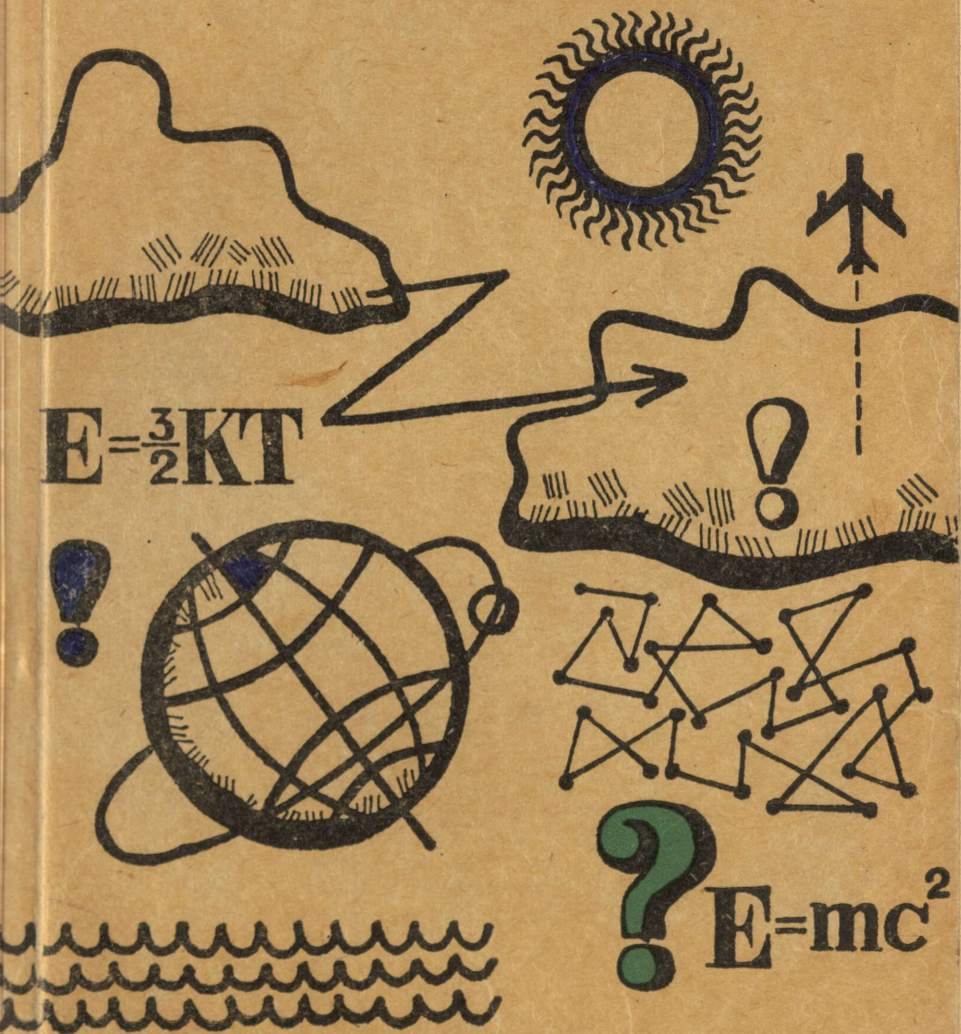


**K. Gilzin** NOVELLID  
TEIST SUGUSTE  
KONSTANTIDE  
MAAILMAST





A-31053

K. GILZIN

NOVELLID  
TEISTSUGUSTE  
KONSTANTIDE  
MAAILMAST

KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1970

Kaane kujundanud: A. Jõers

Originaali tiitel:

К. Гильзин

Новеллы о мире иных констант

Издательство «Детская литература»

Москва 1966

Vene keelest tõlkinud H. Heinoja

2

Tartu Riikliku Ülikooli  
Raamatukogu

78030

## EESSÕNA

Millest tuleb juttu raamatus kummalise pealkirjaga «Novellid teistsuguste konstantide maailmas»? Ja mis kangelased need niisugused on — konstandid? Kus asub too arusaamatu «teistsuguste konstantide» maailm ja mida ta endast kujutab?

Sellised või ligikaudu sellised mõtted tekivad ilmselt lugejal, kes käesoleva raamatu esmakordselt kätte võtab.

Mis siis ikka, ütleme kohe ära, et raamatus on palju ebaharilikku. Tegelikult on ta tervenisti ebaharilikust. Ent seejuures ei asu too ebaharilik mitte üheksa maa ja mere taga ega kuskil kauges galaktikas. Ta on meie ümber, peitub meid vahetult ümbritsevas looduses, mis paistab nii tuntud ja tavaline olevat.

Me ei öelnud juhuslikult «peitub». Loodus avab oma saladused üksnes uurivale ja juurdlevale mõistusele. Selle jaoks, kes on ükskõikne tõe tunnetamise vastu, kes tuubib füüsika- ja keemiavalemeid ilma nende mõttesse süvenemata, jäävadki need saladused avastamatuks ja tundmatuks.

Missugune kõitev maailm avaneb seevastu teravale pilgule, mis püüab looduse pühamusse tungida, universumit juhtivaid varjatud seadusi leida! Inimese elus pole midagi erutavamad ega hinnalisemat nendest minutitest, mil tungitakse sügavale asjade salajasse sisimasse. Tõepoolest, üksnes nendel hetkedel tunneb inimene end tõelise maailmavalitsejana...

Kaunis on meid ümbritsev maailm! Taevasina ja tähetelk, päikesekiired ja kuuvalgus, ookeanipeegel ja mäestikujõe vulin, metsavaikus ja väljade avarus — kõik see

hellitab pilku, kõik on kallid ja lähedane sellele, kes armastab loodust ega väsi seda imetlemast ning tema saladusi uurimast.

Aga ega inimese loodud asjade maailm vähem kaunis ole. Hiiglasliku teraslinnu lend, ennenägematud sünteesilised materjalid, turbiinide undamine tammi betoonsängis võimsal jõel, televiisoriekraani helendumine, tuuma-reaktori põues toimivate muundumiste alkeemiaga sarnanev saladuslikkus — kui palju on küll neid inimgeeniuse ja -töö ülevuse surematuid ilminguid...

Teadus uurib ja kujundab maailma ümber. Ta püüab looduse seadusi sügavamalt tundma õppida, selleks et rakendada võimsad loodusjõud inimese teenistusse, muuta elu Maal paremaks ja kaunimaks. Tuhanded erinevate alade õpetlased — matemaatikud, füüsikud, bioloogid, tehnikud — töötavad ennastsalgavalt teadusepõllul.

Aga kas ainult teadlased püüavad maailma tunnetada, sellest aru saada? Kas igapähele meist ei esine hetki, kus jäädakse mõtlema pealtnäha kõige tavalisema asja üle, seisatatakse hästi tuntu ees? Kui äkki päritakse eneselt, miks ümbritseb meid just niisugune maailm, mitte aga mõni teistsugune? Vahest on võimalik või koguni olemaski teistsugune, palju kordi parem maailm? Või ei saagi enam paremat olla?

Inimene poleks tema ise, kui ta kõike ümbritsevat mõtestada ei püüaks. Mida tsiviliseeritum inimene on, seda laiem on tema huvidering ja tugevam soov kõige olemuseni «kaevuda»...

Igapäevases elus ei mõtiskle me harilikult tuntud nähtuste mõtte üle, me lihtsalt oleme nendega harjunud. Aga palju sellest, mis esimesel pilgul lihtsana ja iseenesest mõistetavana tundub, pole tegelikult sugugi nii silmanähtav.

Toogem siinkohal ainult ühe näite. Kõik on rohkem kui kord kuulnud ja teavad hästi, et valguse kiirus vaakuumis on umbes 300 000 kilomeetrit sekundis. Aga mispärast just kolmsada tuhat, mitte aga kolm tuhat või kolm miljonit? Vaevalt võib siin tegemist olla mingi juhusega, ja mis «juhus» see on, kui sellest oleneb maailma enese pale? Kahjuks ei oska teadus veel sellele ja teistelegi taoliste küsimustele vastust leida.

Tõepoolest, milliseks kujuneks meie maailm, kui valguse kiirus tunduvalt muutuks? Võib-olla ei juhtukski

midagi olulist, vaid kõik jääks vanaviisi? Või muutuks ümbritsev tegelikkus tundmatuseni?

Ent valguse kiirus on vaid üksainus terveist füüsika-konstantide reast — see tähendab, jäävatest suurustest, mis sisalduvad paljudes universumis toimuvaid füüsikalisi protsesse kirjeldavates võrrandites. Kui koolis neid protsesse tundma õpitakse ja vastavad võrrandid välja kirjutatakse (kes ei mäletaks näiteks Newtoni ülemaailmset gravitatsiooniseadust või Einsteini antud massi ja energia seost?), siis mainitakse võrranditesse kuuluvaid konstante harilikult ainult möödaminnes. Kas me koolis näiteks palju kuuleme ülemaailmse gravitatsiooniseaduse valemis sisalduvast gravitatsioonikonstandist? Vahest ainult seda, et ta on konstant ja järelikult ta suurus ei muutu ega sõltu mitte millestki (selle võtavad õpilased ilmse kergendustundega teatavaks) ... Ent teaduse jaoks on gravitatsioonikonstant üks suuremaid looduse saladusi. Miks tal on just niisugune, mitte aga mõni teine väärtus? Kuidas on ta seotud teiste, iseloomult niisama põhiliste füüsika-konstantidega? Ja kas nad kõik on tõepoolest konstandid? Neile esmajärgulise tähtsusega küsimustele pole seni veel vastust leitud.

Looduse saladusi ründava teaduse rikkalikus arsenalis leidub ülimalt efektiivne relv — võrdlev eksperiment. Et kindlaks teha mingi ühe teguri mõju antud nähtusele, näiteks füüsikalise või keemilise protsessi kulgemisele, korraldavad teadlased terve seeria katseid, kus katsesest katsesse muudetakse ainult uurimisalust tegurit. Loomulikult oleks taoline meetod suurepärase vahend ka põhiliste füüsikakonstantide, nende universumi «toevaalade» tundmaõppimisel. Kuid kahjuks on see meetod võimetu — ega siis lõpuks asjata meid huvitavaid suurusi konstantideks nimetata.

Aga kui niisugust eksperimenti praktiliselt teha ei saa, siis kes takistab meid seda mõtteliselt sooritamast? Mis oleks, kui meie reaalsest maailmast kanduda sinna, kus mingil põhilisel füüsikakonstandil on teistsugune väärtus, mis tunduvalt erineb tõelisest? Võib-olla osutuks sellise moodsa Gulliveri reis samal ajal üsna huvitavaks ja ebataavaliseks ...

Lugeja, kui sulle meeldib, siis siirdugem tõepoolest niisugusele reisile. Õigupoolest pole see mitte üks, vaid terve hulk reise; neile ongi pühendatud käesolevas raamatus

leiduvad novellid. Igas novellis külastame kujuteldavaid maailmu, olgu need siis planeedid tundmatutes galaktikates või soovi korral meie Maa, aga juba «teistsuguste» konstantide maailmas. Üks neist maailmadest erineb meie tõelisest maailmast mingi ülitähtsa füüsikakonstandi tugevasti suurendatud, teine — tugevasti vähendatud väärtuse poolest.

Niisiis — tee. Kuhu me just täpselt suundume, millised füüsikakonstandid muutuvad ja kuidas see maailma muudab, sellest loed raamatust. Aga mil kombel meie ise teistsuguste konstantide maailma satume, seda Sa teada ei saa, sest seda ei tea autor isegi. Muide, nii öelda pole päris õige: autor teab, et konstantide muutmine on niisama võimatu nagu meie reisidki. Ent see-eest lubavad need matkad Sul, lugeja, paremini tundma õppida ümbritsevat maailma, samal ajal ka otsustada, kas meie omast, tõelisest maailmast erinev teistsuguste konstantide maailm on parem või halvem. Õigust öelda näib Maa pärast niisuguseid teekondi sada korda kodusem ja armsam olevat.

## ESIMENE OSA

### TUTTAVAD TUNDMATUD

*Selles, raamatu esimeses osas räägitakse mõningatest füüsikakonstantidest, millel on meie igapäevases elus suur tähtsus. Neid peetakse tavaliselt hästi tuntuteks, aga kas see ka tegelikult nii on?*



## ESIMENE NOVELL

### KOSMILINE VURR

*Liiga täpne kell. Ööpäev pole konstantse pikkusega. 80 tundi kestev uni? Ööpäevane pöörlemine, maailmaookean ja mandrite kliima. Kuidas ühe kolmandiku võrra kergemaks muutuda? Katastroofiline kaalutus ekvaatoril. Ookeanid asusid ümber taevasse. Maad ei ähvarda mitte miski.*

Esimene füüsikakonstant, millest juttu teeme, on ööpäev. Ööpäev? Mis konstant see siis on?

Aga kas öö ei vaheldu päevaga ja päev ööga lausa imeväärse seaduspärasusega? Muidugi võib aega mõõta erinevate ühikutega — see on lõpuks kokkuleppe asi — ja üldse pole kohustuslik, et ööpäevas oleks just 24 tundi. Võib kasutada täiesti erinevat hulka teistsuguseid ühikuid. Ent alati möödub keskööst keskööni või keskpäevast keskpäevani ühesugune ajavahemik — ööpäeva pikkus jääb samaks.

Astronoomilise ajamõõtmise aluseks oleval ööpäeva tähelepanuväärsel jäävusel on väga tähtis osa nii erinevates teadusharudes kui ka igapäevases elus. Tõsi küll, see osa on niivõrd harjumuspäraseks saanud, et me seda tavaliselt ei märkagi.

Aga kas ööpäev ongi nii muutumatu pikkusega?

Selgub, et tegelikult ei jää ööpäeva pikkus sugugi rangelt samaks. Kui paljude sajandite kestel oli ööpäev astronoomidele ja teistele õpetlastele täpse aja etaloniks, siis tänapäeval on lugu hoopis teisiti. Tuli välja, et ööpäev pole kaugeltki ideaalne etalon, ehkki raadio ajasignaalid, millega me kõik harjunud oleme, antakse selle etaloni järgi. Õigemini antakse signaalid ülitäpse kvartskella järgi, kuid selle sügavale keldrisse peidetud kella näitu

võrreldakse astronoomilise ajaühikuga — ööpäeva kestusega.<sup>1</sup>

Kellele loovutas ööpäev kui täpse aja mõõdupuu võidupärja? Tuleb välja, et aatomkellale. Aatomid võnguvad nii rabavalt jääva sagedusega (miljardid ja kümned miljardid võnked sekundis), et viga aja arvutamisel seda sagedust kasutava aatomkella abil küünib 1 sekundini saja tuhande aasta kohta. Muide, ka aatomkell pole ajaarvutamisel enam täpsuse tšempion — füüsika tunneb täpsmaidki seadmeid.

Aatomkell tegi esmakordselt täiesti usaldusväärset kindlaks, et ööpäeva pikkus pole absoluutselt jääv, see tähendab, et astronoomiline aeg pole kaugeltki täpne, ehkki õpetlased teadsid seda juba varem, muuseas ka kvartskella näitude põhjal. Aga et nii astronoomid, kosmonaudid kui ka näiteks mere- ja õhulaevade tüürimehed kasutavad just astronoomilist aega (selle järgi määratakse Päikese, Kuu, tähtede jms. asendit), siis võiks aatomkell neid segadusse viia — see kell oleks «liiga täpne»...

Et aatomkella siiski astronoomilise kella kontrollimiseks saaks kasutada (see on ta põhiülesanne, sest pikka aega ta töötada ei saa ja kasutadagi pole teda hõlpus), tuli seda «parandada» vähem täpse astronoomilise kella järgi — ööpäeva kestuse põhjal. Kui aga aatom- ja astronoomilise kella aegade erinevus küünib juba 0,1 sekundini (kohutavalt suur erinevus, kui jutt on täpsest ajast), siis «nihutatakse» aatomkella osuteid, ehkki just see kell on ilmeksimatu. Mis teha...

Esmakordselt lükati kõik maailma aatomkellad 0,1 sekundi võrra tagasi 1961. a. Teist korda juhtus see 1963. a. 31. oktoobri keskööl, seejärel — 1. aprillil 1964. a.

Ega astronoomiline kell nii väga palju «valetagi». Ja ikkagi näitas aatomkell, et ööpäeva pikkus ei ole ideaalselt jääv; see kord kasvab, kord kahaneb. Viimase 10 aasta jooksul on ööpäev kolm korda ootamatult pikenenud, seejärel aga jälle lühenenud. Meie päevil on iga ööpäev mõningate andmete järgi umbes 0,002 sekundit pikem kui

<sup>1</sup> Kuni viimase ajani oli kõige täpsem harilik, s. t. pendelkell, see, mille 1910. a. konstrueeris Shortt (Inglismaa). Kella kasutasid kõigi maade observatooriumid. See kell ei eksi üle 2—3 sekundi 1000 ööpäeva kohta. Meil on F. M. Fedtšenko loonud 10 korda täpsema kella. Kvartskell käib veelgi täpsemalt.

eelmine — Maa «jääb taha» (osa andmete järgi toimub tahajäämine 1000 korda aeglasemalt). Aga 1872. a., kui ööpäev teaduse andmete kohaselt osutus kõige lühemaks viimase 400 aasta jooksul, käitus Maa nagu kell, mis aastas umbkaudu 1 sekundi «ette käib»...

Nagu näete, on need muudatused sedavõrd tühised, et ühe inimpõlve jooksul ööpäeva pikkus praktiliselt ei muutu<sup>1</sup> ning seda võib täie õigusega füüsikakonstandiks pidada, ja väga tähtsaks konstandiks. Aga miks siis ikkagi tähtsaks? Kas miski sellest oluliselt muutuks, kui ööpäev oleks pikem või lühem?

Loomulikult oleks siis teistsugune meie elukorraldus — tuleks harjuda lühema või pikema ööga. Aga on see siis nii raske? Harjuvad polaaralade elanikud ju lõpuks pooleaastase ööga ja niisama pika päevaga ning lakkavad isegi erilisel kombel reageerimast sellele ebatavalisele «ööpäevale». Ja ka meie kosmonautidele ei mõjunud eriti tugevasti asjaolu, et kosmoselaevadel «Vostok» ja «Voshod» vaheldus päev ööga umbes iga kolmveerand tunni tagant ja «ööpäev» kestis kõigest ligikaudu poolteist tundi.

Muidugi, pikkadel kosmoselendudel, näiteks Marsile või Veenusele, võib päeva ja öö ebatavalisel vaheldumisel, ehk nagu räägivad teadlased, bioloogilise rütmi muutumisel, olla tõsisem mõju kosmonautide tervisele ja psüühikale. On ju teadus kindlaks teinud, et ööpäeva jooksul muutub niihästi kõigi elusorganismide kui ka nende üksikorganite ja kudede bioloogiline aktiivsus. Muuta igaühes peituvat ja ammugi üles keeratud bioloogilise «kella» käiku valutult tõenäoliselt ei saa. Arusaadavalt on mainitud küsimus teiste probleemide kõrval tõmmanud endale teadlaste ja arstide, kosmosebioloogia ja -meditsiini spetsialistide terava tähelepanu, ent kõigil juhtudel jääb probleem ju bioloogiliseks, mitte aga füüsikaliseks, ning me räägime ööpäeva pikkusest kui füüsikakonstandist. Võib-olla füüsikakonstandina pole ööpäeva pikkus üldse nii oluline?

Ei, nii see ei ole. Meenutagem, et ööpäev tekib täiesti kindla füüsikalise nähtuse tagajärjel — maakera pöörlemise tõttu geograafilisi poolusi läbiva telje ümber (seda nimetataksegi ööpäevaseks pöörlemiseks). Ühe ööpäeva

---

<sup>1</sup> Maa praeguse pöörlemiskiiruse säilimisel ka tulevikus lakkab pöörlemine alles 100 miljoni aasta pärast.

jooksul sooritab Maa, see hiiglaslik kosmiline vurr, täpselt ühe pöörde ümber oma telje, ööpäev ongi ühe pöörde kestus<sup>1</sup>. Maakera muutub täpseks kellaks.

Soovi korral võib selles veenduda, jälgides koos arvukate turistidega Leningradis Iisaku katedraali kupli alla riputatud 98 m pikkuse hiiglapendli liikumist. Raske kuulike, mille alumises otsas on teravik, loeb aega pörandlele joonistatud numbrilaualt, mis pöörleb koos Maaga.

Kui aga ööpäev on Maa pöörlemise tagajärg, siis ööpäeva pikkuse muutumine, millest eespool juttu oli, iseloomustab maakera pöörlemiskiiruse ebaühtlust. Mis on selle põhjuseks?

Teadusele pole siin veel kaugeltki kõik täiesti selge. Tõenäoliselt avalduvad sel kombel Maa tuumas toimuvad protsessid, sulametallide või teiste viskoosete ainete ümberpaigutumine tema sügavustes; Maa pöörlemise muudavad ebaühtlaseks ka õhumasside liikumine, tõusud ja mõonad, vee voolamine jõgedes, lumi ja vihm jne.

On kindlaks tehtud ka Päikese aktiivsuse teatav mõju: näiteks 23. veebruaril 1956 Päikesel toimunud purske ajal kasvas ööpäeva pikkus 10 miljondiku sekundi võrra, aga 15. juuli 1959 purske mõjul isegi 850 miljondiku sekundi võrra. Huvitav, et pärast iga niisugust Päikese kromosfääris toimunud purske tulemusena tekkinud ööpäeva pikenemist lüheneb see jällegi.

Pole välistatud võimalus, et maakera pöörlemisele mõjub nn. päikesetuul — meie päevasest valgusallikast pidevalt väljapaiskuvad ja Maale jõudvad plasmavood; vähemalt on kindlaks tehtud selle «tuule» mõju Maa magnetväljale. Muuseas, on väljendatud ka mõtet, et endast hiiglaslikku magnetit kujutava Maa pöörlemine ise on tingitud «päikesetuule» ja maakera vastastikusest mõjust. Kas ei pane just niisugune vastastikune mõju pöörlema loendamatu elektrimootorite rootorid Maal?

