelt raketilt lahku-
mise ja raketile tagasi saabumise hetkedega määratud
ajavahemiku keskkohal — siis, kui raketil süttib märgu-
tuli. Järelikult märgutule süttimise momendil on peegel
 P ja Kuu K raketist R ühekaugusel, sest sel momendil
peeglilt P ja Kuult K tagasiteed alustavad valgussigna-
alid jõuavad raketile R üheaegselt.



Joon. 9.

Teistsugune on pilt inertsiaalsüsteemis A , mis on seotud Kuuga (joon. 9). Siin raket R liigub. Signaalide te-
lemineku hetkel on ta asukohas R' , signaalide tagasi-
saabumise hetkel asukohas R'' ja märgutule süttimise
hetkel lõigu $R'R''$ keskkohas R . Kella valgussignaal
kirjeldab siksakjoone (vt. II osa, p. 7). Ta alustab tee-
konda punktist R' ja lõpetab selle punktis R'' , kusjuures

sinnatee ja tagasitee on ühepikkused. Seega lõik RP kujutab peegli ja raketi vahelist otsekaugust ja kella valgussignaali edasi-tagasi teekonna kogupikkus on võrdne siksakjoone lüli $R'P$ kahekordse pikkusega.

Niisama suur on kuusignaali teekonna kogupikkus, mis koosneb sinnateest $R'K$ ja tagasiteest KR'' , kusjuures lõikude $R'K$ ja KR'' summa on ilmselt võrdne lõigu RK kahekordse pikkusega. Siit nähtub, et lõik RK ja siksakjoone lüli $R'P$ on ühepikkused ja järelikult lõik RP on lõigust RK lühem. Tähendab, märgutule süttimise hetkel on peegel P raketile lähemal kui Kuu K . Pikkused, mis inertsiaalsüsteemis B olid üksteisega võrdsed, on inertsiaalsüsteemis A mittevõrdsed! Järelikult pikkus on relatiivne, taustsüsteemi suhteline suurus. Ta ei sõltu mitte üksnes objektist enesest, vaid ka viimase liikumisvahekorras antud inertsiaalsüsteemiga ja paistab seetõttu erinevatest taustsüsteemidest erinevalt.

12. Pikkuste lühenemine liikumise sihis. Eelmises punktis nägime, et inertsiaalsüsteemis B , mille suhtes Kuu liigub, paistab märgutule süttimise hetkel Kuu olevat raketile lähemal kui inertsiaalsüsteemis A , kus Kuu on paigal. Kujutleme, et Kuuga on ühte otsa pidi seotud pikk mõõdulatt, mille teine ots puudutab raketti just siis, kui raketil süttib märgutuli. Mõõdulatt on paigal inertsiaalsüsteemis A ja liigub kiirusega 12 km/sek inertsiaalsüsteemis B iseenele sihis. Ülalöeldu järgi on see mõõdulatt inertsiaalsüsteemis B lühem kui inertsiaalsüsteemis A , s.o. paistab liikuvana lühem kui paigalseisvana. Liikumise sihis paistab liikuva eseme pikkus lühendatuna, võrreldes vastava pikkusega eseme paigalseisemisel.

Ka Kuu kaugus Maast paistab raketis viibivale kosmoserändurile, kelle suhtes see pikkus liigub, lühemana kui maapealsele vaatlejale. Lühenemise proportsioon on just seesama, mis lõikude RP ja RK või lõikude RP ja $R'P$ puhul joonisel 9. Kiiruse 12 km/sek puhul on lõik RP lõigust $R'P$ lühem 0,00000008 % võrra (vt. II osa, p.7), mis teeb 384 000 km kohta ümmarguselt 31 cm. Tähendab, kosmoserändurile on Kuu kaugus Maast 31 cm võrra lühem kui seesama kaugus Maal viibivate astronoomide mõõtmiste järgi.

On arusaadav, et nii väike erinevus ei tule pikkuse 384 000 km mõõtmisel praktiliselt üldse ilmsiks. Mõle-

mad mõõtmistulemused loetakse suure täpsusega ühtelangevaiks. Kogemustes, mille puhul suhtelised liikumiskiirused on tunduvalt väiksemad kosmoseraketi kiirusest ja kaugused väikesed võrreldes Kuu kaugusega Maast, ei ilmne kaasaegse mõõtmistäpsuse juures pikkuse relatiivsus. Niisuguste kogemustega sobib hästi mitterelatiivse ehk absoluutse pikkuse mõiste, mis kuulub Newtoni teooriasse. Kui aga kosmoserändur suudaks liikuda kiirusega 100 000 km/sek, siis oleks erinevus tema ja Maa astronoomide mõõtmistes juba 22 000 km. Niisuguse kogemusega ei sobiks enam absoluutse pikkuse mõiste.