Kui rääkida pikkadest ajavahemikest, siis võivad siin mõju avaldada ka mõned teised füüsikalised nähtused. Näiteks ühe teadlase<sup>2</sup> arvamise järgi tungis, ehk nagu

<sup>1</sup> Täpsemalt, maakera ühe täispöörde aeg on veidi väiksem ööpäevast ja võrdub 23 tunni 56 minuti ja 4 sekundiga ehk 86 164 sekundiga. See erinevus on seotud Maa liikumisega Päikest ümbritseval orbiidil, millest tuleb juttu järgmises novellis.

<sup>2</sup> Selle hüpoteesi püstitas 1964. a. inglise teadlane S. Roncorn.

õeldakse, difundeerus raud pärast maakera tekkimist tänu oma suurele tihedusele Maa väliskihtidest sisemistesse. Kui aga pöörleva keha mass ligineb pöörlemisteljele, siis pöörlemiskiirus kasvab vältimatult. Seda pöörlemise omadust kasutavad sageli näiteks iluuisutajad. Algul pöörlevad nad laiali aetud kätega, aga seejärel suruvad küünarnukist kõverdatud käed järsult rinnale — pöörlemiskiirus kasvab kohe sedavõrd, et kõik sulab kokku üheks hoogsaks pööriseks. Ligikaudu sama võis juhtuda ka Maaga tuhandete aastate vältel — selle tagajärjel lühenes ööpäev järkjärgult.

Vastupidine järeldus — pöörlemise aeglustumine koos ööpäeva pikenemisega — järeldub teisest hüpoteesist — maakera paisub vähehaaval (sellest hüpoteesist tuleb üksikasjalisemalt juttu raamatu viimases novellis).

Aga kui need on ainult hüpoteesid, siis Päikese ja Kuu sajanähtepikkune pidurdav mõju on vaieldamatu, selle toimel Maa pöörlemiskiirus väheneb; niisugust pidurdumist nimetatakse tavaliselt loodeliseks pidurdumiseks. Kuu ja Päikese (peaasjalikult Kuu) tõmbejõud kutsuvad esile selliseid grandioosseid loodusnähtusi nagu tõusud ja mõonad, mil hakkavad liikuma tuhandet tonni ookeani- ja merevett. Ainuüksi Kuu kulutab selleks kolossaalseks tööks võimsust 8 triljonit kilovatti!<sup>1</sup> Taolised looded tekiavad nii Maa atmosfääris kui ka maismaal. Punktipealse täpsusega sooritab iga osa Maa pinnast ööpäeva jooksul sujuvaid võnkeid: alla-üles, alla-üles.

Seda on raske märgata, kuid näiteks Moskva koos kõigi moskvalastega tõuseb ja laskub iga 6 tunni tagant umbes poole meetri, täpsemalt, 40 cm võrra. Ekvaatoril ulatuvad need võnkumised isegi kuni 55 sentimeetrini.

Need loodelained, mis mööda maakera pinda tema pöörlemisega vastassuunas liiguvad, aeglustavad vältimatult, ehkki vähehaaval, Maa ööpäevast pöörlemist ja seda just liikuvate masside hõõrdumise tõttu liikumatu osa vastu (kõige suurem mõju on maismaa osas — liito-

---

<sup>1</sup> Ei ole mägede taga aeg, kui see energia, mis 100 000 korda ületab Maa hüdroelektrijaamade koguenergia, rakendatakse inimese teenistusse. Esimesed eksperimentaalsed loodete jõul töötavad elektrijaamad on juba valmis (näiteks Prantsusmaal) või ehitamisel, muuseas ka meie maal, Kista lahes Barentsi mere kaldal. Tõsi küll, nende võimsus on väike, ent Meezeni lahte Valge mere ääres ehitatava Belomorski loodetelektrijaama võimsus on projekti järgi küllalt suur.

sfäärilise tekkivate lainetel). Niisugune aeglustumine moodustab 0,001—0,002 sekundit sajandi kohta. Huvitav, et esmakordselt rääkis sellest nähtusest tuntud filosoof Immanuel Kant juba 200 aastat tagasi.

Teadlased arvavad, et loodete poolt põhjustatud järkjärguline, ehk nagu seda veel nimetatakse, sajandiline muutus maakera ööpäevases pöörlemises viib kunagi, paljude miljonite aastate pärast, pöörlemise nii tunduva aeglustumiseni, et ööpäev muutub... Kuu kuu pikkuseks, s. t. kestab niisama kaua kui Kuu üks täistiir ümber Maa. Siis jääb Maa Kuu poole pööratuks ühe ja sama küljega. See tähendab, et Maaga juhtub sama mis Kuuga — meie kaaslane on Maa poole pööratud alati ühe ja sama küljega, nii et Kuul on üks ööpäev võrdne kuu kestusega. Kui Maa võtab Kuu suhtes kindla asendi ja nad hakkavad ruumis koos edasi liikuma, siis muutub maa-ööpäev võrdseks kuu-ööpäevaga. Tõsi, selle aja jooksul jõuab Kuu seda võrd Maast eemalduda (veel üks loodete mõju tulemus), et kuu meie kaaslasel, aga tähendab, ka ööpäev Maal ja Kuul ei kesta mitte 28, vaid 55 praegust maa-ööpäeva.

Muide, astronoomid oletavad, et Merkuuriga on tema «kuu» puudumise tõttu toimunud just midagi taolist — Merkuur on pidevalt ühe küljega Päikese poole pööratud meie päevase valgusallika loodelise mõju tõttu.<sup>1</sup> Ilmselt lähedal on sellisele olukorrale Veenus. Viimaste raadioastronoomia andmete järgi on ööpäev Veenusel isegi pikem kui aasta — ööpäev kestab 247, aasta aga ainult 225 maa-ööpäeva. Esimesel pilgul paistab see seletamatu: kui loodetel on pidurdav toime, kuidas saavad nad pöörlemist siis kiirendada? Kogu lugu on aga selles, et Veenus pöörleb vastassuunas. Tähendab, algul pidurdas loodetest tingitud hõõrdumine Veenuse ööpäevast pöörlemist, katkestas selle hoopis ja pärast pani planeedi pöörlema vastassuunas! Järgmine pärast Veenust on aga meie Maa.

<sup>1</sup> Hiljaaegu tehti selles järelduses parandused. Aasta kestab Merkuuril 88 maa-ööpäeva, aga viimaste raadioastronoomiliste vaatluste põhjal (1965. a. aprill, USA) on see võrdne umbes 59 niisuguse ööpäevaga, nii et rangelt võttes pole planeet alati ühe ja sama küljega Päikese poole pööratud. Asja olemus sellest aga ei muutu — selline aasta ja ööpäeva vahetamine on tingitud just nimelt loodete mõjust. Et ööpäev ja aasta Merkuuril täpselt võrdsed ei ole, siis seda sellepärast, et Merkuuri orbiit on tugevasti väljavenitatud — teda iseloomustab tugev elliptilisus.

Kandugem siis mitme aastatuhande võrra tulevikku, mil ööpäev on võib-olla tõepoolest tunduvalt pikem. Et mugavam oleks arvutada, oletame, et ööpäeva pikkus kasvab täpselt 10 korda — see kestaks siis 240 tundi. Ja ega seda polegi nii eriti palju — nagu eespool öeldud, jääb piiriks ju 55 praeguse ööpäevaga ehk 1320 tunniga võrdne ööpäev.

Bioloogilises rütmis kajastub see muutus lõpuks vägagi tugevasti. Kui magada näiteks endiselt umbes kolmandik ööpäeva järjest, siis peab uni kestma 80 tundi. Sellele järgneb aga 160 tundi kestev «päev». Pole välistatud võimalus, et aja jooksul viib niisugune ööpäeva kestus bioloogilise rütmi tunduva aeglustumiseni ja kõik uue rütmiga kohanevad eluprotsessid toimuvad märgatavalt aeglasemalt, pidurduvad. Tahtmatult meenuvad I. Rossohovatski jutustuse «Kohtumine kõrbes» kangelased. Aärmiselt aeglase aja kuluga maailmas elavad mõistusega olen did näivad neid kohtavatele ränduritele tardunutena, sedavõrd venitatud ja lihtsalt silmale märkamatud on nende liigutused...

Jäägu nüüd bioloogia pealegi bioloogiaks, aga kuidas on lugu füüsikaga? Kahtlemata muutuvad ka füüsikalised tingimused niisugusel aeglaselt pöörleval Maal üsna teistsuguseks.

Ööpäevase pöörlemise aeglustumise tõttu jahtub Maa öösel kindlasti rohkem, päeval aga kuumeneb tugevamini üle, kliima muutub kontinentaalsemaks. Kasvanud temperatuuride erinevuse tõttu tekivad võimsad õhumasside liikumised, tormid ja rajud.

Kuid asi pole ainult selles. On teada, et ööpäevane pöörlemine mõjutab vahetult õhu- ja merehoovusi, ilma ja kliimat peaaesjalikult igasugusel pöörlemisel tekkiva kesktõukejõu kaudu. Pöörlemistelje juures, s. t. poolustel, see jõud loomulikult ei mõju, maksimaalse tugevuse saavutab ta aga ekvaatoril.<sup>1</sup> Kesktõukejõud pole eriti suur, aga siiski

---

<sup>1</sup> Nagu teada, on kehale mõjuv kesktõukejõud võrdne keha massi ja kiiruse ruudu korrutisega, jagatud kaugusega pöörlemisteljest. Et ekvaatoril asuva maapinna punkti ööpäevase pöörlemise kiirus on 465 m/s, maakera raadius aga ligikaudu 6400 km, siis on kerge välja arvutada, et keha kaal ekvaatoril väheneb tänu ööpäevasele pöörlemisele umbes  $\frac{1}{3}\%$  (täpsemalt  $\frac{1}{289}$ ) võrra. Tuleb märkida, et peale kesktõukejõu mõjub kaalule ka teine pöörlemisel tekkiv intertsjõud, nn. Coriolisi jõud. Peale selle on Maa polaarraadius maakera lapikuse tõttu

avaldata ta mõju maailmaookeani tasemele — selle toimel veenivoo tõuseb, Maa veekiht jaotub ümber. See asjaolu on omakorda enamiku merehoovuste põhjuseks. Sama võib öelda ka Maa õhkkonna ja sealsete õhuhoovuste kohta. Seepärast pole midagi imestada, et ööpäeva pikkuse järsul muutumisel, nagu näiteks 1956. a. veebruaris, võib täheldada anomaaliaid ka maakera ilmastikus, sest see on seotud tunduvate muutustega õhkkonna tsirkulatsioonis.

Teadlased arvavad, et piisab, kui maailmaookeani tase poolustel muutub ekvaatoriga võrreldes kõigest mõne millimeetri võrra — kohe muutub järsult ka merehoovuste iseloom. Niisugune ookeani taseme muutus võib tegelikkuses täiesti aset leida, kui muutub ööpäevase pöörlemise kiirus. Näiteks Leningradi okeanoloogi Igor Maksimovi arvutuste järgi pidi ookeani tase tolsamal 1872. a., kui ööpäev oli rekordiliselt lühike, muutuma 8 mm võrra. Sellest näiteks piisab täiesti, et muutuks troopilise Golfi hoovuse suund. Huvitav on asjaolu, et Golfi hoovusega, millest väga tugevasti oleneb Euroopa kliima, juhtub aeg-ajalt tõesti seletamatuid asju — hoovus kaldub kord Norra, kord Gröönimaa ranniku poole. Igor Maksimov seadis olemasolevad astronoomilised andmed ööpäeva pikkuse kohta mitme sajandi vältel vastavusse andmetega Euroopa kliimast — talve karmus, suve vihmasus jne. Teadlane jõudis kindlale järeldusele — Maa ööpäevase pöörlemise kiiruse ja mandrite kliima vahel on otsene seos.

Muuseas, kliima muutumine on tihedalt seotud ka teise füüsikakonstandiga, mis iseloomustab Maa ööpäevast pöörlemist, nimelt asendiga, mille võtab maakera suhtes selle pöörlemise nähtamatu telg.

Me kõik oleme harjunud sellega, et maakera telje asend on rangelt jääv, et seda võib tõepoolest omalaadseks konstandiks pidada. Mis siis ikka, teadlastel on täielik alus sellisteks oletusteks — ühe põlvkonna elu jooksul ei muuda Maa telg tõepoolest praktiliselt oma asendit, täpselt nii nagu ei muutu ka Maa pöörlemiskiirus ümber selle telje. Ja ometi on vaieldamatult kindlaks tehtud, et

---

lühem kui ekvaatoriline ja järelikult ka Maa külgetõmme ekvaatoril nõrgem kui poolustel (ekvaatori punktid on Maa keskpunktist kaugemal). Kõige selle tõttu on kaal ekvaatoril umbes poole protsendi (täpsemalt,  $\frac{1}{190}$ ) võrra väiksem kui poolusel. Mingi maastikuauto, mis poolusel kaalub mitu tonni, oleks ekvaatoril 10...20 kg võrra kergem.

osa kliima muutusi on vahetult seotud just Maa telje asendi muutumisega.

Nõukogude teadlased arvavad, et Maa kogu geoloogilise ajaloo vältel on tema pöörlemistelg vähemalt kahel korral järsult asendit muutnud, «jalad ülespidi» asetonud, nii et lõuna- ja põhjapoolus vahetasid kohad.<sup>1</sup> Esmaordselt juhtus see ilmselt 3—4 miljonit aastat tagasi. Teist korda nihkus põhjapoolus Antarktikasse umbes miljoni aasta eest. Kas selliste ümberpaiknemistega polegi seotud kivisöelademetekkimine põhjapolaarjoone lähedusse, kus, nagu teada, troopiline taimestik puudub? Või tiigri kolju leidmine ja kaameli jäänuste avastamine Alaskast? Või Indias säilinud polaarmänd?<sup>2</sup>

Nagu näitasid täpsed vaatlused, muudab Maa telg ka tänapäeval pidevalt asendit ning poolused nagu «rändak-sid» Maa pinnal ringi. Nii näiteks minevikus, Egiptuse püramiidide ehitamise ajal, asus praeguse Põhjanaela ehk Suure Vankri tähe  $\alpha$  kohal Draakoni tähtkuju täht  $\alpha$ . Tulevikus saab Maa telje nihkumise tõttu Põhjanaelaks Lüüra tähtkuju täht Veega ja siis muutub lõunapoolkera põhjapoolkerast soojemaks. 2600 aasta pärast võtab Maa telg endise asendi ning ka kliima muutub endiseks.

Huvitav, et pooluste tsüklilist nihkumist tunti juba vanal ajal. Tsükli kestust (26 000 aastat) nimetati «jumalate aastaks». Sellise poeetilise nimetuse päritolu on lihtne kindlaks teha: arvu 26 000 võib saada lihtsalt kahe arvu — 70 ja 365 — korrutisena (korrutis on ligikaudne). Ilmselt oletasid meie esiisad, et üks päev on jumalate jaoks sama mis surelikele aasta...

Nende «sajandipikkuste» retkede kõrval sooritavad

---

<sup>1</sup> Selline «püsimumus» ei iseloomusta mitte üksnes geograafilisi, vaid ka magnetpoolusi. Teadlased on kindlaks teinud, et magnetiline lõuna- ja põhjapoolus on vähemalt kolmel korral kohta vahetanud; praegune Maa magnetvälja suund eksisteerib kõigest umbes miljoni viimase aasta jooksul. Üldiselt on emakese Maa pikk elu üsna tormiline olnud! Näiteks viimase poole sajandi vältel on magnetiline lõunapoolus nihkunud umbes 800 km võrra, «rännates» edasi keskmise kiirusega 2 m/h.

<sup>2</sup> Tuleb arvestada ka teist põhimõttelist võimalust, mida oletavad teadlased — ei triivi mitte poolused, vaid mandrid. Muide, erinevate maade, sealhulgas ka Nõukogude Liidu teadlaste rahvusvahelise koostöö tulemusena tehti hiljuti lõplikult kindlaks, et 100 miljoni aasta jooksul on Hindustani poolsaar 6000 km põhja poole triivinud. Oletatakse, et samuti triivivad ka teised mandrid, näiteks Gröönimaa eemaldub praegu Euroopast jne.

poolused veel lühiajalisi «sesoonseid» jalutuskäike, ja seejuures samasuguse aastase perioodiga nagu Maa ööpäevase pöörlemise kiiruse muutumine. Nähtavasti on nende sesoonsete muutuste põhjused seotud peaaesjalikult meteoroloogiliste teguritega — õhumasside liikumisega, vee külmumisega Maa pinnal jne. Nii aeglustub Maa pöörlemine tavaliselt vahemikus oktoobrist maini ja järgmise poole aasta jooksul jällegi kiireneb.<sup>1</sup>

Lõpuks poolused rändavad veel . . . igal öösel, tōsi küll, üsna tagasihoidlikult, kõigest mõne meetri ulatuses. Nagu nõukogude teadlane S. Molodenski esimesena näitas, on põhjuseks Maa vedela tuuma mõju. Katseliselt avastas pooluste ööpäevase nihke, nn. nutatsiooni Poltaava gravi-meetriaobservatooriumi astronoom N. Popov<sup>2</sup>.

Seega ei jää ööpäeva pikkus konstantseks, vaid muutub, ehkki üsna tühiselt. Ent isegi see väike kõikumine kutsub esile kliima muutusi. Mis juhtuks, kui ööpäev pikeneks 10 korda ja kestaks 240 tundi, nagu näiteks meie teistsuguste konstantide maailmas?

Kahtlemata paiknevad veemassid maakeral sel juhul võrreldamatult suuremas ulatuses ümber. Pooluste lähedal ookean nagu paisuks, ekvaatoril langeks aga lohku. Tähtsamad ookeanihoovused muudaksid oma sajanditepikkuseid trasse, mis põhjustab tugevaid muutusi kliimas. Muutub rannikureljeef, moonutuvad mandrite tuttavad piirjooned, Balti ja paljude teiste merede tase osutub hoopis erinevaks senisest. Üldiselt öeldes erineks «teistsuguse» ööpäevaga maailm väliselt tugevasti praegusest.

Mis juhtub aga siis, kui ööpäev ei pikene, vaid lüheneb 10 korda, kestes kõigest 2,4 tundi? Siin meid vaevalt küll aitaks niisugune ajas matkamine, nagu me võtsime ette selleks, et pikenenud ööpäevaga Maale jõuda.

Kui otsustada Maa sajandiliste muutuste iseloomu järgi, siis on üsna tõenäoline, et kauges eelajaloolises minevikus pöörles Maa tunduvalt kiiremini. Niisugust seisukohta võib teaduslikult tõestatuks pidada. Näiteks analüüsides andmeid tuhandeid aastaid tagasi toimunud päikese- ja kuuvarjutustest, õnnestus kindlaks teha, et vana-kreeka ja -hiina astronoomid jälgisid neid mõni tund varem, kui

<sup>1</sup> Pulkovo astronoomi professor N. Pavlovi uurimiste põhjal on ööpäev märtsi lõpul  $\frac{1}{1000}$  sekundi võrra pikem kui augusti alguses.

<sup>2</sup> Gravimeetriaobservatooriumis uuritakse raskusjõudu.

õigus oleks olnud, juhul kui Maa pöörlemine poleks aeglustunud. Siis oli ööpäev lühem.

Aga hiljaaegu saadi sellele faktile uus, mõneti ootamatu kinnitus paleontoloogiast — teadusest, mis uurib taimede ja loomade kivistisi.

Ameerika teadlane professor D. Wells tegi 1963. a. kindlaks, et korallide pinnale tekivad erilised joonekesed, millest igaüks märgib koralli poolt elatud ööpäevi, kusjuures need joonekesed paigutuvad aastalainetele (niisugused lained on korallide jaoks niisama iseloomulikud nagu aastaringid puude puhul).

Kaasajal elava koralli igale aastalainele vastab umbes 360 joonekest s. t. niipalju jooni, kui aastas on päevi. Ent umbes 400 miljonit aastat tagasi elanud devoni ajastu korallidel oli aastalainel 400 joonekest. Ja just niipalju «lühenenud» ööpäevi pidigi sisaldama aasta, kui võtta omaks teadlaste oletus, et ööpäevase pöörlemise kiirus väheneb pidevalt 2 sekundi võrra 100 000 aasta kohta!

Ent nii lühikese ööpäevani — 2,4 tundi — asi siiski vist ei läinud. Seepärast tuleb meil asendada kujuteldav reis ajas veel fantastilisemaga, näiteks kanduda tundmatule planeedile tundmatus galaktikas, planeedile, mis igas suhtes sarnaneb Maaga, ainult ööpäev on seal väga lühike. Muidugi, kui teile meeldib, siis jääge Maale, aga leppige juba ka sellega, et ööpäev kestab kõigest 2,4 tundi.

Elu bioloogiline rütm sellisel kiiresti pöörleval planeedil oleks äärmiselt «ebamugav». Otsustage ise, magada tuleks seal kolm ööpäeva järjest, aga ärkvelolek kestaks kuus ööpäeva. Kujutleda teist, kiirendatud bioloogilist rütmi, mis vastaks sealse ööpäeva pikkusele, on vaevalt võimalik. Tuleks siis ju äsja uinununa jälle kohe voodist välja karata — uni kestaks alla tunni, lõunatamiseks jääks 5—6 minutit, töөлēsõiduks aga ei jätkuks ööpäevastki. Nii kiire elutempo pole muidugi mõeldav. Siin oleksid omal kohal meie kosmonautide kogemused, kes olid üle niisugusest sagedasest öö ja päeva vaheldumisest.