Pikkuse relatiivsusega on seotud samasugused harjumatused ja arusaamatused nagu aja relatiivsusega. Kui näiteks kaks mõõdulatti, mille «paigalseisupikkused» on võrdsed, liiguvad teineteise suhtes, kumbki iseenese sihis ja paralleelselt teisega, siis kummagi latiga kaasa liikuv vaatleja leiab, et teise latt on tema omast lühem. Ühe vaatleja inertsiaalsüsteemis on teine latt esimesest lühem, teise vaatleja inertsiaalsüsteemis aga vastupidi: esimene latt on teisest lühem. Selles pole midagi vastu-rääkivat, kui peame silmas, et lati pikkusarv peegeldab muuhulgas ka lati liikumisvahekorda antud inertsiaalsüsteemiga, kus seda pikkust mõõdetakse. Et mainitud kahe inertsiaalsüsteemiga on antud lattidel ühesugune liikumisvahekord, ainult lattide vahetatud osadega, siis tulevad ka lattide pikkusarvud mõlemal juhul ühesugused, ainult lattide vahetatud osadega.

Hoopis teistsugune oleks olukord, kui mõlemad latid oleksid paigal ühes ja samas inertsiaalsüsteemis. Siis oleks kõrvaldatud lattide liikumisvahekordade erinevuse mõju ja pikkusarvude erinevus väljendaks juba ainult lattide eneste erinevust. Nüüd oleks omal kohal arutus: esimene latt kas on teisest lühem või ei ole teisest lühem; kolmandat võimalust pole.

13. Mis jääb absoluutseks? Nagu juba eespool öeldud — olla relatiivne tähendab olla taustsüsteemi suhteline, kajastada mitte ainult vaadeldava objekti mõnda omadust või joont, vaid ühtlasi ka selle objekti vahekorda antud taustsüsteemiga. Relatiivne suurus paistab erinevatest taustsüsteemidest isesugusena, vastavalt sellele, kuidas muutub objekti vahekord ühe või teise taustsüsteemiga.

Me leidsime, et pikkus ja kellaga mõõdetav aeg on relatiivsed suurused. Selle fakti äratundmine Albert Einsteini poolt tähendas suurt ja pöörettekivat avastust XX sajandi loodusteaduses, tungimist kaugete väljapoole tavaliste kogemuste piirkonda, tublit sammu aja ja ruumi olemuse sügavama mõistmise poole. Kuid niisama tähtis ja väärtuslik on ka selle äratundmine, mis ei ole relatiivne, mis on absoluutne ja kõigile ühesugusena paistev. Kus on ruumi ja aja relatiivsuse piir ja kus algab nende absoluutne olemus? Nägime, et üleminekul ühest inertsiaalsüsteemist teise muutusid kehade pikkuslikud suhted, kellaga mõõdetava aja voolamise tempo jm. See oli uudne ja oluline. Kuid nüüd küsime: kas seejuures jääb midagi ka püsivaks ja muutumatuks? Kas on olemas ka midagi sellist, mis peegeldab ruumi ja aja sisemist ehitust vahetult, haaramata lisaks objektide vahekordi taustsüsteemidega? Niisuguseid suurusi on tõepoolest olemas.

14. Intervall. Kujutleme, et maailmaruumis toimub kaks meteooride kokkupõrget, mille tulemusel kokkupõrkavad meteoorid plahvatavad ja hävivad. Päikesega seotud inertsiaalsüsteemist vaadatuna olgu mõlema plahvatuse vahemaa 100 000 km ja ajavahemik plahvatuste vahel $\frac{1}{2}$ sekundit. Poolele sekundile vastav valguse teekond on 150 000 km. Korrutame arvud 150 000 ja 100 000 kummagi iseenesega, lahutame esimesest korrutisest teise ja võtame saadud vahest ruutjuure. Tulemuseks saame pikkusarvu 111 803 km. Nimetame seda suurust intervalliks antud kahe sündmuse vahel.

Vaadeldes neidsamu plahvatuse mõnest teisest inertsiaalsüsteemist, leiame, et ajavahemik ja ruumiline kaugus nende vahel on teistsugused, sest aeg ja pikkus on relatiivsed suurused. Selgub aga, et neist uutest ajalistest ja ruumilistest andmetest arvutatud intervall mainitud sündmuste vahel on endiselt 111 803 km. Üleminekul ühest inertsiaalsüsteemist teise muutub küll nii ajaline kui ruumiline kaugus sündmuste vahel, kuid nende vaheline intervall jääb muutumatuks. Intervall on antud kahe sündmusega seotud absoluutne suurus. Ta iseloomustab nende sündmuste ajalis-ruumilist eemaldatust teineteisest sõltumatult nende sündmuste vahekorrast ühe või teise taustsüsteemiga.

15. **Aegruum.** Nagu ruumipunktidest võib moodustada mitmesuguseid kujundeid — kuupe, tetraeedreid jne. —, paigutades punkte üksteise suhtes kindlatele kaugustele, nii võib ka sündmustest moodustada mitmesuguseid kombinatsioone ja «kujundeid», paigutades sündmusi üksteise suhtes kindlatele intervallidele. Niisuguste sündmusekujundite uurimine viib meid omamoodi ajalis-ruumilisele geomeetriaale. Selle geomeetria tegevusväljaks pole tavaline ruum, vaid nii-öelda sündmuste ruum, kus punktide osas on sündmused ja kauguse osa etendab intervall. Füüsikas nimetatakse niisugust sündmuste ruumi aegruumiks.

Tavalises ruumis on igal punktil kolm asendi arvu ehk koordinaati (vt. I osa, p. 7), mistõttu öeldakse, et ruum on kolmedimensionaalne. Aegruumis on igal sündmusel ehk aegruumi «punktil» neli asendi arvu, nimelt kolm ruumilist asendi arvu, mis näitavad, kus sündmus toimus, ja lisaks veel neljas, ajaline asendi arv, mis näitab, millal sündmus toimus. Seepärast öeldakse, et aegruum on neljadimensionaalne.

Aegruumi geomeetrias leiab enesele väljenduse aja ja ruumi absoluutne sisemine struktuur. Newtoni teoorias olid absoluutsed aeg ja ruum eraldi, Einsteini teoorias on seda ainult aegruum. Aegruumi geomeetrias ilmneb aja ja ruumi omavaheline seotus. Kui näiteks üleminekul ühest inertsiaalsüsteemist teise märkame, et muutub ruumiline kaugus kahe sündmuse vahel, siis võime juba arvutuse teel ette öelda, kuidas peab muutuma neid sündmusi eraldav ajavahemik, sest mõlemad muutused on omavahel seotud sündmustevahelise intervalli väärtuse püsijäämise tingimuse kaudu.

Newtoni ruumi ja aja teooria on üldistus piiratud ja vähetäpsetest inimlikest kogemustest maapealsetes tingimustes. Einsteini teooria tugineb laiemale ja täpsemale kogemuslikule materjalile. Seepärast peegeldab Einsteini teooria niisuguseid looduslikke vahekordi ja seoseid, mis Newtoni teoorias veel ilmsiks ei tule.

III. RUUMI JA AJA OLEMUSEST

1. **Abstraktsioonist.** Maailm nii, nagu ta on, on konkreetsete üksikasjade kirju kogu, kus iga ese esineb õieti ainukordsena ja ainulaadsena. Vaevalt on olemas kaht objekti, mis viimases kui piasjas on täpselt teineteise sarnased, või kaht nähtust, millest üks kordab teist viimase kui üksikasjani. Ikka on ühe juures midagi teistmoodi kui teise juures.

Kuid samas ei või ka öelda, et iga ese või nähtus on igast teisest esemest või nähtusest täiesti ja viimase peensuseni erinev. Vastupidi, sageli sarnaneb üks ese suuresti teisega, erinevuste kõrval on objektidel ka palju ühiseid jooni ja tunnuseid, mille järgi neid liigitatakse ja igapäevases kõnekeeles koguni nimetatakse.

Selgituseks vaatleme järgmist näidet. Väljend «see kivi meie aiavärava kõrval» tähistab konkreetset üksikeset. See ese on nii- ja niisugusest materjalist, nii- ja niisuguse erikaaluga, peaaegu ümmargune, ligi poolemeetrise läbimõõduga, hallikirju, ühelt küljelt pragunenud jne. Võiks loetleda veel palju omadusi ja tunnuseid, mis kogusummas iseloomustavad seda üksikeset ja ainult seda. Pole mingit muud objekti, millel on kõik need samad omadused ja ei ühtki teistsugust omadust.

Kuid peale «selle kivi» on maailmas veel palju teisi «kive». On olemas suur hulk esemeid, mida me nimetame kõik ühte viisi «kivideks», olgugi et nad kõik ei näe isegi ligikaudu ühte viisi välja. Miks me siis nimetame üksteisest erinevaid objekte ühise nimega? Ilmselt seepärast, et neil objektidel on teatavaid ühiseid omadusi ja tunnuseid, teatavaid ühiseid füüsikalisi ja keemilisi omadusi, mida geoloog või mineraloog võib täpselt loetleda. Mainitud ühiste omaduste ja tunnuste kompleks on see, mis antud üksikesemest teeb «kivi üldse». Ümmargune kuju, hallikirju värvus või asukoht aiavärava kõrval pole «kivile» iseloomulikud omadused. Need on juhuslikud ja individuaalsed lisatunnused, mis eraldavad üht «kivi» teisest.

Niisiis vaadeldes antud objekti kui «kivi», peame objekti juures silmas ainult osa tema omadusi, ainult neid, mille tõttu ta on «kivi». Objekti ülejäänud omadused ja tunnused jätame tähele panemata, läheme neist vaikides mööda kui antud juhul kõrvalistest ja mitteolu-

listest. Vaadelda antud «kivi» tähendab vaadelda midagi tegelikku, mille omadustest ja tunnustest on osa elimineeritud. Looduslikest esemetest ja nähtustest niiviisi tuletatud mõisteid nimetatakse abstraktsioonideks tegelikkusest. Nagu nägime, tekivad abstraktsioonid üldise ja ühise esiletõstmisel esemete juures, ja nad on üsna tavalisteks vahenditeks inimese mõtlemisprotsessis.