Teame juba, et Maa ööpäevase pöörlemise kiiruse muutumine kutsub esile ka tõsisid füüsikalisi muutusi. Ööpäeva lühenemine nagu pikeneminegi põhjustab veemasside ümberjaotumise Maal, muutuvad jällegi ookeanihoo- vused, rannajoon, merede tase, mandrite kliima. Nüüd on see muutumine aga teistsugune, nagu vastupidise iseloomuga. Seal, kus ööpäeva pikenemine kutsus esile ookeani

taseme tõusu, nüüd ookean taganeb — veetõus asendub langusega. Mis juhtub tähtsamate ookeanihoovustega, seda on praegu raske öelda, kuid selge on üks — nende muutumine osutub kvalitatiivselt teistsuguseks.

Täiesti ilmne on aga see, et kõik füüsikalised muutused on ööpäeva lühenemisel tunduvalt järsemad kui samasugusel suhtelisel (meie puhul — 10 korda) ööpäeva pikenedemisel. Seletuseks: nagu teame, oleneb kõigi niisuguste muutuste peapõhjuseks olev kesktõukejõud otseselt ööpäevase pöörlemise kiiruse ruudust.

Kuid kõige olulisem peitub muus. Vähe sellest, et suurem kesktõukejõu muutus kutsub esile teravamad muutused meid ümbritsevas maailmas. Osutub, et kvantitatiivsed muutused viivad uuele ja seejuures väga olulisele kvaliteedile.

Mäletate, eespool rääkisime sellest, et ööpäevase pöörlemise mõjul kehade kaal Maal väheneb, kusjuures ekvaatoril moodustab see vähenemine ligikaudu  $\frac{1}{3}\%$ ? Näib, et üsna vähe, kuid ikkagi püütakse kosmodroome võimaluse korral ekvaatori lähedusse paigutada — selliselt talitades hoitakse kokku kütust.

Kui ööpäev pikeneb 10 korda, siis muutub kaalu kahanemine veel vähem märgatavaks (kahanemine muutub 100 korda väiksemaks ja keha ei ole nüüd mitte enam  $\frac{1}{3}\%$ , vaid  $\frac{1}{300}\%$  võrra kergem).

Ent täiesti teisiti on lugu ööpäeva kümnekordsel lühenemisel. Kesktõukejõud kasvab sel juhul ju 100 korda ja, tähendab, niisama palju kordi suureneb ka erinevus kaalus, moodustades nüüd juba mitte  $\frac{1}{3}\%$ , vaid hoopis  $\frac{1}{3}$  ehk 30% kogukaalust.

Tähendab, ekvaatoril kaalub 60 kg raskune inimene kõigest 40 kg. Katastroofiline kõhnumine! Täiskasvanu muutuks nagu uuesti koolipoisiks, vähemalt kaalu järgi...

Paljudgi muutub maailmas teistsuguseks. Hüpertooniahaiged ja teised haiged kolivad suurematelt laiustelt lähemale ekvaatorile. Niisugusel kolimisel heidab inimene endalt ju nagu paljude «liigsete» kilogrammide raskuse koorma. Võimalik, et aja jooksul muutuksid ekvaatorilähedaste piirkondade elanikud pikemaks — raskusjõud ei segaks neid kasvamast. Piisaks ühest pilgust niisugusele kolmemeetrisele hiiglasele, et mõista kust ta pärit on. Ebatavaliselt pikakasvulised loomad ja taimed — kõik see oleks iseloomulik troopikavööndile. Tõenäoliselt püsti-

tataks enamik spordirekordeid ekvaatorilähedastel staadionidel, sest väiksem kaal võimaldab sportlastel tunduvalt kõrgemale ja kaugemale hüpata, ketast või oda pikema maa taha visata, kiiremini ujuda ja joosta. Kuid kõik need rekordid kuuluksid suhteliselt väikesekasvulistele põhjamaalastele, mitte aga võimsatele ekvaatorialade elanikele — võidaksid suuremale kaalule treenitud lihased. Just samuti tunnevad Maa elanikud end mõne aja pärast (mitte just väga kauges tulevikus) Kuu pinnal<sup>1</sup>, kus kaal väheneb kuus korda.

Vähenenud kaal ei mõjuku mitte ainult elusloodusele. Hooned ja masinad «tunneksid» samuti suurt «kergendust», nad muutuksid kergemaks, ažuursemaks, vähem massiivseks. Metall ja teiste materjalide kulu väheneks tunduvalt. Rataste hõõrdumine raudteerööbastel ja kummide hõõrdumine asfaldil muutuks märgatavalt väiksemaks, mis viiks kütusekulu vähenemisele. Hõõrdumise vähenemise tõttu kasvaks ka enamiku masinate efektiivsus.

Tunduvalt hõlbustub kosmoserakettide väljasaatmine: saadakse siis ju kosmilisest kiirusest 11—15 km/s, mis raketile väljasaatmisel tuleb anda, umbes  $\frac{1}{3}$  «tasuta», Maa ööpäevase pöörlemise kiiruse arvel. See laiendab tunduvalt kosmonautika võimalusi ja muudab peaaegu iga kosmoselennu päikesesüsteemi piires isegi praeguse kosmosetehnika taseme juures täiesti teostatavaks.

Kuidas on lugu aga lennunduses? Esimesel pilgul võib paista, et lennukile ei peaks ööpäeva pikkus mitte mingil määral mõju avaldama. Lendava lennuki kaal ei peaks ju olenema Maa pöörlemiskiirusest. Ainult vahest niipalju, et poleks vaja enam lennata ülehelikiirusega, selleks et Päike loojuks läänes... Ent nagu kerge näha, liitub läänest itta lendava lennuki kiirus Maa pöörlemiskiirusega. Tulemusena väheneb mingi TU-104 taolise lennuki kaal ekvaatori lähedal rohkem kui  $\frac{1}{3}$  võrra, võrreldes tema kaaluga pooluse ligidal. Järelikult võib lennuk sellisele lennule kaasa võtta kolmandiku võrra suurema kasuliku koormuse — tiibade tõstejõud jääb ju endiseks.

Kas pole imepärane, lausa ootamatu seos ööpäeva kestuse ja... lennuki kasuliku koormuse vahel? Või seos

<sup>1</sup> Esimene inimene, USA astronaut Neil Armstrong astus Kuu pinnale 21. juulil 1969. a. kell 5.56. — *Toim.*

mingi masina kasuteguriga? Või lõpuks rekordilise kõrgushüppega?

Ent seni pole me rääkinud kõigest ööpäeva saladustest. Näiteks veel üks ootamatus. Mäletate, selleks et lühendada ööpäeva 10 korda, tuli meil maakera «üles keerata» — ekvaatoril olevate punktide kiirus ulatus kuni 4,65 km/s. See on aga juba peaaegu kosmiline kiirus! Esimene kosmiline kiirus on ju 8 km/s — kõik sellise kiiruse saanud kehad võivad muutuda Maa kaaslasteks.

Huvitav, et niisuguse ekvatoriaalse kiiruse saavutamiseks, nagu on meie teistsuguste konstantide maailmas, pole üldiselt isegi fantaasiamaailma vaja rännata. Tuleb välja, et päikesesüsteemis on planeet, mille ekvatoriaalne kiirus on isegi suurem kui kümnekordselt lühenenud ööpäevaga hüpoteetilisel Maal — see on hiiglane Jupiter; ööpäev kestab Jupiteril kõigest 9 tundi 50 minutit (täpsemalt, selle aja jooksul sooritavad täistiiru Jupiteri telje ümber ekvaatorilähedased punktid; keskmistel laiustel on «ööpäev» veidi pikem ja kestab ligi 10 tundi).<sup>1</sup> See gigantne «vurr» pöörleb ligi kaks ja pool korda kiiremini kui maakera. Jupiteri diameeter on 142 113 km ja kerge on välja arvatada, et ekvaatoril asuvate punktide ringikiirus ulatub seal kuni 12,5 km/s. Et aga raskusjõud massiivsel Jupiteril, mille mass on 318,4 korda suurem Maa massist, on samuti suurem kui Maal (2,6 korda), siis on ka esimene kosmiline kiirus Jupiteril suurem — mitte enam 8 km/s, vaid umbes 43 km/s.

Muuseas, kiirus Jupiteri ekvaatoril pole sugugi rekordiline. Tähtede puhul, eriti nn. valgete kääbuste korral on see tunduvalt suurem. Nõukogude astronoom G. Šain tegi kindlaks, et mõnedel tähtedel ulatub ekvaatori punktide kiirus kuni 300 km/s.

Omal ajal, veel enne Tsiolkovski geniaalseid avastusi, mille tulemusena kosmonautika aluseks sai rakett, vaadeldi muude kosmilise kiiruse saavutamise viiside kõrval ka võimalust kasutada tsentrifuugi — omapärast hiiglaingu, millest kosmoselaev pidi «välja tulistatama». Eks

<sup>1</sup> Muide, Ameerika Ühendriikide astronoomid tegid kindlaks, et 1961. a. lühenes Jupiteri ööpäev ootamatult 1,3 sekundi võrra. Niisugune järsk muutus selgus nii Jupiteri raadiokiirguse kui ka kuulsa «punase laigu» põhjal tema atmosfääris. Sellise muutuse põhjused on praegu saladuseks jäänud. Nagu näha, pole «iseloomu» püsivus ainuüksi Maa omapäraks.

ole, meie «üleskeeratud» Maa meenutab millegi poolest niisugust lingu? Tõsi, praegu on tema pöörlemiskiirus ikka veel liiga väike, selleks et kosmoselende sooritada, kuid ööpäeva võib ju veelgi lühendada, siis langeb ära vajadus rakettide järele. (Kes meid piirab just kümnekordse lühendamisega? Meie käes on kõik võimalik!)

Kui pika ööpäeva korral saab ekvaatori punktide kiirus täpselt võrdseks esimese kosmilise kiirusega? Tõesti huvitav ja seejuures mitte raske küsimus. Et maapinna lähedal on esimene kosmiline kiirus umbes 7,9 km/s, siis vastab sellele ööpäev, mis on praegusest 17 korda lühem.<sup>1</sup>

Tähendab, kui ööpäev ei lüheneks mitte 10 korda, nagu vaadeldaval juhul, vaid 17 korda, s. t. ööpäev kestaks 1 tund 24 minutit ja 36 sekundit<sup>2</sup>, siis kõik ekvaatoril olevad kehad kaotaksid kaalu! Tegelikult saaksid neist Maa tehiskaaslased.

Tõenäoliselt mäletavad kõik nõukogude kosmovisiooni unikaalseid kaadreid — kosmonaudid demonstreerisid miljonitele televiisorivaatajatele «trikke» kaalutus olekus, Aleksei Leonov «jalutas» kosmoses kõige ebatavalisemates asendites. Kui ööpäev lüheneb 1 tunni 24 minutini, siis pole selliste trikkide sooritamiseks vaja kosmosse minna: ekvaatoril käest pillatud pliiats ei kuku maha — ta jääb õhku ujuma nagu Valentina Tereškova või Valeri Bõkovskil «Vostoki» kabiinis! Ja täpselt samuti, nagu tegi kosmoses Leonov, võime meiega rippuda õhus, jalad ülespidi. Uhesõnaga, Maa peal on kosmos.

Kui aga see kaalutus ise, nii ebatavaline ja lõbus, on kosmoses seotud üsnagi suurte ebameeldivustega, eriti pikaajalise planeetidevahelise lennu korral, siis Maal oleks ta veel sada korda ebameeldivam. Tavaline elu osu-

<sup>1</sup> Lihtne arvestus. Vajalik kiirus 7,9 km/s on suurem tegelikust kiirusest ekvaatoril (mis, nagu eespool märgitud, on 45 m/s)  $\frac{7900}{465} \approx 17$  korda. Sama arvu oleks võinud leida ka ringkiiruse valemist. Nagu teada, on Maa ekvaatori pikkus 40 000 km. Järelikult selleks, et ekvaatori punktide kiirus oleks 7,9 km/s, peab maakera sooritama ühe pöörde  $\frac{40\,000}{7,9} \approx 5060$  sekundi jooksul või siis tegema  $\frac{243\,600}{5060} \approx 48$  pööret praeguse ööpäeva (s. t. 24 tunni) vältel.

<sup>2</sup> Sest  $\frac{24}{17} \approx 1,41$  tundi ehk 1 tund 24 minutit 36 sekundit.

tuks ekvaatori lähedal võimatuks; veel kiirema pöörlemise korral muutuks see võimatuks ka ekvaatorist kaugemal asuvates piirkondades.

Otsustage ise. Muidugi on meeldiv mitte tajuda oma kaalu, muutuda jõumeheks, kes jaksab ühe käega tõsta igasugust koormat, kas või inimestest tungil trollibussi, või kerge vaevaga üle mitmekorruselise maja hüpata. Aga kas oleks tore üles hüpata, katuse kohale jõuda ja ... abilt paigal rippuda, ilma et leiduks võimalust taas maapinnale laskuda? Just selliseks aga kujunekski olukord.

Kõige nõrgemastki tõukest lendaksime õhku, lahkusime alatiseks Maalt, sest missugune teine jõud peale kadunud kaalu tooks meid siia tagasi? Väljaspool kosmoselaeva jalutada riskivad kosmonaudid peavad end kohustuslikus korras, nagu tegi seda Leonov, kaitsetrossiga laeva külge siduma; tross ei lase neil igaveseks maailma-ruumi lõpututesse avarustesse kaduda. Ent ei saa end ju Maal käies laternapostide külge siduda! Tõsi, kosmonautidel on ka teine kaitseviis — nad võivad varustada end spetsiaalsete kergete reaktiivmootoritega, nagu näiteks suruõhupüstolitega, ja kasutada neid kosmoselaevale tagasipöördumiseks, kui nad juhuslikult on sellest eemaldunud. Muidugi võivad sellised «püstolid» aidata meidki kiiresti pöörleval Maal, aga vaevalt see küll eriti mugav oleks.

Mida aga öelda koerte ja teiste maapealsete olendite kohta, kes ei oska rääkida? Tõenäoliselt poleks just eriti kerge õpetada neid päästvaid reaktiivpüstoleid kasutama ...

Iga märkamatu tõuge või tuulehoog võiks õhku tõsta mootorrattad ja autod, trolli- ja autobussid, rääkimata juba kergekaalulistest jalgratastest. Praktiliselt kõik, mis maapinnal liigub, asuks ümber õhku. Maale tagasi pöörduda poleks sugugi lihtne (kust siis tuge leida?) ja taeva-alune kihaks «vangidest», kes sipleksid õhus ülikummalistes ja ootamatutes asendites. Muide, ka Maa peal oleks rõõmu vähevõitu: kaalu puudumisel poleks hõõrdumist, ilma selleta osutuks aga võimatuks igasugune normaalne liikumine. Maa muutuks ülimalt ideaalseks liuväljaks, ei, millekski veel hullemaks, sest liuväljal saab vähemalt uisutadaagi ...

Aga mitte ainult see. Teatavasti ei käitu vedelikud kaalutus olekus sugugi nii nagu tavaliselt. Näiteks valada pool voi terve klaas vett ei õnnestu mitte mingil moel —

vesi kas omandab hetkeliselt kera kuju või valgub mööda klaasi seinu laiali: kaalu puudumisel mõjuvad vedelikute<sup>kan</sup> ainuüksi molekulidevahelised tõmbejõud või pindpinevus<sup>hanib</sup> jõud. Vett teekannus keema ajada enam ei saa — ülemised<sup>kaalu</sup> kihid jäävad külmaks.

Mis juhtuks aga veega loendamatutes basseinides, tiikides, järvedes ja jõgedes ekvaatori piirkonnas, kui ööpäev nii lühikeseks muutuks? Mis juhtuks merede ja ookeanidega?

Mitte midagi head. Mitmesuguste mõõtmetega veekerad ja -kerakesed tõuseksid õhku ning hakkaksid seal erinevates suundades liikuma. Üsna pea jääksid kõik veekogud kuivaks, taeva alla asunud vee asemele aga hakkaks saabuma vesi teistest, eelmistega ühendatud, kuid kõrgematel laiustel paiknevatest veekogudest. Järk-järgult «puhutakse» kogu niiskus maakeralt ekvatoriaalvööndi kaudu õhku. Mered ja ookeanid muutuksid soisteks või liivasteks madalikeks. Sinise taeva asemel keerleksid nende kohal loendamatud veekuulid — kõikjal ainult vesi... Veetilka-dest läbiimbunud õhus on võimatu hingata. Elu Maal, mille pinnani ei tungi enam Päikese elustavad kiired, on tõenäoliselt hääbuma määratud.

Muide, elu ei osutuks võimatuks mitte ainult mainitud põhjustel, vaid ka paljude teiste, sugugi mitte vähem tähtsate asjaolude tõttu. Näiteks kas või see, et kaalu puudumise tõttu ei saaks inimesed, loomad ja taimed ilmselt normaalselt hingata, vaid lämbuksid iseenese mürgistes eritistes. Või see, et tõenäoliselt ei õnnestuks süüdata ühtki lõket, ühtki ahju.

Kui Maa ööpäevase pöörlemise kiirus veel üsna veidi kasvab, muutub ta loomulikult hiiglalinguks, mis paiskab kõik kehad oma pinnalt igas suunas laiali. Maale sigineb loendamatu hulk kõikvõimaliku suuruse ja kujuga tehiskaaslasti, mis liiguvad erinevatel orbiitidel ekvaatori tasandiga lähedastes tasandites, sest just neil laiustel asuksid Maal kõik esemed ja kehad, need praegused tehiskaaslasted. Ja mis kõige halvem — samast saatusest ei pääseks ka Maa atmosfäär: enamiku õhumolekulide kiirus saavutab ekvaatori lähedal teise kosmilise kiiruse ja Maa kaotab kiiresti oma õhkkonna.

Tegelikult kõik need sünged perspektiivid Maad muidugi ei ähvarda. Looduses pole mingeid põhjusi nii tugevaks ööpäeva lühenemiseks — see on lihtsalt võimatu.

Võib muidugi oletada, et mingil fantastilisel viisil õnnestub Maa ööpäevase pöörlemise kiirust sedavõrd suurendada, et ööpäev lüheneb 17 korda.<sup>1</sup> Kuid tuleb välja, et selline kiire pöörlemine tekitab Maa sisemuses hiiglaslikke pingeid, mis lõpuks maakera osadeks rebivad, tükkideks lõhuvad. Kas mitte just sel kombel ei hävinud Phaeton, päikesesüsteemi kümnes, kadunud planeet? Arvavad ju teadlased, et isegi praegused tühised ööpäeva pikkuse kõikumised Maal võivad osutada üheks tähtsamaks põhjuseks, mis kutsub esile selliseid hiiglakataklüsme nagu maavärisemised või vulkaanipursked.

Ei, olgu pealegi, parem jäägu meie tavaline ööpäev muutumatuks. Lõppude lõpuks on ju nii hea, et ööpäeva pikkus jääb konstantseks... Paistab, et jõudsimegi selles juba veenduda.

---

<sup>1</sup> Üldiselt annavad raketid printsipiaalse võimaluse maakera selliselt «üles keerata». Tervet hulka eritingimusi silmas pidades on niisugune asi neile täiesti jõukohane. Ent isegi see ainuke teoreetiline võimalus on praktiliselt teostamatu. Ja mille nimel sinnapoole püüdaki?

## TEINE NOVELL

### ORBITAALKARUSSELL

*Drakooniline aasta. Kaheaastaselt... ülikooli. Maa orbiit on paigast ära nihkunud. Uus, ovaalne kuu. Jäätunud Maa. Esimese klassi õpilased kaheksakümnendal aastakümnel. Päikese tulises embuses. Aastapikkune ööpäev ja poolteisetunnine aasta. Kas gravitatsioonilained on olemas?*

Head uut aastat, palju õnne!

Kõikjal Maa peal tervitavad inimesed üksteist uue aasta künnisel. Mitte igal ajal, mitte igal pool ja mitte kõik rahvad ei ole pühitsenud uut aastat nii nagu meie praegu, s. t. 1. jaanuaril. Võib näiteks kurta selle üle, et uue aasta alguseks pole just kõige sobivam aeg valitud — südatalv. Tunduvalt loogilisem oleks olnud uue aasta algus kokku viia looduse kevadise õitsemisega, mitte aga vinguvate talvetuiskudega. Talitasid ju nii ka roomlased enne seda, kui nad umbes 2700 aastat tagasi viisid uue aasta 1. märtsilt üle 1. jaanuarile, ja isegi praegu langeb uus aasta kuskil Birmas või Araabia Idas märtsile, aprillile või maile. Aga kuidas asi ka poleks, uus aasta tuleb ikkagi niisama paratamatult nagu päikesetõus.

Tõsi, teaduses kasutatakse erinevaid aasta mõisteid, iga aasta on isesuguse pikkusega, näiteks nagu täheaasta, kalendriaasta, troopiline aasta, kuuaasta ja isegi... drakooniline aasta, mis on hirmuäratav muide ainult oma nime poolest. Nende mõistete aluseks on erineva iseloomuga astronoomilised nähtused. Kuid kestuselt on kõik «aastad» üsna lähedased, mis näitab nende ilmtingimatut «sugulust»; tegelikult on nad

kõik seotud ühe ja sama põhilise astronoomilise nähtusega.<sup>1</sup>

Mis aga kõige olulisem — iga aasta pikkus jääb alati ühesuguseks, muutumatuks. Kui meil on tegemist näiteks täheaastaga, siis kestab see 365,2564 ööpäeva, kui troopilise aastaga, siis selle kestus on 365,2422 ööpäeva. Ja kui meie tavaline kalendriaasta on kord nelja aasta kohta ööpäeva võrra pikem, siis ainult sellepärast, et ta pikkus on tegelikult 365,2425 ööpäeva, kuid kalendriaasta on teatavasti täpselt 365 ööpäeva. Nende «liigsete» kümnendike ja sajandike tõttu tekib nelja aasta kohta üks «liigne» ööpäev. Tekib toosama kuulus lisapäev — 29. veebruar, mis tõttu gallia mungal Cassianus'el (sündis 435. a.) oli sünnipäev ainult kord nelja aasta kohta, igal lisapäeva-aastal. Seda lisapäeva nimetatakse Cassianus'e päevaks.