2. Abstraktsioonid ja piltlik kujutus. Abstraktsioon on arusaadavalt sisukehvem kui tegelik looduslik originaal oma täiuses ja terviklikkuses, sest vaadelda loodust abstraktsioonis tähendab ju vaadelda tegelikkust osaliselt, ainult ühest või teisest küljest. Seepärast pole ka puhtad abstraktsioonid inimese kujutusvõimele alati kättesaadavad. Kui näiteks kujutleme «kivi», kerkib silmade ette ikka üks või teine konkreetne kivi, mida kusagil oleme varem näinud, mitte aga «kivi üldse», mis on värvuseta, kujuta, suuruseta jne. Või kuidas kujutleda piltlikult «puud üldse», «maja üldse» jne? Inimese piltlik kujutusvõime on piiratud ikkagi konkreetse ja läbielatudga. Seepärast pole, olgu möödaminnes öeldud, midagi üllatavat ka selles, et paljud kaasaegse mikrofüüsika mõisted, mis on määratud mõne vähese, seejuures pealegi meile harjumatus kombinatsioonis esineva tunnusega, ei võimalda enesest saada piltlikke kujutlusi.

3. Abstraktsioonid ja loodusteadus. Loodusteaduses on abstraktsioonid möödapääsmatud. Looduse üldised seaduspärasused leiavad enesele väljenduse ainult seostena abstraktsioonide vahel. Teaduse võimu üks saladus seisab selles, et ta on üldine, esemete ja nähtuste üldised jooned aga avalduvad abstraktsioonides.

Väljendiga «naabri hobune tõmbas praegu vankri paigalt liikuma» mainitakse konkreetset üksiknähtust, konkreetset vahekorda kahe konkreetse objekti — antud hobuse ja antud vankri — vahel. Niisugused laused ei ole loodusseaduste väljenduseks, sest neil puudub iga-sugune üldisus ja nende praktilise rakendatavuse piirkonnaks on ainult kitsas kohalik ümbrus piiratud aja vältel. Seevastu öeldes Newtoni järgi: «Kehale mõjuv tung ehk jõud on võrdne tema poolt põhjustatud kiirenduse ja keha massi korrutisega», väljendame teadusliku tõde, sest toome esile lihtsa vahekorra tegelike objektide ja nähtuste väga üldiste abstraktsioonide «tung»,

«massiivne keha» ja «kiirendus» vahel. Et see väide haarab kõiki konkreetseid suurusi, mis on «tungid», ning konkreetseid esemeid, millel on «mass» ja mis võivad liikuda «kiirendusega», siis on ta väärtuslikuks juhtnõõriks nii loodusnähtuste mõistmisel kui ka suunamisel inimese tahte kohaselt.

On selge, et objekte, millel on näiteks 3 väljavalitud omadust, on looduses rohkem kui objekte, millel on peale mainitud kolme veel 10 muud omadust. Järelikult, mida sisuvaesem on abstraktsioon, mida vähem tunnuseid teda iseloomustab, seda suurema hulga looduslikke objekte ta haarab, seda üldisem ta on. Sellest tulebki, et loodusteaduse abstraktsemad harud on laiemalt rakendatavad kui konkreetsemad harud. Füüsika näiteks tegeleb bioloogiaga võrreldes üldisemate abstraktsioonidega, mistõttu füüsika rakenduspiirkond on avaram bioloogia rakenduspiirkonnast. Newtoni mehaanika üks põhiseadusi, millest oli juttu eespool, on rakendatav nii bioloogilistele kui mittebioloogilistele objektidele, nii Maa peal kui ka kauges maailmaruumis. Füüsikast veel abstraktsem on matemaatika — loodusteaduse haru, mis käsitleb üldisi suuruslikke vahakordi looduses, üldine õpetus muutumisest ja vastastikusest sõltuvusest. Matemaatika rakendusala on universaalne.

4. Geomeetria sünnid. Geomeetria on üks matemaatika harudest. Tema nimetus pärineb kreeka keelest ja tähendab tõlkes maamõõtmist. Alus pandi geomeetriaile muistses Egiptuses. Muistsed egiptlased seisid aastast aastasse tülika praktilise ülesande ees: neil tuli taastada kruntide ja maaomandite piirid pärast Niiluse suuri üleujutusi. Maamõõtmise probleemid omandasid Egiptuses erilise tähtsuse, mistõttu see teadusharu arenes teistest jõudsamini ja saavutas juba varakult üsna kõrge taseme.

Maamõõtjat ei huvitanud antud põllulapi puhul mulla värvus, koostis, viljakus ega muud sellised «kõrvalised» omadused. Ta pidas silmas ainult piiritulpade asetust, nende omavahelisi kaugusi, nurki mitmesuguste sihtide vahel, ühe sõnaga kõike seda, mis lõppkokkuvõttes ühel või teisel viisil taandus pikkuse mõõtmisele põllutükil. Looduslike esemete pikkuslikud omadused olid maamõõtjate huviobjektiks. Seetõttu abstraheeris maamõõtja

teemist ja millele võib ehitada, järgides eukleidilise geometria eeskujul, uut tüüpi geometriaid harjumatuks kõlavate teoreemidega. Vastandina eukleidilisele geometriale hakati neid süsteeme nimetama mitte-eukleidilisteks geometriateks.