Kui aga aasta pikkus on nii imepäraselt konstantne, siis võib seda ajavahemikku niisama seaduspäraseks füüsikakonstandiks lugeda kui meile juba tuttavat ööpäeva. Mis siis imestada, et aasta pikkust täie õigusega astronoomilise aja arvestamisel kasutatakse. Aasta pole millegi poolest halvem ajaühik kui ööpäev või tund, hoopis vastupidi — astronoomid arvavad, et isegi parem.<sup>2</sup>

Mis juhtub, kui selle konstandi väärtus muutub? Kas oleks tema muutumine niisama ohtlike tagajärgedega kui ööpäeva muutuminegi? Mille poolest erineks meie maailmast maailm, kus aastaks nimetatava konstandi väärtus on teistsugune?

Esimesel pilgul paistab, et midagi tõsist ei juhtu. Mui-

<sup>1</sup> Ainsaks erandiks võib lugeda galaktilist aastat, mis on seotud päikesesüsteemi liikumisega umbes 3200 valgusaasta kaugusel asuva Galaktika tuuma ümber. Päikesesüsteemi kiirus sel teekonnal on ligi 230 km/s. Galaktilise aasta pikkus on peaaegu 300 miljonit aastat, elu maakeral on eksisteerinud kõigest mõned niisugused «aastad»! Tõsi küll, füüsikud räägivad vahetevahel tuuma-aastast — ajast, mille jooksul tuumaosake ehk nukleon teeb oma orbiidil täistiiru ümber aatomituuma masskeskme: see ajavahemik on ligi  $10^{-23}$  sekundit. Milline diapsoon!

<sup>2</sup> Tõepoolest, kui varem, alates 1725. aastast, määrati ajaühik sekund kui  $\frac{1}{86400}$  ööpäevast, siis hiljem, kuni viimase ajani, oli kokku lepitud sekundiks lugeda kindlat osa ühest kindla pikkusega aastast: nimelt  $\frac{1}{31556925,9747}$  aastast 1900. Alles 1964. a. oktoobris võttis Pariisi konverents vastu otsuse standardse ajaühiku asendamiseks uuega, mitte enam astronoomilise, vaid füüsikalise ühikuga. Nüüd on sekundiks aeg, mis kulub tsesiumi aatomi elektronkattel 9 192 631 770 võnke sooritamiseks. Võrdluseks võib märkida, et tavalise käekella balanssiir teeb sekundis ainult viis võnget.

dugi, uus maailm erineb millegi poolest praegusest, aga vaevalt küll eriti palju. Muide, uurigem seda küsimust lähemalt.

Oletame kõigepealt, et aasta pikkus Maal kasvas 10 korda, s. t. aasta muutus pikaks-pikaks. Tähendab, laps läheb esimesse klassi enne aastaseks saamist, aga lõpetab selle umbes kahe aastasel! Isegi raugad jõuaksid vaevalt kümnenda eluaastani...

Noh, sellise asjaga võib veel harjuda, lõpuks on see ju kokkuleppe küsimus. Aastas ei ole mitte 12, vaid 120 kuud, ja neid tuleks tõenäoliselt nimetada juuli 7, s. t. käesoleva aasta seitsmes juulikuu, või jaanuar 10, aga muidu läheb kõik sassi.

Kuidas jääb aga koolivaheaegade ja eksamitega? Võib-olla on vaheajad sama tihti nagu praegu, aga eksamid — kord pika aasta kohta? Küllap leiduks sellisel soodsal korraldusel ohtrasti poolehoidjaid... Võib aga ka ümberpöörduvalt — vaheaeg ainult kord aastas. Siis saaks ainult kord kogu kooliaja jooksul vaheaega pidada... Kuid lihtsam on jätta kõik nagu seni; aastat ei pruugi üldse arvestada, kui ta on pikk ja ebamugav! Võib tõenäoliselt ka kokku leppida, et õppeaasta algaks ja lõpeks nagu alati (ühe kalendriaasta kohta tuleks siis 10 õppeaastat!) ja uus aasta algaks endiselt iga kord ööl vastu 1. jaanuari (ainult kuidas teda siis nimetada, kui ta pole enam uus aasta?). Lõpuks on need kõik suhteliselt väikesed mured. Kas sellega lugu aga piirdubki?

Kahjuks ei. Kui põhjalikumalt järele mõelda, tuleb välja, et aasta pikenedamine osutub tunduvalt ebameeldivamaks. Mida siis aasta endast õigupoolest kujutab?

Nagu teada, on aastaegade vaheldumine seotud Maa tiirlemisega ümber Päikese. Ühe aasta<sup>1</sup> jooksul jõuab Maa sellel kosmosekarussellil läbida hiiglasliku elliptilise tee ja lähtepunkti tagasi pöörduda. Teepikkus on umbes 940 miljonit kilomeetrit ja ehkki aasta on pikk aeg, peab Maa kiirustama — ta kihutab oma nähtamatul jooksurajal kiirusega umbes 30 km/s.

Mis juhtub Maa astronoomilise jooksuga, kui aasta pikeneb 10 korda?

Võib-olla väheneb Maa kiirus orbiidil ainult 30-lt kolmele kilomeetrile sekundis, ja kõik? Siis Maa elanikud

<sup>1</sup> See aasta võrdub 365 ööpäeva 5 tunni 48 minuti 46 sekundiga.

seda lihtsalt ei märkagi, sest isegi praegu pole meil aimu sellest, et kihutame koos maakeraga 100 000 kilomeetrit tunnis. Noh, teeme 10 000 km/h, ja mis sellest siis on?<sup>1</sup>

Ei, nii see ei ole. Seda takistavad taevakehade liikumist juhtivad taevamehaanika seadused. Maa ei saa liikuda oma orbiidil Päikese ümber suvalise kiirusega. Praegusele orbiidile vastab ainult üks võimalik kiirus, nimelt praegune orbitaalkiirus 30 km/s. Orbiidil liikuda ei ole sama mis liikuda maanteel või raudteel, s. t. seal, kus võib omandada ükskõik millise kiiruse. Kosmoses pruugib kiirusel vaid õige-õige veidi muutuda, kui vanad «rööpad» juba ei kõlba ja läheb vaja uusi. Seal on igal trassil oma kiirus.

Kuhu nihkub Maa orbiit, kui orbitaalkiirus väheneb 10 korda?

Kus kulgeb maakera uus liikumistee kosmoses?

Tuletage meelde, kuidas liiguvad Maa tehiskaaslased, need inimese loodud taevakehad. Sellest ajast peale, kui ajaloolisel päeval, 4. okt. 1957 lendas taevasse esimene Nõukogude tehiskaaslane, muutus kaaslaste lennutamine tavaliseks, igapäevaseks asjaks. Täna on kosmoses viibinud juba sajad erinevad tehiskaaslased ja praegugi lendab neid palju erinevatel orbiitidel ümber maakera. Iga koolijüts arutleb meie kosmoseajastul aplombi ja täieliku asjatundmisega kaaslaste orbiitide apogeede ja perigeede, nende tiirlemisperioodide ja teiste astronoomiliste detailide üle. Kõik teavad praegu, et tühine, kuid ikkagi eksisteeriv hõreda õhu takistus suurtel kõrgustel toob kaaslase järkjärgult madalamale.

Sedamööda, kuidas väheneb perigee, peaasjalikult aga apogee kõrgus, lüheneb ka kaaslase tiirlemisperiood. Kui kaaslase kaitsmiseks kuumenemise eest ei võeta kasutusele spetsiaalseid abinõusid, siis ootab teda paratamatu hukumine kuumas õhus, ootab sama saatus mis langevat

<sup>1</sup> Siin ei vaadelda küsimust sellest, missuguse aja jooksul, s. t. kui ruttu toimub kiiruse muutus. Kui kiirus muutub hetkeliselt, hüppega, siis kõik maakeral leiduv pühitakse minema, nagu oleks ta kahurist välja tulistatud kiirusega  $30-3=27$  km/s. Sellest kiirusest piisab täiesti, et me suunduksime pikale kosmosereisile. Sama juhtub muidugi ka Maa ööpäevase kiiruse järsul muutumisel (kas mäletate Wellsi juttu inimesest, kes oskas imesid teha?), ainult sel juhul on kiirus veidi väiksem ja seepärast ei lenda me kosmosesse, vaid liigume nagu kaugelaskerahurist lennutatud mürsk. Nõrk lohotus!... Muide, maakera isegi kannataks vaevalt selle löögi välja — ta puruneks tükkideks.

tähte — meteoori. Ja mida ligemale Maale, seda kiiremini tormab kaaslane, nagu kihutaks ta eneseohverdamise paika. (Muide, kas pole paradoksaalne — mida tugevamat pidurdavat mõju avaldab õhk, seda kiiremini liigub kaaslane? Kuid just niisugune on Maa külgetõmbe omapära.) Üha vähem ja vähem aega kulub kaaslasel üheks tiiruks ümber Maa, tiirlemisperiood lüheneb vältimatult. Gagarin ja tema «kosmosevennad» tegid tiiru ümber Maa vähem kui poolteise tunniga, aga Kuu, see meie planeedi kauane looduslik kaaslane, teeb ühe tiiru ligi kuu ajaga.

Vaat mis tähendab kaugus!

Kõik öeldu kehtib täie õigusega ka Päikese ümber tiirlevate planeetide kohta. Meie valgusallikale lähim planeet on ka kõige kiirem. Pole midagi veidrat, et ta nimetati Merkuuriks jumalate müütilise kiirejalgsse käskjala auks. Merkuur teeb täistiiru ümber Päikese 88 päevaga. Veenus on juba aeglasem, sest ta asub Päikesest ligi kaks korda kaugemal<sup>1</sup> — tema tiirlemisperiood on 225 päeva. Näete, mis välja tuleb — kaugus kasvas vähem kui kaks korda, tiirlemisperiood aga suurenes üle 2,5 korra. Tähendab, tiirlemisperiood kasvab kiiremini kui kaugus.

Tõepoolest, Maa tiirlemisperiood on 365 päeva ja kaugus Päikesest ligikaudu 150 miljonit kilomeetrit; Veenusega võrreldes on kaugus kasvanud 40% võrra, tiirlemisperiood aga suurenenud üle 60%. Päikesest kõige kaugema planeedi Pluuto puhul on olukord järgmine: kaugus temani on umbes 5,9 miljardit kilomeetrit, tiirlemisperiood aga ligi 248 aastat; võrreldes Maaga on vahemaa umbes 40 korda suurem. Niisugused on taevamehaanika seadused.<sup>2</sup>

Niisiis, Merkuuri aasta on lühem Maa aastast umbes 4 korda, Pluuto aasta on aga 248 korda pikem kui Maa aasta. Kus kulgeb siis Maa orbiit, kui Maa aasta pikeneb 10 korda?

Seda on kerge välja arvutada. Maa asub umbes 4,6

<sup>1</sup> Merkuuri keskmine kaugus Päikesest on 58 miljonit kilomeetrit, Veenusel aga 108 miljonit kilomeetrit.

<sup>2</sup> Vastavalt seadusele, mis kannab Kepleri kolmanda seaduse nime, on tiirlemisperiood  $T$  võrdeline ruutjuurega planeedi ja Päikese vahelise kauguse  $R$  kuubist, s. t.  $T = \sqrt{R^3}$  ehk  $T^2 = R^3$ .

korda Päikesest kaugemal kui praegu.<sup>1</sup> Ehkki Marss jääb endist viisi meie naabriks, asub ta juba ligemal Päikesele kui meie. Teiste sõnadega, meist järgmine planeet on Jupiter. Maa asub Jupiteri ja Marsi vahel, s. t. just seal-samas, kus, nagu arvavad paljud teadlased, asus kunagi hüpoteetiline planeet Phaeton.

Vastasseisu ajal on kaugus «ümberpaiknenud» Maa ja Jupiteri vahel minimaalne — 90 miljonit kilomeetrit. See vahemaa on ligi kaks korda suurem kui Veenuse vastasseisu ajal. Ent Jupiter on päikesesüsteemi planeetide seas hiiglane — tema läbimõõt ületab 11,5 korda Veenuse oma.<sup>2</sup> Vähe sellest, et Jupiter särab silmipimestavalt taevavõlvil, tugevamini kui näiteks 1964. a. veebruaris, mil mõlemad planeedid — Veenus ja Jupiter — olid teineteisele õhtuse Moskva taevast väga lähedal, särades kõrvuti nagu kaks hiiglaslikku kalliskivi.<sup>3</sup> Jupiter ei paista enam tähena, olgugi erakordselt heledana. Ta muutub teiseks, väikeseks Kuuks, sest Jupiteri nähtava ketta diameeter oleks ainult 6 korda väiksem Kuu omast.<sup>4</sup> Isegi palja silmaga võib näha iseloomulikke ribasid, ristvõtte ja teisi Jupiteri iseärasusi, näha, kuidas tugevasti lapiku Jupiteri pinnal liigub kuulus punane laik, mis kätkeb endas nii palju saladuslikku astronoomide jaoks.

Pole mõtet kahelda selles, et väike silmipimestav ovaalne Kuu, mis kord ilmub ja kasvab, siis jälle kahaneb ning kaob pikaks ajaks silmapiirilt, on taevale erakordseks kaunistuseks. Ent kui kaunis ka poleks Jupiter oma uues ebatavalises osas, vaevalt küll kellelgi õnnestuks tema ilu nautida. Kõige tõenäolisemalt osutuks elu Jupiteri vahe-

<sup>1</sup> Tõepoolest, et  $\left(\frac{T}{T_0}\right) = \left(\frac{R}{R_0}\right)^3$ , siis  $\left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = 10^2 = 100$  ja  $\frac{R}{R_0} = \sqrt[3]{100} = 4,6$ .

<sup>2</sup> Veenuse diameeter on 12 374 km, veidi vähem kui Maal (12 757 km), Jupiteril aga 142 113 km.

<sup>3</sup> Astronoomid nimetavad niisugust planeetide lähenemist ühenduseks.

<sup>4</sup> Tõepoolest, Jupiteri ja Kuu läbimõõtude suhe on  $\frac{142\,100}{3475} \approx 41$ , nende kauguste suhe aga —  $\frac{90\,000\,000}{384\,000} \approx 234$ , tulemusena on nähtavate ketaste diameetrite suhe  $\frac{234}{41} \approx 6$ .

tusse lähedusse sattunud Maal mitte ainult äärmiselt ebamugavaks, vaid lihtsalt võimatuks.

Kui Jupiteri mõõtmed Maa taevast nii tugevasti suurenevad, siis samasugusel määral, ainult vastassuunas, muutuvad Päikese mõõtmed, see on aga tunduvalt olulisem. Päike paistab taevavõlvil tillukese kettana, ainult veidi suuremana kui Jupiter.<sup>1</sup> Asi pole loomulikult mitte Päikese mõõtmetes, vaid soojushulgas, mida ta Maale saadab, see aga väheneb üle 20 korra!<sup>2</sup> Seetõttu muutub kliima Maal väga karmiks.

Tõepoolest, nagu näitasid uurimused, on Jupiteril, mis saab 27 korda vähem soojust kui Maa, keskmine temperatuur  $-138^{\circ}$ . Tähendab, ka 10 korda pikema aastaga Maal on keskmine temperatuur ligikaudu  $-120^{\circ}$ ! Loomulikult on elu neis tingimustes vaevalt võimalik: tavalised maapealsed organismid ei suuda niisugust ülikülma välja kannata. Aga see on ju keskmine temperatuur! Paljudes Maa piirkondades oleks külm talvel veel tunduvalt tugevam, võib-olla isegi kuni  $-200^{\circ}$ .

Osutub, et esimesel pilgul süütuna paistnud aasta pikenemine muudab elu Maal võimatuks. Kui ebaõdusaks ja süngeks muutub nii pika aastaga Maa! Kõikjal vaid jää ja lumi, ei kuskil tilkagi vett, tarduvad põhjani külmunud jõed, järved ja ookeanid. Kõik ümberringi sureb välja, hakkub — kuskil ei ühtki rohuliblet ega puud. Selle jäise hääletuse kohal, absoluutselt puhtast taevast (pilvi ju pole, nad langevad lume ning rahena maha) särab liikumatute tähtede seas külmalt ja silmipimestavalt Kuuga sarnanev Jupiter...

Pikem aasta ei kõlba. Aga lühem? Mis juhtub, kui vähendame aasta kestust 10 korda? Milliseks kujuneb elu Maal mainitud füüsikakonstandi uue väärtuse korral?

Kohe on selge, et 36 päeva pikkune aasta ajab meie igapäevase elukorralduse üsna segi. Tõenäoliselt tuleb üldse loobuda kalendrikuudest. Ja mis mõtet on kuul, kui ta on aastast ainult veidi lühem? Muidugi on hea, kui iga aasta koosneb alati 12 kuust, aga kui kuu algus langeb

---

<sup>1</sup> Ilmselt väheneb päikeseketta nähtav diameeter (täpsemalt, vaatenurk, mille all ta paistab) niisama palju, nagu suureneb kaugus Päikeseni, s. t. 4,6 korda.

<sup>2</sup> Päikeselt saabus soojushulk sõltub pöördvõrdeliselt kauguse ruudust. Antud juhul väheneb see  $4,6^2 \approx 21$  korda.

ühte, lõpp aga teise aastasse, siis millisesse aastasse käsitate seda lugeda? Ei, parem mitte jännatagi kuudega, eriti kui arvestada, et nende järele ei ole nüüd mingit vajadust.

Noh, see aga on väike viga nagu seegi, et praegu poleks meil mitte XX, vaid CC (kahesajas) sajand. Ajarvamine on ainult harjumise asi. Harjuksime sellegagi, et esimest korda minnakse esimesse klässi kaheksakümneandal eluaastal, kool lõpetatakse aga juba üsna auväärses eas — peaaegu kahesaja-aastaselt. Saaksime kuidagi hakkama ka probleemiga, kui palju aastaid kulub ühest eksamist teiseni või mitu aastat kestab koolivaheaeg.

Halvem oleks lugu aastaagadega. Tõepoolest, mis suvi see on, kui ta kestab vaid . . . 9 päeva? Tõsi, sügis ja seejärel ka talv oleksid niisama kiire kuluga, kuid vaevalt see eriline lohutus on. Ainus lohutus on see, et sedavõrd kiire aastaagade vaheldumise korral ei erine nad tõenäoliselt kaugeltki nii tugevasti kui praegu. Kuid vaevalt küll rahuldab kedagi aastaagade segapuder. Jõed ei jõua külmuda, lumi ei jõua maha sadadagi: ei õnnestu korralikult ei suusatada ega päevitada. Tõeline «aastajatus»!

Peamine on aga muidugi muus. Me teame juba, et kui muutub aasta pikkus, siis nihkub ka Maa orbiit. Kui aasta pikeneb 10 korda, siis muutub Maa Jupiteri naabriks. Nüüd nihkub Maa orbiit ilmselt Päikesele lähemale. Võib-olla praegu võtab lähima naabri positsiooni sisse Merkuur?

Teades, kuidas on seotud planeedi tiirlemisperiood tema kaugusega Päikesest, on kerge leida Maa orbiidi uut asendit. Kui aasta kestab kõigest 36,5 päeva, siis paikneb Maa orbiit Päikesest umbes 32 miljoni kilomeetri kaugusel.<sup>1</sup>

Vaat mis välja tuli! Päikesele lähim planeet Merkuur asub temast 58 miljoni kilomeetri kaugusel, peaaegu kaks korda kaugemal. Tähendab, Maa asub poolel teel Päikese ja Merkuuri vahel, meie päevase valgusallika vahetus läheduses. Ükskõik mis, aga päikesesoojusest nüüd küll puudu ei peaks jääma.

Mis puudusest seal saabki juttu olla. Maa saab pea-

---

<sup>1</sup> Et  $\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 = \left(\frac{R}{R_0}\right)^2$ , tiirlemisperiood aga lühenes 10 korda, siis  $\left(\frac{R}{R_0}\right)^3 = 0,1^2 = 0,01$  ja  $\frac{R}{R_0} = \sqrt[3]{0,01} \approx 0,215$ , s. t. Päikese uus kaugus Maast moodustab 0,215 endisest ehk  $0,215 \cdot 150\,000\,000 \approx 32\,000\,000$  km.

aegu neli (täpsemalt 3,3) korda rohkem soojust kui Merkuur. Aga on ju teada, et Merkuuri Päikese-poolsel küljel tõuseb temperatuur 350—400 kraadini: seal valitseb tõeline põrgukuumus. Tähendab, Maal oleks temperatuur veel tunduvalt kõrgem — see võib ületada 1000 kraadi! Näete, milleni viib Päikese lähedus...

Kuidas ette kujutada elu Maal? Tõenäoliselt ei saa üldse midagi ette kujutada, sest nii kõrge temperatuuri puhul oleks elu vaevalt võimalik. Elada katla küttekoldes?! Vähe sellest, et hukkub kogu elu, Maa ise muutub tuldhingavaks kõrbeks: jää sulab, ookeanid, mered ja jõed muutuvad auruks. Kui Maa pinnal leidubki mingeid vedelikubasaine, siis ei ole neis enam vesi. Praegu on Maal ainult üks niisugune järv — vee asemel täidab seda sulaasfalt. Ainulaadne järv asub Trinidadil saarel Kariibi meres. Oma kohalt nihkunud hõõgukuumal Maal leidub ilmselt sulatsingi, sulaalumiiniumi ja isegi sulahõbeda järvi.