On teada, et Lobatševski püüdis astronoomiliste vaatluste abil kindlaks teha, kas väga suurte pikkuste puhul ei ilmne materiaalsete esemete käitumises nähtusi, mis pole kooskõlas eukleidilise geometriaga, kuid on hästi seletatavad tema geometria seisukohalt. Samalaadseid kontrollmõõtmisi teostas saksa matemaatik K. F. Gauss (1777—1855), kasutades selleks väga suuri geodeetilisi kolmnurki maapinnal. Need katsed ei andnud tulemusi, kuid teaduse edasine arenemine näitas, et kahtlused olid siiski põhjendatud. Tänapäeval teame, et suurte kosmiliste masside, nagu Päikese ja teiste kinnistähedede naaberuses ei allu kehade pikkuslikud vahekorrad tõepoolest päris täpselt eukleidilise geometria seadustele. Looduse tegelik geometria on mitte-eukleidiline, kuigi eukleidiline geometria on tegelikkusele väga heaks lähendiks ja rahuldab näiteks maapealsetes tingimustes igasuguse praktilise täpsuse nõudeid. Sellest kõigest räägitakse pikemalt nn. üldises relatiivsusteoorias, mis on loodud samuti Albert Einsteini poolt jätkuna tema erirelatiivsusteooriale ja milles käsitletakse eriti ülemaailmse gravitatsiooni nähtusi.

6. Geometria kui ruumiõpetus. Pikkusi saab mõõta mitte üksnes materiaalse keha sees ja pinnal, vaid ka materiaalsete kehade vahel, üle neid eraldavate tühikute ja lünkade. Kujutleme hulka jäiku materiaalseid esemeid, mis võivad olla üksteisest kaugel, kuid ei liigu üksteise suhtes ei tervikuna ega osaliselt. Need esemed moodustavad materiaalse süsteemi, milles pikkuslikud vahekorrad on samasugused nagu ühe kompaktsel keha sisemuses. Pikkuslike omaduste seisukohalt on süsteemi esemed nagu ühe suure jäiga keha osadeks. Abstraktsioonis, mille puhul kehade kõik omadused peale pikkuslike omaduste on kõrvale jäetud, ongi pilt täpselt selline: rida konkreetseid geomeetrisi kujundeid ühe kõihehaarava geomeetriselise keha sisemuses. Seejuures viimasel pole kindlat kuju ega suurust, kui arvestame võimalust, et materiaalsel süsteemi, mille abstrakt-

siooniga on tegemist, võib meelevaldselt täiendada uute esemete juurdevõtmise teel.

Mõiste, milleni jõudsim, on meile juba tuntud. Kõikehaarava mõttelise jäiga keha sisemus, mis on liikumatult seotud antud kehadestesüsteemiga — see on ju nende kehadega seotud relatiivne ruum (vt. I osa, p. 8). Oleme seega leidnud, et relatiivse ruumi mõiste on abstraktsioon üksteise suhtes paigal olevate jäikade kehade süsteemist.

Relatiivsed ruumid erinevad üksteisest selle kehadestesüsteemi poolest, millega igaüks neist on seotud. Jättes kõrvale mainitud eraldava omaduse ja pidades silmas ainult seda, mis kõikidele relatiivsetele ruumidele on ühine, saame üldisema mõiste ruumist üldse, mis on samaväärne abstraktsiooniga jäiga materiaalse keha sisemusest. Sellel ruumil pole küll kindlat väliskuju ja suurst, kuid on kõik geomeetrilised omadused, millega puutume kokku jäiga materiaalse keha sisemuses. Teda võib näiteks jaotada, temast võib eraldada kindla kuju ja suurusega osi, temast võib vaadelda punkte, sirgeid, tasandeid, määrata kaugusi nende vahel jne., kusjuures kõike seda mitmekesisust valitsevad eukleidilise geomeetria seadused nagu ikka jäiga materiaalse keha sisemuses. Ruumil on kindel sisemine struktuur, mida kirjeldab geomeetria. Seepärast nimetataksegi geomeetriat mõnikord ka ruumiõpetuseks ehk teaduseks ruumist.

Piltlikult kujutleda ääretut ja otsatut ruumi tervikuna on raske, kuid mitte raskem kui näiteks üldist mõistet «kivi». Mõlemal juhul on tegemist abstraktsioonidega, milles on säilinud liiga vähe omadusi ja tunnuseid tervikliku kaemusliku pildi saamiseks.

7. Kui geomeetria irdub tegelikkusest. Geomeetria ajaloos oli pikk periood, mis ulatus Antiik-Kreekast kuni XX sajandini ja mille kestel see teadus kaotas loodusteaduse iseloomu. Abstraktsioonid, mis ju peegeldavad osa looduse tegelikkusest ja on lahutamatu seotud looduse konkreetsete objektidega, omandasid iseseisvuse ja hakkasid elama omaette elu. Ruumi hakati vaatlama eraldi muudest esemetest. Ta seati viimaste kõrvale võrdse või ebavõrdse partnerina ja seda eraldatust peeti looduslikuks tõsiasiaks. Materiaalse maailma üks külg, mis on temast ainult mõttes lahutatav, kuulutati tõeliselt

eraldunuks. Oli umbes nii, nagu oleks mehe vari eraldunud mehest, jätkates omaette olemasolu ja käies omaenese teed.