Tõsi, kuumus ei valitse sugugi kõikjal maakeral. Poo-lustel on muidugi külmem kui ekvaatoril. Mis aga peamine: Päikesele lähima planeedina Merkuuri asendanud Maa võtab Merkuurilt üle veel ühe iseärasuse, mis viimasel on tänu just oma lähedusele Päikesega: ööpäev on seal võrdne... aastaga. Tähendab, täispöörde telje ümber teeb Merkuur niisama pika ajaga, nagu tal kulub üheks tiiruks ümber Päikese.<sup>1</sup>

Nagu teada, on sama saatus tabanud ka meie Kuud. Ta pöörleb samuti aeglaselt oma telje ümber ja jõuab teha ainult ühe pöörde selle aja vältel, mille jooksul ta teeb tiiru ümber Maa. Seepärast on ööpäev Kuul võrdne ühe kuuga. Teatakse ka Kuu ööpäevase pöörlemise aeglustumise põhjust — Maa loodeline mõju, millest juba juttu tegime.

Maa külgetõmme on aastatuhandete jooksul pidurdanud Kuu liikumist, kuni viimane osutus lõpuks kogu aeg ühe küljega Maa poole pööratuks. Inimesed poleks kunagi tundma õppinud Kuu teise poole «palet», kui ei oleks olnud Nõukogude Kuu-rakettide pardalt 1959. a. ja 1965. a. edasiantud televisioonikujutisi.

Pole põhjust kahelda selles, et asudes Päikesele nii ohtlikult lähedal, tunneb Maa märgatavamalt tugevamini tema võimsat külgetõmbejõudu. Kui ookeanid oleksid

<sup>1</sup> Vt. viidet lk. 14.

alles, siis võiks jälgida ennenägematult tugevaid loodeid, kahjuks aga ookeanid ja mered, nagu teada, aurustuvad. Ent samasugused looded maismaa osas pidurdavad vältimatult Maa ööpäevast pöörlemist ja õige pea muutub ööpäev võrdseks aastaga. Tuleb välja, et lühendades aastat 10 korda, nagu kavatsesime, tähendab see samal ajal ööpäeva 36-kordset pikendamist. Üsna ootamatu tulemus!

Maa üks külg oleks, nagu Merkuurilgi pidevalt Päikese poole pööratud ja seal valitseks talumatu kuumus. Aga vastasküljel pauguks samavõrd jääne pakane: külmused nii inimese poolt välja hingatav veeaur kui ka süsihappegaas. Aga võib-olla kondenseerub isegi õhk ja muutub vedelikuks? Siis voolab kogu atmosfäär väga ruttu Maa kuumalt küljelt külmale, varjus olevale küljele, et seal vedela õhu ookeanideks muunduda.

Töenäolisem on aga muu. Atmosfäär ühtlustab veidi temperatuuri — kuuma ja külma külje temperatuuride vahe ei ole muidugi nii suur nagu Merkuuril, kus õhkkond puudub.<sup>1</sup> Kuskil piirialal oleks temperatuur eluks täiesti sobiv. Võib-olla sinna kontsentreerubki kogu maapealne elu?

See on täiesti võimalik. Tõsi, egas sealgi tingimused eriti meeldivad pole. Võtame kas või näiteks lakkamatult möllavad orkaanid, mis ei vaibu hetkekski. Ja mitte ainult need<sup>2</sup>... Ei, ilmselt muudab aasta 10-kordne lühenemine elu maakeral samuti võimatuks, igal juhul poleks see parem kui praegu. Antud juhul osutub konstandi muutumine samuti ebasoodsaks.

Kas aga aasta pikkuse nii tunduv muutumine on reaalne? Vältab ju aasta päikesesüsteemis kõige vähem Merkuuril — 88 ööpäeva. Siin on aga tegemist 36 ööpäevaga. On niisugune asi võimalik?

Looduses teatakse näiteid, kus aasta on veel tunduvalt lühem. Praegu pole suudetud näha planeete teiste

---

<sup>1</sup> Muide, viimaste raadioastronoomiliste mõõtmiste alusel, mis tehti 63 m läbimõelduga raadioteleskoobi abil Austraalias, ei lange Merkuuri varjus oleva külje temperatuur alla 16° C. Seni ei osata niisugust ootamatut nähtust seletada; võib-olla on asi selles, et varjus olev külg ei ole sugugi alati varjus, mis omakorda tuleb sellest, et Merkuuri ööpäev nähtavasti pole päris võrdne Maa aastaga.

<sup>2</sup> Võimalik, et hõõguv atmosfäär lendub lihtsalt maailmaruumi. Maa külgetõmme ei suuda enam kinni hoida kiiresti liikuvaid õhu molekule ja Maa muutub surnud Merkuuri täpseks koopiaks.

päikeste juures, kuigi nende eksisteerimine on peaaegu vaieldamatult kindlaks tehtud. On kindlaks määratud ka nende aastate pikkus. Kuid rekordiliselt lühike aasta pole avastatud mitte planeedil, vaid... tähel. Astronoomid avastasid hiljaaegu uue kaksiktähe Amburi tähtkujus. Üks tähekomponent sooritab täistiiru ümber teise (täpsemalt, ümber ühise masskeskme) kõigest... 81,5 minutiga, liikudes keskmise kiirusega 2,5 miljonit kilomeetrit tunnis. Ongi rekord — aasta, mis kestab alla 1,5 tunni.

Muuseas, huvitav on see, et kaksiktähtede maailmas kohtame nii kõige lühemat kui ka kõige pikemat aastat. Näiteks Maale lähim täht Kentauri tähtkujus — nii teda ka nimetatakse Proxima Centauri (proxima tähendab ladina keeles «lähim»), mis ei kuulu mitte kahest, vaid kolmest tähest koosnevasse süsteemi, teeb täistiiru ümber kahe teise tähe (õigemini, ümber nende kolme ühise masskeskme) 800 000 aastaga. See on alles aasta! Muuseas, mõnede komeetide «aasta» kestab isegi mitu miljonit aastat, niivõrd väljavenitatud on nende orbiidid.

Tuleb märkida, et niisugune ülilühike aasta nagu kaksiktähe komponendil Amburi tähtkujus võib teadusele erilist huvi pakkuda ja talle tõepoolest hindamatu teene osutada. Selle abil saab võib-olla lahendada üht looduse kõige varjatumat ja tähtsamat saladust. Jutt on külgetõmbe suurest mõistatusest (sellele on pühendatud viimane, üheksas novell).

Sellest ajast peale kui Isaac Newton avastas ülemaailmse külgetõmbejõu ja teatas avameelselt, et ta ei suuda selle jõu olemust seletada, püüdis teadus peaaegu kaks ja pool sajandit asjatult mainitud küsimusele vastust leida. Probleemi suutis lahendada alles meie sajandi suurim füüsik Albert Einstein, kes lõi oma kuulsa üldrelatiivsusteooria (sellest tuleb juttu üheksandas novellis).

Einsteini teooria järgi (see on kaasajal üldtunnustatud teooria) kujutab gravitatsioon (ehk külgetõmme) erilist universaalset jõudu<sup>1</sup>, mis ei sarnane teiste looduses

<sup>1</sup> Gravitatsioonijõudude olemust, eriti aga nende geomeetrilist iseloomu on hea ette kujutada järgmise näite varal. Kujutlegem, et küllalt suure tasapinnalise raami vahele on tõmmatud elastne kile. Asetame kilele metallkuulikesse, see vajutab oma raskusega kilesse lohukesse. Asetades nüüd esimesele kuulikesele küllalt lähedale teise, hakkavad mõlemad kuulikesed teineteise poole veerema, piltlikult öeldes — nad veerevad teineteise poolt tekitatud lohukestesse. Loomulikult on see ainult

eksisteerivate jõududega, näiteks elektrilise mõjuga. Gravitatsiooni olemus on seotud selle ruumi eriliste omadustega, kus asuvad suured ainemassid. Nagu nüüd räägitakse, kõverdavad niisugused massid ruumi, muudavad tema meetrikat, mille tagajärjel mingi keha liikumine inertsil mõjul lakkab olemast sirgjooneline ja ühtlane. See liikumine, näiteks nagu planeetide tiirlemine oma orbiitidel ümber Päikese, toimub küll endist viisi inertsil mõjul, kuid juba teiste seaduspärasuste alusel. Need seadused tegi esimeses lähenduses kindlaks Kepler.

Einsteini teooria on saanud mitmeid hiilgavaid katsete kinnitusi ja siiski on selles tänapäevani ohtrasti lõpuni selgitamata küsimusi, tumedaid kohti, mida ei õnnestu katsetega kontrollida. Kõik taolised ebaselged kohad köidavad teadlaste tähelepanu, sest antud juhul on juttu ju olemasolu põhialustest, tähtsamatest universumit juhtivatest seadustest.

Üks niisuguseid põhiprobleeme, mida kaasaja teaduses eriti elavalt arutatakse, on küsimus gravitatsioonilainetest. Einsteini teoriast järeldub, et kui üks massiivne keha tiirleb ümber teise, näiteks nagu Maa ümber Päikese, siis peavad nad kiirgama energiat omapäraste gravitatsioonilainete näol. Need lained erinevad täielikult kõigist teistest kiirgustest, muuhulgas on nad äärmiselt nõrgad. Arvatavasti just viimane asjaolu polegi võimaldanud senijani gravitatsioonilaineid katseliselt avastada. Aga seejuures oleks nende avastamisel tõepoolest hindamatu tea-

muld; jõud, mis mõjuvad kilele asetatud kuulikestele, on teistsuguse iseloomuga ja alluvad teistele valemitele, kuid kõige jämedamas plaanis annab see mudel siiski edasi gravitatsioonijõudude põhilist omapära — materiaalsed kehad ise kujundavad ruumi geometriat, aegruumi omadused sõltuvad masside jaotusest. Kuulikesed muudavad «ruumi», s. t. kile kõverust. Kui kilel pole ühtki kuulikest, siis on ta täiesti tasane (kõverus on null). Mida raskem on kuulike, seda sügavam lohu vajutab ta kilesse, s. t. seda suurem on kile kõverus ja seda kiiremini hakkab tema poole veerema teine kuulike (oletame, et see on massi poolest esimesest tunduvalt väiksem). Kui me tahaks teha sellise ruumi mudelit, mille omadused ei sõltu temas asuvatest materiaalistest kehadest, siis peaksime elastse kile asemel võtma mõne jäiga materjali, näit. klaasi. Oletades, et kuulikesed pole väga rasked ja seetõttu klaasi läbipaine on tühine, jäävad kaks klaasile asetatud kuulikest paigale (isegi siis, kui nad on teineteisele üsna lähedal) — vastastikune tõmbejõud, mis eelmises mudelis tulenes «ruumi» kõverdumisest, nüüd puudub. Kui väita, et füüsikaline aegruum on tasane (s. t. kõveruseta), siis tuleks olemasolevat gravitatsioonilist külgetõmmet seletada kuidagi teistmoodi. — *Toim.*

duslik tähtsus ja võib-olla ka suur osa praktikas. Näiteks on olemas teoreetilised eeltingimused gravitatsioonilainete kasutamiseks sideasjanduses: see oleks tõepoolest kõikjale tungiv, universaalne side — side mitte ainult Maal (läbi maakera, sest gravitatsioonilained ei neeldu praktiliselt aines), vaid ka teiste maailmadega, kaugete planeedisüsteemide tsivilisatsioonidega.

Võib-olla need maavälised tsivilisatsioonid saadavad meile juba ammu asjatult sõnumeid gravitatsioonilainetel, eeldades loomulikult, et tõeliselt arukad olendid ei saa jätta kasutamata niisugust ideaalset sidevahendit? Aga meie, kes me ei oska avastada gravitatsioonilaineid, isegi ei aima, et meid teiega läbivad pidevalt kaugete «kosmosekaaslaste» vastuseta jäävad kutsungid.

Nagu järeldub teooriast, oleneb gravitatsioonilainete intensiivsus otseselt tiirlemiskiirusest. Tiirlemisperioodi lühenemine peab viima kiirataivate gravitatsioonilainete intensiivsuse kasvamisele. Võib-olla Maa-aasta kümnekordne lühenemine muudab gravitatsioonilained juba sedavõrd intensiivseks, et mõõteaparatuur saab neid registreerida? Igal juhul panevad teadlased suuri lootusi hiljuti avastatud kaksiktähele, millest oli juttu juba eespool — selle tiirlemisperiood on ju lausa fantastiliselt lühike. Nagu näitavad arvutused, peaksid kaasaegsed mõõteriistad andma vastuse küsimusele gravitatsioonilainete olemasolust juhul, kui selle kiiresti tiirleva tähekesse mass pole väiksem 1% peatähe massist.

Muide, Maa ööpäevase pöörlemise kiirenemine, s. t. ööpäeva kestuse lühenemine, millest oli juttu esimeses novellis, võib samuti olla hinnatavaks abimeheks üldrelatiivsusteooria kontrollimisel. Teooria järgi ei olene külgetõmme mitte ainult keha massist, vaid ka sellest, kas keha on paigal või pöörleb oma telje ümber. Kiirel pöörlemisel peab raskusjõud märgatavalt kasvama.

Võimalik, et ööpäeva kestuse pikenemisel või vähenedes muutub raskusjõud Maal juba niivõrd palju, et seda muutumist saab katseis fikseerida. Suurepärane eksperiment, ehkki parem jäägu ta juba kujutluse tasemele meie hüpoteetilises teistsuguste konstantide maailmas.

Noh näete, juba leidsimegi mingi mõtte ülekandumiseks teistsuguste konstantide maailma. Kuigi elada on niisuguses maailmas ebamugav, võib teadus sellest paljugi kasu saada. Aga mida küll teaduse nimel ei tehta?

## KOLMAS NOVELL

### HELI SALADUSED

*Vaikuse maailm. Raadiovestlus Marsiga. Õhk muutus värviliseks. Mässumeelne tiib. Helendava «vuntsi» saladus. Heli kiiruse ründamine. «Helibarjäär» raudteel. Ulehelikiirusega lendav PO-2. Helilöök purustab maja. Absoluutse nulli poole. Kunstlik maru kunstlikus atmosfääris. Pilved Veenusel. Õhutemperatuur võrdub 30 000 kraadiga. Mesonatmosfäär.*

Vaevalt küll keegi iga päev mõtleb sellest osast, mis on meie elus teisel füüsikakonstandil — heli kiirusel.

Me tunneme hästi ja kasutame paljusid heli iseärasusi — valjust, tooni kõrgust, tämbrit. Me lausume: «Kõvemini, midagi ei ole kuulda!» või «Suurepärane bass!» Kas meil aga kunagi on tegemist sellega, kui kiiresti levib heli õhus? Levib, ja ongi hea.

Tõepoolest oivaline, et levib. Õudne oleks isegi hetkeks kujutleda sünget ning elutut maailma, kust on kadunud kõik helid. Vaikuse maailma... Kaob kogu helide, kõne, laulu, muusika varamu. Inimeste omavaheline suhtlemine muutub äärmiselt raskeks ja kesiseks, raadiot ja telefoni pole enam vaja. Elu muutub halliks, vaeseks, igavaks.

Õnneks ei tunne me häälteta elu, elu absoluutses vaikuses. Ja nii nagu me ei oska hinnata paljutki harjumuspärasest, seda, mida loeme enesestmõistetavaks ja loomulikuks, nii ei oska me vääriliselt hinnata ka sellist suurepärasest looduse andi nagu heli.

Jah, aga mis on heli kiirusel sellega tegemist? Kas pole lõpuks ükskõik, kui suur see on? Mis tähtsust sellel

on, kas heli, sõna või laul jõuab meieni pisut varem või hiljem? Me ei pane seda tõenäoliselt tähelegi.

Võib kujutleda muidugi juhust, kus heli kiiruse teadmine on tõepoolest oluline. On näiteks selge, et ilma selleta ei aja läbi ühelikiirusega lendavad lennukid, sest kuidas nad muidu teavad, et lendavad kiirusega, mis ületab heli kiiruse? Muidugi on see ainult nali, sest heli kiiruse ületamist lennul juba maha ei maga — loodus oskab sellest suurepäraselt märku anda.

Heli kiirusega ei saa läbi ka näiteks siis, kui tahetakse määrata äikesepilve kaugust. Arvatavasti paljud on korduvalt kellaga aega võtnud, kui pikk ajavahemik eraldas valgusähvatust kõuemürinast. Piisab, kui korrutada need sekundid heli kiirusega (sekundite arv tuleb lihtsalt kolmega jagada), et määrata, mitme kilomeetri taga möllab äike.

Ent lendurid, seda enam veel «ülehelikiirusega liikuvad mehed», moodustavad inimkonnast vaid vähemuse, ja ega äikestki iga päev esine, seepärast tundub üldine hoolimatus sellise füüsikakonstandi vastu, nagu seda on heli kiirus, täiesti põhjendatuna. Kuid võib-olla ainult tundub meile nii?

Olgu's peale, et mitte vigu teha, kasutagem juba traditsiooniliseks muutunud võtet ja tehkem järjekordne retk teistsuguste konstantide maailma. Praegu oleks selleks «teistsuguseks» konstandiks heli kiirus.

Niisiis, heli kiirus on 10 korda väiksemaks muutunud. Heli kiiruse tavaline väärtus õhus on umbes  $\frac{1}{3}$  km/s, täpne väärtus oleneb õhutemperatuurist. Nagu näete, on see kiirus üsna suur. Looduses, Maa peal, tavaliselt niisuguse kiirusega ei liiguta, ainult inimesel on õnnestunud seda kiirust tunduvalt ületada. Kümnekordsel vähendamisel saab heli kiirus võrdseks ligikaudu 30 m/s (täpsemalt, umbes 120 km/h).

Ikkagi veel rutem kui lendavad linnud, ehkki näiteks pääsukese lennukiirus ületab mõnikord 200 km/h, aga saagile kallale sööstval jahikullil ulatub see kuni 360 km/h. Ent miks peaks heli võistlema lindudega? Poleks nagu sugugi vaja.

Kujutlege, et istute kellegagi laua taga ja vestlete. Heli ei läbi vestlejaid eraldavat 2—3 meetrit mitte sajan-diksekundiga nagu tavaliselt, vaid sekundi kümnendikuga. Seda te aga tõenäoliselt ei märkagi.

Võtame teise näite. Kindlasti on paljud kas või kordki kuulnud, kuidas tänavale või suurele väljakule ülesseatud valjuhääldajaist hääled erineval ajal meie kõrvu kostavad. Tavaliselt kuuleme seda pühade või demonstratsioonide ajal. Lähima posti külge kinnitatud valjuhääldaja lõpetas juba tervituskõne, aga tema naaber majakatusel lausub alles viimast sõna. Peaaegu nagu mitmehäälses kooris, kus üks hääel kordab teist. Täiesti selge, et heli kiiruse kümnekordsel vähenemisel oleks hilinemine tunduvalt suurem, hiljem ei kostuks mitte enam üksikud silbid, vaid terved sõnad, isegi lause osad. Mis aga eriti halb: liituvad niihästi teineteisest kaugel olevate valjuhääldajate helid kui ka helid üsna lähedal asuvatest seadmetest. Tähendab, heli valjus ei jõua väheneda (tavaliselt on kaugel kanduvad helid tunduvalt nõrgemad). Võib isegi juhtuda, et naabervaljuhääldajatest lähtuvad helid muutuvad täiesti arusaamatuks.

Asi on muidugi halvasti, kuid sellest on kerge jagu saada, kui paigutada valjuhääldajad üksteisest kaugemale. Tunduvalt halvem oleks olukord mingis saalis või suures toas. Heli jõuab kõrvani erinevaid teid pidi — vahetult allikast ja pärast seintelt ning laest peegeldumist. Kui heli kiirus on väike, siis on hilinenud kaja küllalt tugev, selleks et kuulajaid segada. Muidugi, siingi saab raskusest jagu parandades akustikat, näiteks kattes seinad erilise heli neelava materjaliga.

Ehkki heli kiiruse vähenemine on seotud ilmselt lisaraskustega, pole need ikkagi nii suured, et pidada heli kiirust tõeliselt oluliseks füüsikakonstandiks.

Muidugi, kui heli kiirus saab veel väiksemaks ja võrdsustub näiteks teo kiirusega, siis muutub olukord põhjalikult. Isegi harilik vestlus osutub täiesti võimatuks. Ütled lause — ja oota mitu minutit, kuni kaasvestleja sind kuuleb, ja pärast veel niisama kaua, kuni tema vastus sama teed pidi tagasi jõuab. Samasugune olukord nagu raadiovestlusel Marsiga...

Kuid selgub, et heli kiiruse vähenemise ülimalt ebameeldivate tagajärgede märkamiseks pole sugugi vaja minna teo kiiruseni. Need tagajärjed osutuvad üsna tajutavaks ja tõepoolest ülimalt ebameeldivaks juba tunduvalt tagasihoidlikumal, näiteks kümnekordsel kiiruse vähenemisel. Et aru saada, milles on siis asi, tuleb meenutada mõningaid heli levimisega seotud füüsikalisi nähtusi.

Õhus tekkis heli: hakkas helisema kelluke, puhuti pasunat või kõlas laul — igal juhul ei olnud ümbritsev õhk enam rahulik. Nagu ütlevad füüsikud, tekkis seal häiritus. Võnkuvad metallseinad või häälepaelad tekitavad kiiresti vahelduvaid kohalikke rõhu tugevnemisi, mis suruvad perioodiliselt kokku endaga piirnevaid õhukihte. Kuid kokkusurutud õhk ei jää paigale, ei lokaliseeru võnkumise plaadi juurde. Vahelduvad õhu tihendused ja seliele järgnevad hõrendused moodustavadki heli. Tõsi, alati ei kuule me neid õhuvõnkumisi, selleks peab nende sagedus olema rangelt kindlas, inimkõrva poolt tajutavas vahemikus. Kui sagedus on veidi suurem või veidi väiksem, siis me võnkumisi enam ei kuule, ehkki neid endist viisi helivõnkumisteks nimetatakse.<sup>1</sup> Kes näiteks ei teaks kuuldamatutest helidest sagedusega kümned ja sajad võnked sekundis, imepärasest ultrahelist, mis tehnikas üha suuremat osa hakkab etendama? Hakatakse rakendama ka madalsageduslikku kuuldamatut heli — infraheli (sagedusega kõigest mõni võnge sekundis). Viimasel ajal on teadlaste tähelepanu köitnud uus teadusharu — helielektroonika, mis uurib ülikõrge sagedusega kuuldamatuid helivõnkumisi. Nende helide sagedus ületab miljard võnget sekundis. Siin pole enam tegemist ultra-, vaid hüperheliga, nagu seda mõnikord nimetatakse.