Niisugune seisukohavõtt, mis on metafüüsilise mõtteviisi tüüpiliseks tulemuseks, põhjustas rea lahendamatu probleeme. Kust on näiteks pärit geomeetria algtoed? Kas on nad inimesele kaasa sündinud? Mille muuga seletada tõsiasi, et mõned väited, nagu «kaks sirget saavad lõikuda ainult ühes punktis» või «kolmest ühel ja samal sirgel olevast punktist asetseb täpselt üks kahe ülejäänud vahel», on kõigile pikemata selged, vajamata erilist tõestamist — nad otse sunnivad end peale, olles teisiti mõeldamatud. Või on need toed inimesele kuidagi teisiti «antud», näiteks erilise «sisemise kaemuse» kaudu? Võib-olla aga on nad koguni inimese vaba mõtte omaloominguks? Viimasel juhul taanduks geomeetriateadus omamoodi loogiliseks mänguks, mille reeglid on vabalt valitavad.

Sedalaadi vaateid kroonib saksa filosoofi Immanuel Kanti (1724—1804) õpetus ruumist ja ajast kui kaemuse aprioorsetest (eelkogemuslikest) vormidest. Tema õpetuse järgi on esemed antud looduse poolt, ruum ja aeg aga inimese mõistuse poolt. Kuidas esemed looduses tegelikult «iseeneses» on, seda inimene ei tea ega saagi teada, sest tunnetada saab ta neid ainult ruumis ja ajas kui oma mõistuse poolt ettekirjutatud vormis. Nagu läbi siniste prillide paistab maailm sinisena, nii paistab läbi meelte ja mõistuse filtri maailm meile ruumis ja ajas, ja nagu sinine värvus ei kuulu loodusele, vaid prillidele, nii ka ruum ja aeg ei kuulu loodusele, vaid inimese mõistusele.

Kirjeldatud seisukohad on muidugi idealistlikud ja nende õigeks hindamiseks piisab, kui meenutame peatükki teaduste ajaloo, milles käsitlesime geomeetria sündi Muinas-Egiptuses.

8. Aja mõiste. Nagu ruumi mõiste, nii on ka aja mõiste abstraktsioon esemetest ja nähtustest. Viimastel on pikkuslike omaduste kõrval ka kestuslike omadusi. Igal inimesel, loomal ja esemel on oma vanus, igal nähtusel oma vältus. Säilitades antud eseme või nähtuse puhul ainult kestuslikud omadused ja jättes kõrvale kõik muu, saame selle eseme või nähtuse abstraktsiooni, mis pole

midagi muud kui tema eluiga iseloomustav ajavahemik. Igal ajavahemikul on oma pikkus. Peale selle on ajavahemikul kindel algus ja lõpp. Sellest järeldub muuseas, et ajavahemikul on suund, nimelt algusest lõpu poole. Selle poolest erineb ajavahemik sirgel võetud lõigust, millel on küll ka kaks otsa, kuid kaks omavahel üheväärset otsa. Kumb neist on lõigu alguseks, kumb lõpuks, jääb siin lahtiseks. Sirge lõigul pole loomupärast suunda nagu ajavahemikul.

Vaatleme edasi ühes paigas toimuvate üksteisele järgnevate nähtuste ahelat, mida võib soovikohaselt pikendada kuitahes kaugele minevikku ja tulevikku. Sellise nähtuste ahela abstraktsioon annab ajavahemikust üldisema kestusemõiste, mille tunnuste hulka ei kuulu enam kindel algus, lõpp ja pikkus, küll aga kindel suund, osadeks jaotatavus, ahela kõikidele üksiknähtustele vastavad ajavahemikud, võimalus eraldada kuitahes pikki uusi konkreetseid ajavahemikke jne. Niisugune on kellega mõõdetava relatiivse aja mõiste, mis on seotud vaadeldava nähtuste ahelaga (vt. I osa, p. 10). Kui me mõttes viimase kõrvaldame ja võtame arvesse ainult kõikidele relatiivsetele aegadele ühised omadused, saame üldise mõiste algusest ja lõputa ajast, mis on suunatud minevikust tulevikku.

9. Üldisemate abstraktsioonide poole. Ruum jäiga keha pikkuslike omadustega ja aeg materiaalsete objektide kestuslike omadustega on abstraktsioonid liiga piiratud ulatusega tegelikkusest, et peegeldada materiaalsete esemete ja nähtuste teatavaid külgi ülemaailmses ulatuses. Jäigad kehad on küll tavalised Maa peal, kuid nad pole hoopiski kosmiliste kehade tüüpilised esindajad. Kui aga on piirkondi ja olukordi, kus jäigad materiaalsed kehad puuduvad, siis puudub seal ka materiaalne eeldus jäikade kehade geomeetriaks ja seda geomeetriat kandvaks ruumiks. Samuti pole olemas universaalset kella, mis mõõdaks ajavahemike pikkusi ühteviisi ülemaailmses ulatuses. Kirjeldatud ruumi- ja ajamõiste on liiga spetsiaalsed, veel liiga paljude eritunnustega, et suuta harrata universumi kõiki objekte.