Heli kiirus ongi õhu väga väikeste kohalike häirituste levimise kiirus, s. t. tühiste rõhumuutuste levimise kiirus. Millise kiirusega levivad need õhus?

Pöördume jälle tagasi heliallika, näiteks võnkumise plaadi juurde ja uurime lähemalt, kuidas heli tekib. Plaat paindus ja surus naabruses oleva õhukihi kokku, rõhk selles kihis kasvas veidi. Miks? Sellepärast, et molekulid, mildest koosneb õhk, kogunesid nagu tihedamalt, nende arv ruumalaühikus kasvas. Nad lihtsalt ei jõudnud veel eest ära minna, kui võnkuv plaat ruumala vähendas. Aga praegu suurenes rõhk plaadi ligidal ja liigsed molekulid püüavad kokkusurutud ruumalast ära minna, selleks et

---

<sup>1</sup> Helivõnkumisi, mida inimene ei kuule, võivad oivaliselt kuulda teised elusorganismid. Nii näiteks kuulevad suurema sagedusega võnkumisi (ultraheli) nahkhiired, sääsed jt., madalama sagedusega võnkumisi (infraheli) aga meduusid jne. Nagu on kindlaks tehtud, kuulevad meduusid suurepäraselt infraheli, mis vees hästi edasi kandub ja tormi algusest 10—15 tundi ette teatab. Nõukogude Liidus on loodud riist, mis ennustab tormi sellele eelneva infraheli registreerimise abil.

rõhk seal võrdsustuks ümbritseva õhu rõhuga. Aga niipea kui molekulid võnkuvad plaadist veidi kaugemale jõuavad, on neid rohkem juba järgmises kihis, tähendab, nüüd kasvab ka seal rõhk. Edasi nihkub rõhu kasv veel veidi, siis veel ja veel. Õhus levib rõhuline. Millise kiirusega? Ilmselt lähedasega sellele, millega nihkuvad õhu molekulid ise, sest just nemad kannavad kasvanud rõhku edasi.

Jõudsimegi väga olulise järelduseni: heli kiirus õhus on suurusjärgult lähedane molekulide soojusliikumise keskmisele kiirusele, s. t. õhumolekulide kaootilise, korrapäratu liikumise keskmisele kiirusele. Miks see järeldus nii oluline on?

Sellepärast, et heli kiiruse vähenemine ei mõju mitte ainult helile — see oleks vaid pool häda. Ta avaldub ka kõigis teistes füüsikalistes nähtustes, mis on seotud õhu molekulide liikumisega. Mõnel juhul võib molekulide kiiruse vähenemine muuta füüsikalise nähtuse iseloomu tundmatuseni.

Kohe näeme, milliste ootamatute ja praktikas tähtsate järeldusteni see viia võib.

Meist kihutas asfaltteel mööda auto. Mis võiks olla igapäevasem ja tavalisem? Ent pruugib vaid tähelepanelikumalt jälgida, pisut sügavamalt tungida toimuvate füüsikanähtuste olemusse — ja nad lakkavad näimast nii tavalised kui ka arusaadavad.

Tõepoolest, auto liikus silmapilgu jooksul meetri-paari võrra edasi. Ent pidage: ees polnud ju tühjus, seal oli õhk, ruum lausa kihis miljarditest molekulidest. Kuhu need õhu molekulid nüüd jäid? Ei läinud nad ju autost läbi?

Endisel kohal nad loomulikult enam ei ole, seal on auto, aga sellest molekulid läbi ei tungi. Ilmselt auto tõukaski molekulid välja ruumalast, kus nad enne olid. Nüüd tormasid molekulid ruumi naaberpiirkondadesse. Auto mõjus molekulidele nagu omamoodi kolb, sundis neid teed vabaks tegema. Kas nii?

On ja ei ole ka. On, sest just auto sundis molekule paigalt nihkuma. Ei ole, sest üksnes suhteliselt tühine kogus molekule sai autoga kokkupõrkamisel temalt tegelikult «tõuke». Kõik teised — absoluutne enamik molekule — autoga «isiklikult tutvust ei teinud». Ja siiski nad andsid talle teed, sest said signaali auto liikumisest. Selleks signaaliks — eest ära! — on needsamad äärmiselt

nõrgad rõhulained, mis, nagu teame, levivad õhus heli kiirusega, olles omamoodi kuuldamatu heli.

Tõepoolest, liikuva auto tuuleklaasi vahetus läheduses tekib nõrgalt tihenened õhukiht, kus valitseb kõrgem rõhk (kas mäletate võnkuvat plaati?). Ja kohe hakkab rõhulaine heli kiirusega igas suunas levima, jõudes autost tugevasti ette. Need signaalid nagu hoiataksid ees olevaid õhukihte auto lähenemisest, sunnivad neid teed andma ja sujuvalt temast mööda libisema.

Kui õhk poleks läbipaistev, vaid värviline<sup>1</sup>, siis muutuks mööduva auto liikumine erakordselt kauniks vaatepildiks. Me näeksime oma silmaga, kuidas kaugel auto ees hakkavad õhujoad järsku laiali minema, lõhenema, moodustades läheneva auto jaoks omalaadse koridori. Näe, juba nad voolavadki autost mööda — kord sujuvalt, kord aga mitmest nurgast lahti rebenedes, ja moodustavad selgesti nähtavad keeriselised teed. Alles kaugel mööda kihutanud auto taga lähevad joad jälle kokku, keerised kustuvad ning hajuvad, õhk muutub uuesti rahulikuks ja liikumatuks.

Veel ilusam oleks lennuki liikumine niisuguses värvilises õhus. See vaatepilt peaks olema ebatavaliselt tore, sest lennukil on suured tiivad, millelt valgub kõrvale värvilise õhu loor keeriselise «pitsääristusega», peaaesjalikult aga sellepärast, et lennuki kiirus on tunduvalt suurem auto kiirusest. Kiiruse kasvuga aga muutub ka kehas mööda voolava õhu liikumise iseloom, kõik nähtused tulevad nagu teravamalt, selgemini esile. Voolamisel ilmuvad hoopis uued iseärasused, toimuvad teistsugused protsessid. Näiteks seal, kus voolamine oli sujuv ja õhujoad libisesid rahulikult ning häireteta liikuva keha kontuure mööda, muutub voolamine, nagu öeldakse, turbulentseks, keeriseliseks.

Kuid eriti üllatavalt muutub voolamise iseloom siis, kui liikuva keha kiirus läheneb heli kiirusele õhus. Aga just selliste heli kiirusele lähedaste kiirustega liiguvad kaasaegsed reaktiivlennukid — harilikud reisilennukid.

---

<sup>1</sup> Sageli rakendavad aerodünaamikat, s. t. liikuva õhu seadusi uurivad eriteadlased spetsiaalseid meetodeid õhu liikumise nähtavaks tegemiseks — lisavad õhule värvilist suitsu, peent värvilist tolmu jne. Sel kombel õnnestus avastada mitmeid ümbritseva läbipaistva õhu saladusi.

Sõjalennukid, hävitajad ja pommitajad võivad lennata heli kiirust mitu korda ületava kiirusega.

Vaatleme näiteks, kuidas liigub paljukohaline reaktiivreisilennuk, meie kuulus kaunitar TU-104. Muidugi, maa pealt me midagi mõistlikku isegi värvilise õhu korral ei näeks — lennuk lendab liiga kõrgel ja kiiresti. Võiks istuda ka mugavasse tugitooli akna alla ja jälgida mingist lennuki tiiva osast möödavoolavat õhku. Kui aga jälgida, siis juba põhjalikult: teeme suurejoonelise katse — kasutame veel teistki lennukit ja lendame esimesega paralleelkursil kord päris kõrvuti, kord kõrgemal või madalamal. Siis peaks ees avanema suurepärane pilt õhu voolamisest, kogu selle imettegev mehaanika, millest, tõsi küll, saavad aru ainult asjasse pühendatud.

Algul, kui kiirus on veel suhteliselt väike, on kõik nagu autogi puhul. Aga siis kiirus kasvab ja saavutab TU-104 tavalise väärtuse — üle 900 km/h. Ja siis märkame üht veidrat, lausa imestamisväärt asjaolu, algul ühes tiivaosas, seejärel teises. «Veidraid» piirkondi tekib üha rohkem. Me lihtsalt keeldume oma silmi uskumast, kuid fakt jääb faktiks. Kriminaalsed tiivaosad lakkavad ilmselt täitmast neile lennul pandud funktsiooni: nad lakkavad eesolevatele õhukihtidele teatamast oma lähenemisest, ei saada enam signaale heli rõhulainete näol.

Kuidas me sellisele järeldusele jõuame? Väga lihtsalt. Vaadake ise, näete, kuidas värviline juga otse tiiva vastu lendab. Me teame, et ta peaks juba kaugel eemal tiivast «tajuma» selle lähenemist, sest saab signaali helilaine näol. Kui kõik oleks nii nagu vaja, peaks juga üsna auväärses kauguses tiivast kõrvale kalduma, painduma, «valmistuma» tiivast mööda voolama. Just sel kombel käituvadki kõik «hea tahtega» õhujoad peale nende, millel on tegemist «mässuliste» tiivapinna osadega. Mis nendega siis juhtub?

Vaatleme näiteks ühte kindlat juga. Ta liigub tiivale otse vastu, ilmselt tulemata selle vältimatu kohtumise pealegi — mingit signaali eesootavast ei ole. Ja äkki, just päris tiiva juures, juhtub õhujoaga midagi arusaamatut — ta pidurdub järsult ja kaldub tugevasti kõrvale. Naaberjoakesega juhtub täpselt samuti. Näeme, kuidas mässulise tiivaosa juurest lähtub ere loor, mingi helenduv «vunts»; kõik selle «vuntsiga» kokkupõrganud joakesed vähendavad just siin kiirust ja pöörduvad kõrvale. Meie seisuko-

halt «vunts» ei liigu — ta on nagu keevitatud tiiva külge ja tormab koos temaga edasi, ainult veidi võpatades ja pisut edasi-tagasi nihkudes. Ja kõik vastukihutavad õhujoad pörkavad hooga vastu «vuntsi» — see peab olema tugev, võimas löök! Pärast lööki, mille tulemusena joa kiirus otsekohe hüppeliselt väheneb ja tema suund järsult muutub, voolab juba juba piki tiiba nii nagu kõik «normaalsed» joad.

Mis salapärane, ennenägematu «vunts» see on ja kust tekkisid tiival need «mässulised» piirkonnad, mis ei signaalseeri eesootavast rõhulainete abil?

Siin puutumegi kokku erakordselt suure osaga, mis on heli kiirusel õhu möödavoolamisel kiiresti liikuvatest kehast. Just heli kiiruses peitubki nii «vuntsi» kui ka tiiva «mässuliste» osade saladus. Tegelikuses saadavad eranditult kõik tiiva osad, sealhulgas ka need, mida «mässulisteks» nimetasime, signaale rõhulainete näol. Aga kui signaalid kõigilt teistelt tiivaosadelt jõuavad nagu tavaliselt kaugele ette ja valmistuvad õhku ette kohtumiseks tiivaga, siis on «mässuliste» tiivaosade poolt saadetud signaalide saatust teistsugune. Neil lihtsalt ei õnnestu ette liikuda ja tiivast kaugemale jõuda, nende jaoks on piiriks... «vunts».

«Vunts» on nagu kõigi ettepoole saadetud signaalide kalmistuks; siia nad kogunevad, võimetud helendavat barjääri läbima. Barjäär ise sellepärast tekibki, et kujutab endast nagu hiiglasuurt kogumit kokkupressitud nõrku rõhulaineid. Sellise «kokkupressimise» tulemusena ei teki enam mitte nõrk, vaid üsnagi tugev laine, mida nimetatakse lööklaineks. Lööklaine ei erine tavalisest lainest mitte ainult intensiivsusest, vaid ka selle poolest, et ta ei eemaldu tiivast — ta on temaga «ühendatud» ja nad liiguvad edasi koos.

Miks siis mõnes tiiva osas möödavoolamise pilt nii hämmastaval kombel muutub? Sellepärast, et neis osades muutub möödavoolava õhu kiirus võrdseks või isegi suuremaks heli kiirusest. Näe, siin ta ongi, see heli kiirus!

Selgub, et ehkki meie TU-104 lendab heli kiirusest<sup>1</sup> märksa väiksema kiirusega, siis mõned tema tiiva osad paistavad lendavat palju kiiremini, üleheliikiirusega —

<sup>1</sup> Heli kiirus õhus normaaltemperatuuril on ligikaudu 1225 km/h, TU-104 kiirus aga ei ületa 1000 km/h.

sellise kiirusega voolab neist mööda vastutulev õhk. Midagi ootamatut tiivast möödavoolava õhu kiiruse tunnustavas kasvus võrreldes lennukiirusega ei ole, sest just selles peitubki tiiva poolt loodava tõstejõu saladus.

Nüüd on selge, miks rõhulaine ei suuda «mässulistelt» tiivaosadelt ettepoole tungida: need «liiguvad» ühelikiirusega! Vastutulev ühelikiirusega kulgev voog kannab nõrku rõhulaineid, mis liiguvad õhus ainult heli kiirusega, s. t. aeglasemalt. Seepärast ei saa lennuki ees olev õhk mingeid signaale lennuki lähenemisest, ta jääb, nagu ütleavad aerodünaamika spetsialistid, häirimatuks. Ja äkki põrkab ta äie hooga vastu «vuntsi» — tiival õieli seisvat lööklainet.

Niisugune löök pole kellelegi kasuks. Taguge kõigest jõust haamriga rauatükikest — raud ja haamer soojenevad peagi tugevasti; löögi energia läks üle soojuseks. Sama juhtub ka vastuliikuva õhujoa kokkupõrkamisel lööklainega: löögi energia läheb kaduma, muundub soojuseks, ega's «vunts» ilma põhjuseta tulikuumaks osutu. Kuid energiakaotus tähendab lennuki otsetakistuse kasvu (see on takistus, mida avaldab lennukile õhk<sup>1</sup>). Tähendab, lennuk vajab võimsamat mootorit ja lennuks kulub rohkem kütust. Tuleb välja, et «vunts» pole lennuki seisukohalt sugugi odav nali.

Niiviisi hakkab lennuk ammu enne heli kiiruse saavutamist tundma helibarjääri lähenemist. Arusaadav, miks ilmused niisugune kujukas väljend nagu «helibarjäär» — heli kiirus jäi kauaks ajaks tõeliselt ületamatuks barjääriks lennunduse arengus. Helibarjääri ületamiseks vajatakse tunduvalt võimsamaid mootoreid — annavad tunda need helenduvad lööklainete «vuntsid» tiibadel.

Kui lennuk liigub heli kiirusega või isegi ületab selle, siis läbib lööklainet kogu lennukist möödavoolav õhk. Arusaadav, et see viib lennukimootori võimsuse järsu kasvuni. Kui poleks loodud reaktiivmootoreid, mis väikese kaalu juures suudavad arendada vajalikku hiiglasuurt võimsust, siis oleks helibarjäär jäänud lennunduse teostumatuks unistuseks.

Näete nüüd, mis see heli kiirus õieti on! Üldse mitte ainult ojakese vulin ja lehtede sahin, ööbiku triller ning kevadäikese kõmin, need iga poeetilise teose kohustusli-

<sup>1</sup> Lööklaine tekkimisega seotud otse- ehk frontaaltakistuse kasvu nimetatakse sageli lainetakistuseks.

kud atribuudid, ja isegi mitte ainult hoonete akustika ning ultrahelitehnika imed. Heli kiirus on niihästi kaasaegse lennuki kui ka kosmoseraketi lend.

Nüüd, kui me oleme selgema pildi saanud heli kiiruse tähtsusest, võime lõpuks vastata ammu-ammu püstitatud küsimusele: millist mõju avaldab heli kiiruse kümnekordne vähenemine?

Eks ole, ilmselt on hoolimatus tolle füüsikakonstandi suhtes vaid arusaamatus. Kui meile tuttavad ebameeldivused heli kiirustele lähedaste kiirustega liikumisel algavad reaalses maailmas kiirustel suurusjärgus 200... 250 m/s, s. t. 750... 900 km/h, siis teistsuguste konstantide maailmas, kus heli kiirus on erinev, tuleb kõik teisiti välja. Kui heli kiirus osutub võrdseks 30...35 m/s, siis tähendab see, et vastavalt nihkub ka helibarjäär. Sellega seotud ebameeldivused algavad juba kiirustel 20... 25 m/s. Kujutlege vaid, see on kõigest 70... 90 km/h, s. t. kiirus, mille on ammu ületanud nii autod kui ka rongid! Täheleb, meie uues maailmas laskub helibarjäär taevast maa peale (muide, taevasse jääb ta muidugi alles). Sellel võivad loomulikult olla ohtlikud tagajärjed.

Tõepoolest, et heli kiirusega lähedase kiirusega liikumine nõuab mootori võimsuse mitmekordset suurendamist, siis ilmselt osutub niisugune liikumine kaasaegsete mootorite abil võimatuks. Maailm muutub jälle tunduvalt «aeglasemaks», nii nagu ta oli näiteks pool sajandit tagasi. Enam ei õnnestu Moskvast Leningradi kihutada kiirusega 160 km/h, nagu seda teevad kaasaegsed ekspresid mainitud liinil. Kogu maapealse transpordi maksimaalseks võimalikuks kiiruseks kujuneks ilmselt heli kiirusele lähedane kiirus, s. t. 100 km/h. Praegused autode ja mootorrataste kiirusrekordid tunduksid lihtsalt müütilistena<sup>1</sup>, kui ainult koos helibarjääriga ei lasku maa peale ka kaasaegsed lennukite turboreaktiivmootorid. (Muide, rekordi püstitanud «Sinisel leegil» olidki just seda tüüpi mootorid.) Võib ette kujutada, kui võrd rabavalt muutub seejuures maapealse transpordi välimus!

Teistsugune oleks meie teistsuguste konstantide maailmas ka lennuasjandus. Isegi Suure Isamaasõja aastate

---

<sup>1</sup> 1970. a. oktoobris saavutas võidusõitja G. Gabelich Bonneville'is (USA) oma raketitautol «Sinine leek» absoluutse kiirusrekordi maismaal — 1001,677 km/h. «Sinise leegi» mootorite võimsus küündis 58 000 hobujõuni!

kangelaslik PO-2 muutub siis ülehelikiirusega liikuvaks lennukiks! Oletame, et ei muutu, vaid muutuks, kui ta võiks lennata endise kiirusega. Kuid kahjuks tuleb ta sel juhul reaktiivlennukiks muuta — ja mis PO-2-st siis järele jääb?

Paljudgi muutub lennunduses teistsuguseks, kui heli kiirus osutub 10 korda väiksemaks. Ja kaugeltki mitte viimases järjekorras ei tule sellega seoses mainida nn. helilööki.

Meie ülehelikiirusega toimuvate lendude ajastul jääb järjest vähemaks neid inimesi, kes imestavad selgest taevast tuleva kõuekärgatuse üle — kõik teavad, et üle pea lendas ülehelikiirusega liikuv lennuk, kuigi teda ennast seejuures ei nähtud. Tõepoolest, kui lennuk liigub ülehelikiirusega suhteliselt madalal (muuseas, paar kilomeetrit on juba küllalt väike kõrgus), siis ulatub võimas lööklaine (kas mäletate maagilist «vuntsi» TU-104 tiival?) lennuki juurest kuni maapinnani. Aga me teame, et rõhk lööklaines võib olla tunduvalt suurem kui ümbritsevas õhus. Pole midagi imestada, et niisugune lennuki kiirusega tormav laine mõjub maal kõigele, mis teel ette jääb. On selleks takistuseks näiteks inimkõrv, siis mõjub ta trumminahale nagu tugev kõuekärgatus või lähedane kahuripauk (hea veel, kui asi sellega piirdub). On aga juhtunud, et taolisest helilöögist lendasid aknaklaasid välja ja varisesid kaardimajakestena kokku terved hooned. Heli oskab ka kohutav olla!<sup>1</sup>

Helilöögi probleem on üks kaasaja kõige keerukamaid probleeme seoses reisilennunduse üleminekuga ülehelikiirusega lendavatele lennukitele. Just helilöögi tõttu on heli kiirust ületav lend võimalik linnade ja suuremate asustatud punktide kohal vaid 15 või 20 km kõrgusel. Sellele kõrgusele tuleb tõusta helist väiksema kiirusega, see aga pole sugugi kasulik.

---

<sup>1</sup> Purustav lööklaine kaasneb iga plahvatuslega. Huvitav, et kindlates tingimustes võib lööklainet õhus ka palja silmaga jälgida. Näiteks Inglismaal nägi kõrgendikul seisev inimene äkki pikka kitsast varju, mis tema poole tormas. Kui vari temani jõudis, tundis inimene tugevat tõuget ja kuulis plahvatus müürinat. Selgus, et mõne kilomeetri kaugusel oli püssirohuladu õhku lennanud. Õhk oli tekkinud lööklaines nii tugevasti kokku surutud, et tekitas varju — heli muutus nähtavaks. Mõnikord näevad lööklainet ka lendurid.

Kuidas jääb helilöögiga meie teistsuguste konstantide maailmas? Kui heli kiirus on ainult 30 m/s, siis lendab ju kogu lennuvägi praktiliselt ülehelikiirusega ja helilöökide eest pole Maal praktiliselt kuhugi pääsu (tõsi küll, need löögid on nõrgemad). Vaata, et vii või lennukid planeedi kõige mahajäetumatesse nurkadesse.

Nagu näha, pole heli väiksema levimiskiirusega maailm sugugi eriti meeldiv. Parem on vist ka see füüsika-konstant endiseks jätta.

Aga muuseas, kuidas seda muutagi? Sellest ju ei piisa, kui öelda, et heli kiirust tuleb vähendada 10 korda. Kuidas seda teha? Ja kas see on üldse võimalik?

Aeromehaanika õpetab, et heli kiirus õhus oleneb praktiliselt ühestainsast suurusest — õhutemperatuurist. Selleks et heli kiirus väheneks 10 korda, peab õhutemperatuur langema vastavalt  $10^2$  ehk 100 korda!<sup>1</sup> Tähendab, tavalise 300° K asemel peab õhutemperatuur meie teistsuguste konstantide maailmas olema ... 3° K!

Tuleb välja, et heli kiiruse kümnekordseks vähendamiseks tuleb õhku jahutada kuni kolme kraadini üle absoluutse nulli. Ent isegi tunduvat kõrgemal temperatuuril õhk veeldub. Tähendab, nii palju heli kiirust lihtsalt vähendada ei saa, meie teistsuguste konstantide maailm oleks sel juhul ilmselt ebareaalne. Isegi suhteliselt väike heli kiiruse kahanemine nõuab tunduvat temperatuuri langust. Näiteks kõige kangema pakasega on külmapoolusel Anktartikas heli kiirus umbes 275 m/s, s. t. ligi 20% võrra väiksem tavalisest.<sup>2</sup> Suurtel kõrgustel, stratosfääris, kus valitseb lakkamatu pakane — 60° C, liigub heli umbes 15% võrra aeglasemalt kui Maal. Meie aga tahtsime tema kiirust vähendada 10 korda!

Tuleb välja, et vähenenud helikiirusega maailm on paratamatult ka ebatavalise pakase maailm. Ei, sellist maailma pole parem juba vaja.

Tõsi, täpsuse mõttes tuleks rääkida ka teisest võimalusest heli kiiruse vähendamiseks peale temperatuuri alan-

---

<sup>1</sup> Heli kiirus on võrdeline ruutjuurega õhu absoluutsest temperatuurist.

<sup>2</sup> Pakasele 80° C ja üle selle vastab temperatuur 190° K ja heli kiirus on ligikaudu  $340 \cdot \sqrt{\frac{190}{288}} = 340 \cdot 0,81 \approx 275$  m/s.

damise. Seda meetodit kasutatakse laialt tehnikas aerodünaamika-alaste katsete puhul.

Kõik teavad, milline hiiglaslik osa on lennunduse arengus aerodünaamilistel torudel, mille loojateks meie maal olid K. Tsiolkovski ja N. Žukovski.

Kaua enne tulevase lennuki esimest lendu «puhutakse» tema tiib, lennuki väike mudel, vahel ka täissuuruses lennuk aerodünaamilises torus läbi. Läbipuhumisel tulevad ilmsiks paljud lennuki puudused ja vourused. Kui palju hiilgavaid uute lennukite projekte on kuulsusetult lõpetanud oma veel algamata elutee just aerodünaamilises torus.

Muide, ei ole õige, et kuulsusetult. Ühtede ebaõnnestumisteta poleks teiste hämmastavat edu, poleks lennundust ennastki. Vaevalt saab ülehinnata panust, mida lennunduse saavutustesse on andnud teadlase imepärane relv — aerodünaamiline toru.

Kui esimesed aerodünaamilised torud olid üsnagi primitiivsed õhupuhurid, siis sama ei saa kuidagi öelda uusimate, täiuslike ja keerukate aerodünaamiliste torude kohta. Neid on tõesti praegu terve leegion ja seejuures ülimalt erinevaid. Nad on ära teeninud lausa erilise ja ausalt öelda erutava jutustuse, need meie sajandi imetorud.

Ent katsetaja töö muutub eriti keerukaks siis, kui aerodünaamilises torus peab imiteeritud «lendu» sooritama uusim ülehelikiirusega liikuv lennuk. Luua torus üliorkaan (mis orkaanist siin veel rääkida!), õhuvool, mille kiirus ületab helikiiruse, on väga keeruline, eriti kui toru läbimõõt on suur ja ei katsetata mitte miniatuurset mudelit, vaid peaaegu normaalsuuruses lennukit. Kui kalliks niisugune õhuvool läheb, seda võib otsustada kas või kaasaegsete reaktiivlennukite mootorite hiiglasliku võimsuse põhjal.

Pole midagi imestada, et «ülehelikiirusel töötava» aerodünaamilise toru heaks töötab vahel võimas elektri- jaam, mis suudaks kindlustada energiaga tervet kaasaegset suurlinna koos selle tehaste, trammide, kinode ja ööd päevaks muutva tänavavalgustusega. Ja muutuvad mõistetavaks teadlaste innukad otsingud, mille sihiks on püüda kuidagi läbi saada ilma hiiglaslike energiakuludeta.

Selleks on esitatud ja juba kasutataksegi mitmeid teravmeelseid meetodeid. Ja üks neist tuleb pähe ka seoses meie ülesandega mingil moel heli kiirust vähendada, kasutamata sügavat jahutamist.

Kui järele mõelda, siis meie praegune huvi (mitte eriti tõsine, kui ausalt öelda) heli kiiruse vähendamise vastu ei lange sugugi juhuslikult kokku aerodünaamikute ülesandega (nende töö on aga ülimalt tõsine) vähendada energiakulusid torude töötamisel. Kui õnnestuks vähendada heli kiirust aerodünaamilises torus, siis oleks ülehelikiirusega toimuva «lennu» imiteerimine lihtsam ja odavam. sest õhujoa nõutav kiirus ja vastavalt ka võimsuskaod oleksid väiksemad. Kuidas seda aga teha?

Me teame juba, et õhus saab heli kiirust vähendada ainult temperatuuri alandamisega. Miks peaks torus aga ilmingimata just õhk voolama? Ideaalne on õhk muidugi selles mõttes, et ta kordab täpselt keskkonda, kus lennuk tegelikult liigub. Kuid halb on ta sellepärast, et heli kiirus on seal liiga suur. Võib-olla valida antud juhul kahest halvast parem ja asendada õhk mingi teise gaasiga, kus heli kiirus on tunduvalt väiksem?

Kas niisugused gaasid on olemas? On küll. Teadus on isegi täpselt kindlaks teinud, millised gaasi omadused määravad heli kiiruse temas. See on eelkõige molekulaar, viimase kasvades heli kiirus väheneb, mis üldiselt on täiesti arusaadav. Mäletate, me juba rääkisime heli ja molekulide soojusliikumise kiiruse lähedastest sugulusest? Aga milline molekul liigub antud temperatuuril kiiremini, kerge või raske? Lihtne on taibata, et kerge, sest mõlema molekuli kineetiline energia on ju ühesugune (temperatuur on sama). Et molekuli kineetiline energia on võrdne tema massi ja kiiruse ruudu korrutisega<sup>1</sup>, siis sama kineetilise energiaga molekulidest liiguvad kiiremini kerged molekulid, mille mass on väiksem.

Seepärast ongi heli kiirus vesinikus ligi neli korda suurem kui õhus. Aga mingis raskest, suurte, massiivsete molekulidega gaasis on heli kiirus palju väiksem kui õhus. Seepärast kasutatakse aerodünaamilistes torudes mõnikord keerulisi orgaanilisi gaase, nn. freoone (samasugune gaas «teeb külma» ka teie koduses külmutuskapis; tõsi, seal kasutatakse teda teiste omaduste pärast, millel heli kiirusega mingit pistmist pole).

Võib kasutada ka muid raskeid gaase ja õhku asendavaid spetsiaalseid gaasisegusid.

Kui atmosfäär meie teistsuguste konstantide maailmas

<sup>1</sup> Jagatud kahega.

ei koosneks õhust, vaid sellisest raskest gaasist, siis oleks heli kiirus ka tavalisel temperatuuril tunduvalt väiksem. Näiteks Veenusel, nagu arvavad mõned astronoomid, sisaldab atmosfäär ohtrasti raskete molekulidega keerulist orgaanilist ainet — formaldehüüdi. Tähendab, Veenusel oleksime teistsuguste konstantide maailmas, väiksema helikiirusega maailmas. Kuidas sellises formaldehüüdi keskkonnas aga hingata? Kõige järgi otsustades pole meie, inimeste jaoks õhust paremat keskkonda olemas. Ja jäägu heli kiirus õhus pealegi selliseks, nagu ta on.

Me pole veel käinud maailmas, kus heli kiirus on 10 korda suurem. Nüüd, kus tunneme juba paljusid seliepealtnäha süütu konstandi omadusi, on taoline retk tunduvalt lihtsam.

Uues maailmas, kus meie konstant on 10 korda kasvanud, levib heli väga kiiresti (ehkki ikka umbes 100 000 korda aeglasemalt valgusest) ja ülehelikiirusega lennud lähenevad juba kosmoselendudele. Niisuguse kiirusega saab lennata vaid väga kõrgel, äärmiselt hõredas õhus, sest ehkki helibarjäär on selles maailmas kaugemale suurte lennukiiruste poole nihutatud, jääb alles teine ähvardav takistus ülikiirete lendude teel — soojusbarjäär.

Kuigi hiiglasuure kiirusega liikuvale lennukile vastutormavad õhujoad ei kohtu lööklainega (see tekib alles väga suurte lennukiirustel suurusjärgus 2,5 km/s), ootavad neid lennuki läheduses siiski «ebameeldivused». Vahele lennukiga kokkupuutuvad õhukihid pidurduvad ja nende hiiglaslik kineetiline energia läheb järelikult üle soojuseks. Lennuk liigub nagu tulikuumas ahjus, ükski metall sellist temperatuuri välja ei kannata. Üksnes kõrgustel 30...40 km, kus õhk on äärmiselt hõre, muutub ülehelikiirusega lend sellises kümnekordselt suurenenud helikiirusega maailmas võimalikuks.

Aga asi pole ainult soojusbarjääris, ehkki sellega on seotud suurimad ebameeldivused. Kui teistsuguste konstantide maailmas kasvab heli kiirus 10 korda, siis helikiirusele lähedane (veel enam, seda ületav) lend niisuguses «modifitseeritud» maailmas vastab kiirusele, mis vähemalt 6...8 korda ületab heli kiiruse meie reaalses maailmas. Lendu sellise suure ülehelikiirusega (teadlased räägivad: arvuga  $M$ , mis võrdub 6...8), on ülehelikiirusega lendamisest erinevalt hakatud hüperhelikiirusega lennuks nimetama.

Uued terminid ei teki teadusesse põhjusetult. Õeldu kehtib täielikult ka antud juhul — hüperheliikiirusega lend erineb paljuski lihtsast ülehelikiirusega lennust. Erinevused on samuti seotud peaaegjalikult faktiga, et lennukist möödavoolav õhk kuumeneb väga kõrge temperatuurini. See temperatuur on juba niivõrd kõrge, et õhu omadused muutuvad tavalistest tunduvalt erinevaks. Tegelikult tuleb lennundusel (muidugi ka raketitehnikal ja kosmonautikal) neil juhtudel tegemist teha nagu hoopis teistsuguse lennukeskkonnaga mitte aga meie hästi läbi uuritud õhuga. Näiteks väga kõrgetel, tuhandetesse kraadidesse ulatuvatel temperatuuridel lakkab õhk olemast tavaline gaas, ta muutub plasmaks, elektriseerub. Selle tulemusena muutuvad tugevasti õhu voolamise seadused lennuki lähedal (neid seadusi ei uuri mitte enam aerodünaamika nagu tavaliselt, vaid magnetgasodünaamika), muutuvad lennuki lennuomadused — tema tõstejõud, otstetakistus jne. «Plasmaõhu» kihis lennuki lähedal hakkavad toimuma ebatavalised keemilised reaktsioonid, millega kunagi ei tule tege mist väiksematel kiirustel. Teadus alles alustab kõigi nende nähtuste tundmaõppimist, siin valitseb tõeline teaduslik uudismaa. Kuid ilma hüperheliikiirusega lennu probleeme lahendamata on võimatu isegi «tavaline», allaheliikiirusega toimuv lend meie teistsuguste konstantide maailmas, kus heli kiirus on 10 korda suurem.

Kuidas niisugust heli kiirust saavutada? Kui õhutemperatuuri tõstmisega, siis tuleb õhku 30 000 kraadini kuumutada! Mis soojusbarjäärist siin veel rääkida, kui kõik olemasolev selles uskumatus kuumuses silmapilkselt auruks muutub...

Ei aita isegi kõige kergemate molekulidega gaasi — vesiniku kasutamine. Heli kiirus vesinikus, nagu teame, on umbes neli korda suurem kiirusest õhus. Oleks vaja juba täiesti ebatavalist, ülakerget atmosfääri, mis koosneb näiteks mesonitest. Et aga niisugust olemas pole, siis, tähe ttab, on meie uus teistsuguste konstantide maailm üldse mõeldamatu. Noh näete, kuhu välja jõudsimel! Aga muu seas, kahju küll ei ole.

## NELJAS NOVELL

### ELUELIKSIIR

*Titaani helesinine taevas. Lämpuu maailm. Hapnik ja tuletõrjujad. Mida peavad hingama kosmonaudid? Lämmastik ja elu. Planeedi «gaaskasukas». Parem kui ideaalne. Ülemaailmne veeuputus või üldine jäätumine? Inimene raiub oksa, millel istub. Abi järele klorofüllil juurde. Tehased viiakse kosmosesse. Fotosünteesi vabrik. Ohtlik ultraviolet ja nähtamatu kilp. Uued Pompeiid. Linnud kõhivad.*

Ööpäev, aasta, heli kiirus...

Kui suur on ikkagi nende füüsikakonstantide osa meie igapäevases elus! Nad olid meie jaoks tõepoolest tuntud tundmatud — me muidugi teadsime nende olemasolu (kes seda ei teaks!), kuid ei kujutanud küllalt hästi ette, missugune tähtsus on neil «märkamatul» ja nii tavalistel konstantidel. Aga tuntud tundmatuid pole looduses sugugi vähe ja nad võivad olla õige erinevad. Tavaliselt ei pööra me neile tähelepanu — vanad tuttavad! Ent pruugib vaid veidi tähelepanelikum olla, pisut põhjalikumalt jälgida, ja uuteks ning tundmatuteks osutuvad teinekord meie vanad südamesõbrad. Kui palju uusi, tundmatuid väärtusi, uusi iseloomujooni ja iseärasusi avastame siins, keda näiliselt läbi ja lõhki tunneme! Sellist asja juhtub nii inimeste hulgas kui ka ümbritsevas looduses.

Võtame näiteks sellesama õhu, millest räägiti eelmises novellis. Tavaline õhk, milles elame, mida hingame. Igaüks teab, kui suur osa on Maa atmosfääril meie elus. Õudne on isegi mõelda, missuguseks muutuks Maa õhkkonna kaotamise korral — surnuks, süngeks, hääletuks, elutuks nagu Kuu. Õhk — see on tõeline elueliksiir.

Meie jaoks on hea just meie oma, maapealne atmosfäär. Asuksime me näiteks Titaanil, Jupiteri kaaslasel, kus on ka atmosfäär, siis vaevalt hakkaksime talle kiitust jagama. Aga on ju sealgi taevas sinine, maailm täis hääli ja lennukidki saavad lennata. Mis meil aga sellest, kui me Titaani õhus hingata ei saa — atmosfäär koosneb seal puhtast metaanist. Loomulikult on Maa elanikel valgustusgaasis elada võimatu.

Kui aga Titaanil leiduks aborigeene, selle planeedi päriselanikke, siis oleks nimelt metaan neile soodsaks atmosfääriks, aga meie õhk mõjuks hukutavalt. Muidugi pole asi siin mitte harjumuses, vaid elu kohanemises konkreetsete tingimustega. Elu areneb vastavalt keskkonnale ja kõik teised tingimused võivad antud eluvormi jaoks võõrasteks, kahjulikeks, kõlbmatuteks osutuda.

Tõsi küll, isegi umbes kahe miljoni maapealse looma-, taime- ja mikroorganismide liigi hulgas (teadlased tunnevad sellest hulgast umbes pooli) leidub selliseid, mille jaoks õhuhapnik pole sugugi vähem hukatuslik. Kuid ega nemad ei määra Maa ilmet. Muide, hiljaaegu leiti Maal baktereid, mis fotosünteesi protsessis ei tooda mitte hapnikku, vaid metaani. Kas just taolised elusorganismid ei loonudki Titaani atmosfääri?

Miljonid arenguaastad viisid selleni, et maapealse elu jaoks on sobivaim just Maa atmosfäär<sup>1</sup> ja selleks et elu Maa peal ebaõdusaks või isegi võimatuks muuta, pole vajadust õhku metaaniga asendada — piisab isegi tema keemilise koostise suhteliselt väikesest muutmisest.

Nagu teada, jääb õhu koostis praktiliselt muutumatuks, põhikomponentide sisaldus on alati ühesugune: umbes 23% õhu massist hõlmab hapnik, 76% lämmastik ja 1% langeb teistele gaasidele ning veeaurule. Seepärast võib Maa atmosfääri koostist täie õigusega samuti füüsikaliseks (või on parem öelda — keemiliseks?) konstandiks pidada. Veel üks tuntud tundmatu, sest me teame hästi tema olemasolust, kuid kujutame vaevalt ette tema osa meie elus.

Umbes  $\frac{1}{4}$  õhu massist (või  $\frac{1}{5}$  ruumalast) võtab enda

<sup>1</sup> Huvitav, et teadlaste arvates oli Maa atmosfäär kaks miljardit aastat tagasi praegusest hoopis erinev — see koosnes peaaesjalikult niisugustest gaasidest, nagu vesinik, ammoniaak ja veeaur. Atmosfääri koostise muutumine võimaldas tekkida maapealsel elul ja see elu omakorda muutis järk-järgult atmosfääri koostist.

alla hapnik. Mis saab, kui see kogus väheneb kaks korda? Tähendab, ka igal hingetõmbel satub meie kopsu samuti kaks korda vähem hapnikku ja hingamine sarnaneb hingamisega 5,5 km kõrgusel. Inimesed ja loomad peavad elama äärmiselt kesise hapnikunormiga. Saabub hapnikunälg, mida tunnevad hästi lendurid ja alpinistid. Vaevalt südame- ja hüpertooniahaiged seda välja kannatavad. Aga isegi tervetel inimestel on kitsas käes. Iga liigutus nõuab tohutut jõupingutust, iga töö on vaearikas ja kurnav.

Kummaliseks muutub ümbritsev maailm. Kõik toimub nagu aeglubis — vaevu liigutavad jalgu inimesed, sörgivad hobused, isegi koerad pole enam elavad ja ägedad. Mis siin veel inimestest ja loomadest, kui masinadki on ilmselt alla vandunud. Pole midagi imestada, sest kõik sisepõlemismootorid on hakanud arendama kaks korda väiksemat võimsust — sõltub võimsus ju otseselt mootori silindritesse sattuvast hapnikuhulgast. Autod muutuvad aeglaseks, kõige pisemgi tõus paneb nad «löötsutama», on aga tõus järsem, siis jääb ta üldse ületamatuks. Elektri- ja amade võimsus on kaks korda väiksem — katelde küttekolletes võib ära põleda ainult pool endisest kütusehulgast. Linnades kustuvad pooled tuledest, tehastes peatuvad pooled tööpinkidest. Kõrgahjud annavad vähem malmi, väheneb terasetoodang martäänahjudes ja konverte-rites.

Lennukid hakkavad lendama aeglasemalt, väheneb nende kasulik koormus, aga mõned neist ei suuda mootorite vähenenud võimsuse tõttu üldse õhku tõusta. Huvitav, et öeldu käib vaid kolbmootoritega lennukite kohta, reaktiivlennukite kiirus jääb endiseks ja nad veavad ka endisel hulgal reisijaid. Et gaasiturbiinidega mootorite turbiinilabad ei talu ülemäära kõrge temperatuuriga gaase, tuleb kütuse põletamiseks kasutada tavaliselt ainult osa mootorist läbivoolavast õhust — umbes poolt. Hapnikuhulga kahekordne vähenemine õhus ei mõju eriti nende mootorite tööle.

Kui aga hapnikuhulk õhus ei vähene mitte kaks, vaid 10 korda? Siis sisaldub õhus veidi üle 2% hapnikku ja peaaegu puhas «lämmastikuatmosfäär» osutub saatuslikuks nii maapealsele elule kui ka kõigile inimese loodud masinatele, kus põletatakse kütust. Sellisel hulgal hapnikku sisaldab 16 km kõrgusel olev õhk — seal lämbub

inimene peaaegu silmapilkselt, aga kütus tavaliselt ei põle.

Hukatuslikuks osutub «hapnikuta» atmosfäär ka taimkattele. Esimesel pilgul ei tundu see õige olevat, sest «hingavad» taimed ei neela, vaid eraldavad hapnikku. Just tänu neile ongi atmosfääris hapnikku, see on tervenisti nende elutegevuse produkt. Pruugib neil vaid loobuda hapniku tootmisest, ja vähem kui 2000 aasta pärast ei jää Maa atmosfääri enam jälgegi hapnikust.

Ent pidage meeles, et taimedele vajalikku süsihappegaasi leidub atmosfääris vaid peasjalikult tänu loomade elutegevusele. Kui kaovad loomad, hukuvad ka taimed, sest nad «lämbuvad» ilma süsihappegaasita. Looduses valitseb suurepärane, elu evolutsiooni miljonite aastate jooksul kujunenud dünaamiline tasakaal; kui seda tasakaalu nihutada, kindlaskujunenud ainete ringkäiku rikkuda, siis kogu hästi organiseeritud mehhanism hakkab tõrkuma või ütleb hoopis üles.