Õeldust järeldub vajadus edasiminekuks üldisemate abstraktsioonide poole, niisuguste mõistete poole, mille sisu moodustaksid eranditult kõikidele objektidele ja näh-

tustele ühised omadused ja karakteristikud. On arusaadav, et sellised mõisted jäävad üsna sisukehvakts, sest pole tõenäoline, et kõikvõimalikel esemetel ja nähtustel oleks palju ühiseid omadusi. Võib isegi tekkida küsimus, kas niisuguseid omadusi ja karakteristikuid ongi olemas. On ju maailm küllalt mitmekesine ja kirju, et panna kahtlema millegi kõigile esemetele ja nähtustele ühise olemasolus.

Maaailma esemetel ja nähtustel on siiski jooni, mis on neile kõigile ühised. Selles avaldub maailma ühtsus. Üheks niisuguseks üldiseks jooneks, millest pole erandeid, on kõikide objektide ja nähtuste materiaalsus.

Kuid materia ei eksisteeri kaootilises olukorras, ükskõik kuidas, vaid kindlal viisil, kindlate seaduspäraste kohaselt. Need olemasolu põhilised seadused kehivad samuti eranditeta, mistõttu nad ilmnevadki kõikide esemete ja nähtuste ühiste omadustena. Õpetus viimastest, seega õpetus materia olemasolu algsetest seaduspärastest ehk olemasolu vormidest ongi ruumi ja aja teooria kõige üldisemal kujul. See on kõikide objektide, terve olemasoleva maailma üldine teooria. Seepärast võimegi kokkuvõttes öelda, et kõik materiaalsed objektid eksisteerivad ruumis ja ajas, mis on materia olemasolu objektiivseteks vormideks.

10. Lõpetuseks. Loodusteadlase loomulikuks maailma-vaateks on materialistlik maailmavaade. Vaikides eeldab ta, et tema uurimisobjekt — loodus — on objektiivselt olemas väljaspool teda ennast ja et loodust on võimalik mõistuse abil kuitahes põhjalikult tundma õppida. Kogutud andmete tõepärasuses, oma teooriate vastavuses tegelikkusele on ta veendunud siis, kui tal õnnestub nende alusel uuritavate nähtuste käiku juhtida ja valitseda, allutada loodusjõude oma tahtele.

Kujutlused materiaalse maailma ehitusest vastavad antud ajajärgu teadmiste tasemele ja muutuvad koos viimasega. Omal ajal arvati, et looduse lõputu mitmekesisus taandub tervenisti ainult aatomite ja molekulide mehaanilisele liikumisele (mehaaniline materialism). Selle liialt lihtsustatud maailmapildi küündimatus ilmes muidugi varsti ja tema puudused kuulutati materialismi vastaste poolt materialismi puudusteks üldse. See oli loogiline viga, mis ei lakka kordumast tänapäevalgi.

XVII—XVIII sajandi loodusteadusele oli omane eriline, nn. metafüüsiline lähenemine loodusnähtustele (metafüüsiline materialism). Vastavalt tolle aja tingimustele ja nõuetele uuriti loodust üksikute nähtuserühmade viisi, mida vaadeldi üksteisest eraldi ja omaette. Seetõttu jäi märkamatuks loodusnähtuste üldine vastastikune sõltuvus, looduse terviklikkus. Tekkis kujutlus, nagu koosneks maailm paljudest igavesti muutumatutest komponentidest, mis on üksteisest eraldatud absoluutsete vaheseintega. Newtoni maailmapildis, mis on metafüüsilise materialismi tippsaavutuseks, on looduse eraldi koostisosadeks näiteks ruum, aeg ja aine, mis eksistevad igaüks omaette ja täiesti sõltumatult teistest.

XIX sajandi lõpul ja XX sajandi algul elas see maailmapilt üle krahhi. Ta ei suutnud enam peegeldada tegelikkust vastavalt teadmiste uuele tasemele, mis loodusteaduste formilise arenemise tulemusel äkki oli tõusnud tublisti kõrgemale. Jälle sattus koos kokkuvariseva maailmapildiga rünnaku objektiks ka materialism üldse, sedapuhku üsna tõsiselt, sest paljud loodusteadlased ise, kaldudes uusi fakte vääriti tõlgendama, läksid üle materialismi vastaste leeri. Avastati muuseas, et see, mida seni oli nimetatud aineks, võib teatavatel tingimustel «kaduda», muutuda «mitteaineliseks», ja vastupidi. Selles arvati nägevat loodusteaduse enese poolt antud tõestust selle kohta, et materia on ainult illusioon ja et materialistlik maailmakäsitlus on rajatud liivale.

Kriisi üheks põhjuseks oli metafüüsiline mõtteviis, mis ei suutnud mõista, et senine «aine» võis olla vaid üks materia vorme ja et «aine» kadumine või tekkimine tähendas materia ühe vormi üleminekut teiseks — kaas-aegse kvantmehaanika ja kvantelektrodünaamika valguses kõige tavalisemat protsessi.

Uued avastused näitasid niisiis varem tundmatute seoste ja liikumiste olemasolu looduses. Leiti, et ruum, aeg ja aine on ühe terviku lahutamatud osad, mis on omavahel tihedas vastastikusel sõltuvuses. Üldine relatiivsusteooria, mille põhialused A. Einstein avaldas 1916. aastal, õpetab näiteks, et ruumi ja aja geometria on suurte masside läheduses tunduvalt teistsugune kui neist eemal.

Tekkinud olukord nõudis uut lähenemisviisi loodusnähtustele, uut mõtteviisi, mis arvestaks õigesti tegelik-

kuse põhiolemust, vaadeldes nähtusi ja esemeid vastastikusel seoses ja sõltuvuses ning käsitledes nii loodust kui ka teadmisi loodusest liikumise ja arenemise seisukohalt. Niisugune meetod oli olemas. See oli marksistlik dialektiline meetod, mis oli loodud Marxi ja Engelsi poolt nii loodusteaduste kui ühiskonnateaduste seniste saavutuste üldistuse alusel.

Marx ja Engels lõid uue, kõrgema materialismi vormi — dialektilise materialismi. See on kaasaegse teaduse maailmavaade. Talle on omane sügav optimism, piiritu usk inimese mõistuse jõusse, millel pole põhimõttelisi tõkkeid looduse tunnetamisel ja looduse jõudude rakedamisel inimese teenistusse.

KIRJANDUST

1. А. Д. Александров, О сущности теории относительности. Вестник Ленинградского Госуниверситета, 1953.
2. E. Borel, Ruum ja aeg. Tartu, 1935.
3. A. Einstein, Geometrie und Erfahrung. Berlin, 1921.
4. А. Эйнштейн, Сущность теории относительности, Москва, 1955.
5. F. Engels, Anti-Dühring. Tallinn, 1954.
6. V. I. Lenin, Materialism ja empiriokrititsism. Teosed, 14. kd., Tallinn, 1952.
7. Marksistliku filosoofia alused. Tallinn, 1959.
8. H. Oiglane, Vestlus relatiivsusteooriast. Tallinn, 1958.

SISUKORD

I. Ruumi ja aja mõistete arenemine enne XX sajandit

	Lk.
1. Mis on ruum ja aeg?	3
2. Kuidas vastati küsimusele antiikajal	4
3. Mis on pimedus?	5
4. Tühi ruum ja vaba aeg primitiivsetes kogemustes	6
5. René Descartes	7
6. Isaac Newton	7
7. Aasukoha määramine ruumis	8
8. Relatiivne ruum	11
9. Aasukoha määramine ajas	12
10. Relatiivne aeg ja taustüsteem	14
11. Inertsiaalsüsteemid	15

II. Ruum ja aeg XX sajandi teaduses

1. Heli levimise kiirus	16
2. Valguse levimise kiirus	17
3. Valguse kiiruse konstantsuse printsiip	18
4. Sündmuste samaaegsus	19
5. Nähtuse arvuline külg	22
6. Nähtuste relatiivsusest	23
7. Aja relatiivsus	24
8. Kellade vastastikune tahajäämine	26
9. Teekond tulevikku	27
10. «Kellaparadoks»	29
11. Pikkuse relatiivsus	30
12. Pikkuste lühenemine liikumise sihis	32
13. Mis jääb absoluutseks?	33
14. Intervall	34
15. Aegruum	35

III. Ruumi ja aja olemusest

1. Abstraktsioonist	36
2. Abstraktsioonid ja piltlik kujutus	37
3. Abstraktsioonid ja loodusteadus	37

4. Geomeetria sünd	38
5. Eukleidiline ja mitte-eukleidiline geomeetria	39
6. Geomeetria kui ruumiõpetus	40
7. Kui geomeetria irdub tegelikkusest	41
8. Aja mõiste	42
9. Üldisemate abstraktsioonide poole	43
10. Lõpetuseks	44
Kirjandust	46

Керес Харальд Петрович
 ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО
 На эстонском языке
 Эстонское Государственное Издательство
 Таллин, Пярнуское шоссе, 10

Toimetaja R. Toming
 Tehniline toimetaja E. Lumet
 Korrektor H. Nassar

Ladumisele antud 19. X 1959. Trükkimisele antud 9. XII 1959. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 3. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 2,46. Arvutuspoognaid 2,62. Trükiarv 3000. MB-10240. Tellimise nr. 4108. Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19.

Hind rbl. 1.—

Rbl. 1.—

A

17 346

45 708

KÜLASTAGE RAAMATUKAUPLUSI

ja jälgige müügil oleva kirjanduse välja-
panekuid! Kindlasti leiate endale vaja-
likke raamatuid, mis aitavad Teid töös
ja õpingutes ning rahuldavad Teie
kirjanduslikke huvisid.

Nõudke
raamatukauplustest

raamatute nimekirju, katalooge jne.

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00482035 5