Kui aga hapnikuhulka õhus ei saa karistamatult vähendada, siis vahest selle hulga suurendamine pole üksnes võimalik, vaid ka soodus?

Kahjuks ei, seegi tee on praktiliselt suletud. Muidugi, hapnikurikas atmosfääris, millest pool koosneb hapnikust ja pool lämmastikust, toimub põlemine intensiivsemalt kui praegu. Küttekolletes ja sisepõlemismootorite silindrites eraldub rohkem soojust ja nende võimsus kasvab. Tõsi, seinte läbipõlemise vältimiseks tuleb kasutusele võtta erilised abinõud, sest seinad lähevad palju «tulisemaks». Lõpuks pole kohutav ka see, et hapniku küllus õhus muudab tuletõrjajate töö tunduvalt keerulisemaks. Igast väikesest tulekahjust saab möllav tulemeri, mida on väga raske kustutada, ehkki tõenäoliselt on võimalik välja töötada uusi, võimsamaid kustutusvahendeid. Sagenevad ja muutuvad tunduvalt ohtlikumaks igasugused plahvatused, kuid ka sellega saab hakkama. Võib oletada, et õnnestub võidelda ka metalli energilisema hapendumisega, korrosiooniga. Tehnikaga paistab asi sel juhul üldiselt üsna korras olevat.

Teine lugu on elusloodusega. Inimese ja loomade juures ei möödu kaks korda suurema hapnikusisaldusega õhu sissehingamine jälgi jätmata, nagu tunnistab kogu senine kogemus. Tõsi küll, kõrglendude ajal peavad lendurid — ja mitte ainult nemad — kasutama sageli hapnikumaski

ning hingama isegi lausa puhast hapnikku. Kuid seejuures vähendatakse hapniku rõhku sedavõrd, et tema kogus kopsudes jääks endiseks, umbes samasuguseks nagu hingamisel tavalises õhus, ja ka hingetõmme ise peab kestma üsna vähe aega. Arstiteaduses kasutatakse vahel hapnikuga rikastatud õhku, kuid sedagi ainult lühikese aja vältel. Arstid teavad hästi, kui kahjulikud on suured hapnikudoosid — inimese parimast sõbrast ja päästjast muutub see gaas ohtlikuks vaenlaseks, tekitades organismis mitmeid tõsiseid haiguslikke muutusi. Tähendab, ka suurendada hapnikukogust Maa atmosfääris pole karistamatult võimalik.

Jääb üle veel üks tee, kuidas meie konstandile kallale tungida — õhu keemiline koostis. Kui hapnikuhulk on puutumatu, siis võib-olla teise peamise koostisosa, lämmastikuga on lugu teisiti? Kas saab hapnikku puutumata jättes muuta lämmastikuhulka õhus, asendada see mingi teise sobiva gaasiga?

Niisugune võimalus tundub täiesti reaalsena. Pole ju lämmastikul, erinevalt hapnikust, meie elus aktiivset osa (kreeka keeles tähendab lämmastikku märkiv sõna «elu eitust»). Kaasaegne teadus on seisukohal, et hingamisel kopsudesse sattuv lämmastik väljub sealt samal kujul, tekitamata mingeid muutusi ka organismis eneses. (Üksikud teisel arvamusel olevad teadlased ei leia seni üleüldist toetust.)

Vähe sellest, on projekte, mille järgi kosmoselaeva kabiini atmosfääri aluseks ei tohigi olla lämmastik — see soovitatakse asendada teise inertgaasi heeliumiga.

Heeliumiatmosfääril võivad olla kindlasti teatud eelised, võrreldes tavalise õhuga. Heelium vähendab ohte, mis varitsevad kosmonaute kosmoselaeva kabiini hermeetilisuse äkilise rikkumise korral, näiteks kui meteoriit lööb soomusesse augu (oht on seotud lämmastiku eraldumisega verest, kus ta lahustub tunduvalt paremini kui heelium), võimaldab vähendada laeva kaalu, sest heelium on õhust 7 korda kergem, jne.

Maal tehtud katsete puhul<sup>1</sup> elasid katsealused vabatahtlikult nädalate kaupa isoleeritud kambris heeliumiatmosfääris, ilma et oleks täheldatud mingeid kahjulikke

<sup>1</sup> Neile, kes selle küsimuse vastu huvi tunnevad, võib soovitada A. Dianovi artiklit NSV Liidu TA väljaandel ilmuvas ajakirjas «Космические исследования» (mai, juuni 1964, nr. II, III).

tagajärgi. Ainult hääl muutus — kõrgenes peaaegu terve oktaavi võrra, baritonist sai tenor! Ilmus isegi spetsiaalne termin — «heeliumihääl».

Huvitav, et lämmastiku asendamine heeliumiga on kasulik niihästi kosmoses kui ka vee all. Tuukrid teavad, et rohkem kui 50 m sügavusele sukeldumisel eralduvad verest samuti lämmastikumullikesed nagu lennuki kabiini hermeetilisuse ootamatul rikkumisel kõrglennu ajal, millel on samasugune mõju tervisele (arstid nimetavad seda nähtust «sügavusjoobeks» ehk «lämmastikunarkoosiks»).

Hiljaaegu varustati allveesportlased katseks akvalangidega, mis ei sisaldanud mitte tavalist õhku, vaid hapniku ja heeliumi segu. Selgus, et maksimaalne sukeldumissügavus kasvas järsult, jõudes üle 250 m. Muide, hääl muutus samuti kõrgemaks, iseloomulikuks «heeliumihääleks». Ameerika Ühendriikides tehtud katsetes hingasid hiired atmosfääris, mis koosnes 75% heeliumist ja 25% hapnikust 90-atmosfäärise rõhu all — ja midagi ei juhtunud.

Maa uuel, heeliumiatmosfääril oleks teisigi eeliseid. «Heeliumiõhk» avaldaks liikumisele väiksemat vastupanu, sest takistus oleneb võrdeliselt õhu tihedusest, viimane oleks aga tunduvalt väiksem kui praegu. Tähendab, lennukite kiirus oleks samade mootorite korral märgatavalt suurem. Sellele aitaks paljus kaasa ka asjaolu, et heli kiirus heeliumiatmosfääris oleks nihkunud tunduvalt suuremate lennukiiruste piirkonda.

Ja ikkagi pole võimalik karistamatult kallale tungida ka Maa atmosfääris sisalduvale lämmastikule. Taimede salapärestes laboratooriumides moodustuvate valkude koostisse kuulub lämmastik. Taimed võtavad seda pinnasest, kuhu see satub õhust miljardite eriliste lämmastikbakterite elutegevuse tagajärjel; need bakterid seovad õhulämmastiku keemiliselt erinevateks ühenditeks, eelkõige ammoniagiks.<sup>1</sup> Bakterid elutsevad erilistes mügarikes kaunviljade (hernes, ristikhein jne.) juurte küljes. Mehhanism, kuidas bakterid õhulämmastikku seovad, pole veel lõpuni selge, ehkki selle protsessi tähtsust inimkonnale on raske ülehinnata: see jääb maha vaid fotosünteesi tähtsusest.

---

<sup>1</sup> Taimed ei suuda molekulaarset lämmastikku vahetult õhust omastada, nii et kogu maapealne elu sõltub lämmastikbakterite tegevusest. Ilma nendeta jääks kättesaamatuks kogu hiiglaslik lämmastikuhulk atmosfääris (8 miljonit tonni maapinna iga ruutmeetri kohta!).

Selge, et kui muuta lämmastiku tavalist hulka õhus, siis rikutakse otsekohe lämmastikuvahetuse ammuaegset tasakaalu, mis kajastub silmapilkselt taimemaailmas, edasi aga juba loomade juures. Tõsi, laboratooriumikatsetel kannatasid paljud taimed, näiteks harilik kurk, samuti üksikud elusolendid (sipelgad, tõugud jne.) üsna hästi välja atmosfääri, mis koosnes 2% hapnikust ja 98% argoonist. Kuid need katsed kinnitavad vaid elu tohutut kohanemisevõimet; lühikese aja vältel võib-olla ei osutu selline ebatavaline atmosfäär hukatuslikuks, kuid hoopis teine lugu oleks kogu maapealse eluga.

Kuigi see tundub esimesel pilgul ootamatuna, on õhu koostis mõningate suhteliselt väheses koguses esinevate gaaside osas veel suuremal määral puutumatu. Näiteks üha rohkem hakkab teadlasi erutama küsimus süsihappegaasi hulgast atmosfääris. Tavaliselt sisaldub teda õhus 0,03...0,04% — üldiselt tühine kogus (ei pea muidugi arvama, et seepärast on väike ka süsihappegaasi absoluutne hulk õhus — seda on umbes 2650 miljardit tonni!). Kuid viimase aastakümne, eriti aga viimaste aastate jooksul on süsihappegaasi hulk õhus vältimatult, ehkki aeglaselt suurenenud. Vähe sellest, ka selle kasvamise tempo kiireneb.

Miks kardavad teadlased nii väga süsihappegaasi liigseid kümnetuhandikke?

Asi pole muidugi selles, et süsihappegaas oleks inimesele mürgine (muide, süsihappegaasi täielik puudumine õhus pole sugugi vähem kahjulik kui selle liiasus). Et süsihappegaasi mürgine toime nähtavale tuleks, selleks on vaja hoopis teisi, tunduvalt suuremaid kontsentratsioone (näiteks kuuajaline barokambris viibimine, kus õhk sisaldas 1% ja isegi 2% süsihappegaasi, ei kajastunud katsealuste tervises). Siin on aga tegemist sajandikprotsentidega. Kui neis tõesti tõsine oht peitub, siis näitab see ilmekalt, kui ohtlik on naljatada konstantidega. Ja jällegi on siin tegemist imepärase tasakaaluga, mis tekkis ja mida hoitakse alal kõigis looduslikes protsessides. Puudutage vaid üht ahela lüli — ükskõik millist, olgu pealtnäha või kõige tühisemat — ja kogu ahel võib laguneda, elu maa-keral satub ohtu. Just niisuguseks, võib-olla märkamatuks, kuid tegelikult äärmiselt oluliseks lüliks ainete ringluses looduses ongi Maa atmosfääris sisalduv süsihappegaas.

Milles tema tähtsus siis on?

Osutub, et ehkki süsihappegaasi on atmosfääris suhteliselt vähe, siis just temal on võib-olla peasa nähtamatus «gaaskasukas», mis Maa ümber on mähitud ja tema soojusrežiimi reguleerib. Nagu teada, täidab atmosfäär seda temperatuuri reguleerimise ülesannet tõepoolest suurepäraselt. Mis on selle kõrval tavalised kasukad ja palitud, mis aitavad meid talvel, Dewari anumad — termosed kuuma tee või külma kalja jaoks, soojusisolatsioon, mida kasutame katelde, torustike, majade juures, et vähendada soojusvahetust ümbritseva keskkonnaga! Ühtki neist inimese poolt kasutatavatest kavalustest ei saa ligilähedaltki võrrelda sellega, mida on loonud loodus.

Tõepoolest, tänu läbipaistvusele laseb Maa atmosfäär takistamatult läbi maapinnale valguvat elustavat päikese-soojust. Kujutlege hetkeks, et atmosfäär lakkaks äkki olemast läbipaistev ja hakkaks peaaegu täielikult peegeldama talle langevaid päikesekiiri. See tähendab, et praktiliselt ainsaks soojusallikaks Maal muutuks tema sisemus — maakera oleks igavese käre külm kütkeis; pakane sunniks tõenäoliselt kogu atmosfääri külmunud gaaside näol Maale langema.

Kui aga läbipaistmatu atmosfäär pole hea, siis ka täielik läbipaistvus poleks palju parem — lastes päikese-soojust takistamatult Maa peale, laseks ta selle niisama tõketeta öösel, kui Päike ei paista, jälle Maalt kosmosesse tagasi. Vaevalt küll niisugune täielik, ideaalne atmosfääri läbipaistvus looduse poolt mingi heategu oleks! Elu Maal oleks sel juhul arvatavasti samuti võimatu.

Ja just siin ilmnebki looduse kogu rikkus ja mitmekesisus. Selgub, et Maa atmosfäär pole sugugi ideaalne, ta on veel rohkem kui ideaalne! Paradoksi on kerge seletada. Kui atmosfäär laseb vabalt läbi Päikeselt Maale tulevaid kiiri, siis Maa poolt kiiratavat soojust ei lase ta kaugeltki tervenisti läbi; selle jaoks on atmosfäär suurepärane püümis. Näete, kui kavalalt on atmosfäär ehitatud: meie juurde tulgu soojust kuitahes palju, ära aga anna meile üsna tühise osa.

Selline hea «atmosfäärikorraldus» (maapealse elu seisukohalt) on ülitiheidalt seotud süsihappegaasiga Maa atmosfääris. Päikesekiired on suhteliselt lühilaineline kiirgus, sellal kui Maa poolt kiiratav soojus on tunduvalt pikemalaineline. See on ka mõistetav — soojuskiirguse lainepikkuse määrab temperatuur; kuumema keha puhul on

lainepikkus lühem, külmema korral pikem. Maal on muidugi raske konkureerida Päikesega. Ja tulebki välja, et Maa pikalainelise soojuskiirguse (see asub elektromagnetlainete spektri infrapunases osas) neelab atmosfääris peaaesjalikult süsihappegaas, aga samuti veeaur. Eelkõige süsihappegaas on kaaneks, mis kinni plaksatab, et päikesesoojust maapealsesse «kohvrisse» sulgeda. Samasuguseks kaaneks on ka tavaline kasvuhoone klaas, mis samuti «püüab» sissetungivat päikesesoojust. Seepärast nimetataksegi süsihappegaasi ja pilvede läbipaistmatust infrapunaste kiirte suhtes kasvuhooneefektiks.

Selge, et mida rohkem süsihappegaasi sisaldub atmosfääris, seda «tihedam» on kaas, tugevam kasvuhooneefekt ja seda rohkem päikesesoojust jääb Maale. Tähendab, kõrgem peab olema ka atmosfääri aastane keskmine temperatuur: kui püütakse kinni rohkem soojust, siis ka õhk soojeneb tugevamini. Ja tõepoolest, ehkki suhteliselt aeglane, ent siiski järjekindel süsihappegaasi kogunemine atmosfääri viib maailma kliima niisama aeglasele muutumisele — selle soojenemisele. Esialgu on soojenemine vaid kümnendikosa kraadist (mõne teadlase arvates isegi 1... 1,5 kraadi), kuid juba seegi on selgesti märgatav. Kui kasvatendents ei muutu, siis võib «süsihappegaasi probleem» tõepoolest inimkonda ähvardavaks viirastuseks kujuneda.

Esimesel hetkel paistab, et midagi kohutavat kliima soojenemises olla ei saa. Talv muutub pehmemaks, ei ole enam karmi külma, soe kliima levib kõrgematele laiustele, poolustele lähemale. Pealtnäha oleks nagu hea, kuid tegelikult pole lugu kaugeltki nii.

Kui atmosfääri aastane keskmine temperatuur (täpselt, selles õhukeses kihis — biogenosfääris, mida asustavad elusolendid), mis praegu on 15°C, oluliselt tõuseb, siis võib sellele järgneda tõeline kataastroof.

Soojenemine paneb tormiliselt sulama jää, mis liustikena katab mäeharju ja on eriti suurtes hulkades kogunenud poolustelähedasse piirkonda — asub ju  $\frac{9}{10}$  kogu «jäähilbist» Antarktikas, polaaraladel üldse aga 99%. Kui kogu jää, mille koguruumala geograafiadoktor Pjotr Šumski arvutuste järgi moodustab umbes 27 miljonit kuupkilomeetrit, äkki sulab, siis muutub Maa ilme põhjalikult.

Teadlaste arvutuste järgi tõuseks maailmaookeani tase

ligi 60 m võrra — loendamatud saared ja arhipelaagid kattuksid igaveseks veega, ujutataks üle tohutud maismaa-alad. Üle kallaste tõusnud mered, järved ja jõed ühineksid ääretuteks veeväljadeks, mattes veekihi alla terveid maid ja isegi seal, kus alati paistis maismaa olevat, tekivad läbipääsmatud sood ja rabad: annab tunda põhjavee taseme tõus, põhjas aga igikeltsa sulamine.

Maa kauges minevikus on isegi võrreldamatult väiksemad kliimamuutused olnud katastroofiliste tagajärgedega niihästi üksikute linnade ja asulate kui ka tervete rahvaste saatuses. Kas pole niisugune järsk soojenemine äkki aluseks piiblilegendile ülemaailmsest veeuputusest?

Teadlased arvavad, et jääaja lõpus, umbes 15 000 aasta eest, suurenes keskmine temperatuur äkitselt umbes 15° C võrra tõenäoliselt mingi ootamatu muutuse tagajärjel Päikese kiirguses. Enamikku Kesk-Ameerikat, Euroopat ja mõningaid Aasia rajoone katvate jääliustike sulamise tõttu tõusis maailmaookeani pind suurema osa geoloogide arvamise järgi 90...120 m võrra. Teine, hilisem soojenemine toimus umbes 4500...2700 aastat enne meie ajaarvamist ning tekitas Eufraati ja Tigrise orgudes hiiglaslikke üleujutusi.

Ent kui need on ainult oletused, siis hilisemal ajal on kliima sajandilise muutumise saatuslik osa teaduse poolt paljudel puhkudel absoluutselt usaldusväärset tõestatud. Nii näiteks umbes teise aastatuhande alguses meie ajaarvamise järgi, s. t. umbes 1000 aastat tagasi, taandus mandrijää igal pool Euroopas: inimesed liikusid põhja poole, tekkisid asundused Islandil, Gröönimaal, vallutati Alpide ja Kaukaasia mäestikuorud. Aga kolme-nelja sajandi pärast alustasid liustikud jällegi rünnakut, võttes enda alla inimeste poolt ülesharitud maad. Nagu teadlased kindlaks on teinud, on Kaukaasiat asustanud alaanide, kaasaegsete ossetiinide esivanemate linnade ja asulate huku saladus seotudki eespool mainitud asjaoluga. Täpselt samuti hukkus XIII sajandil Kaspia mere kaldal, praeguse Astrahani ligidal, Hasari riik pealinnaga Itil. Poole sellest riigist uputas Kaspia meri, mille tase tõusis tookord soojenemise tagajärjel mitme meetri võrra; ülejäänud tegid hasaaride vaenlased — guusid.

Võib-olla veel traagilisem on Jangikenti linna saatus Kesk-Aasias, Sõr-Darja deltas. Vene rändurid nägid linna varemeid esmakordselt 1740. a., kusjuures mõistatuslikuna

tundus see, et elanikud olid ilmselt terve linna maha jätnud. Mille eest nad põgenesid? On kindlaks tehtud, et põgenemise ja järelkult ka linna hukkumise põhjuseks olid... maod. XIV sajandi lõpus aset leidnud soojenemine põhjustas Araali mere taseme tõusu. Ujutati üle soine ja kõrkjatest läbikasvanud Sõr-Darja suue, kus elasid terved madude müriaadid. Maod roomasid linna, aga selle elanikud jätsid täis hirmu maha oma kodupaiga.

Nagu näha, pole igasugune kliima soojenemine inimestele kasulik; vahel võib see kaasa tuua tohutuid häda-  
sid. Praegugi teevad hüdrolooge üsna rahutuks aasta-  
aastalt kahanevad Alpi jääliustikud, milles sisaldub umbes  
200 000 kuupkilomeetrit vett.

Tõsi, loodusel on varuks vahendid, mis piiravad keskmise temperatuuri ülemäärast kasvu. Kui üha uued maismaa osad satuvad vee alla, siis viib veepeegli üha suurenev pind aurava niiskusehulga kiirele kasvamisele. Soojuse juurdepääsu takistav pilvkate Maal muutub aina tihedamaks ja ulatuslikumaks. Soojenemisele võib järgneda pilvkattest põhjustatud niisama ähvardav jäätumisperiood — Maa kauges minevikus polnud neid vähe (jäätumise algamiseks piisab atmosfääri keskmise aastase temperatuuri alanemisest mõne kraadi võrra). Kui aga seda ei juhtu, vaid jääb püsima mingi liikuv soojuslik tasakaal kõrgema keskmise temperatuuri korral, siis ikkagi muutub elu Maal tunduvalt ebameeldivamaks — pole võimalik vältida arvukaid ja kohutavaid katastroofe.

Muidugi, kui süsihappegaasi kogunemine atmosfääri põhjustab keskmise temperatuuri kasvu kõigest mõne kraadi võrra (teadlased oletavad, et 1980. aastaks suureneb süsihappegaasi sisaldus atmosfääris 70% võrra, teiste andmete järgi 30%); kui see gaasi hulk kahekordistub, tõuseb õhu keskmine temperatuur 3 kraadi võrra), siis ka maailmaookeani tase tõuseb üksnes mõne meetri võrra. Aga sellestki piisab kohutavate, katastroofiliste tagajärgede jaoks. Just erakordselt kõrge süsihappegaasi kontsentratsiooniga Veenuse atmosfääris (suurusjärgus 5%) seletavad astronoomid planeedi kõrget pinnatemperatuuri — 400...600°C, (raadioastronoomia andmetel).<sup>1</sup> Egas teadlasi ilmaasjata häiri süsihappegaasi probleem.

---

<sup>1</sup> Nõukogude kosmoselaeva «Venera 4» andmetel ulatus õhutemperatuur Veenuse pinna lähedal +280°C. — *Tõlk.*

Huvitav on süsihappegaasi näite varal jälgida nähtamatuid seoseid tuntud tundmatute perekonnast pärinevate eri konstantide vahel; mõnikord võib see täiesti ootamatuks osutada. Tõepoolest, mis ühist võiks olla näiteks süsihappegaasi hulga ja ööpäeva kestuse vahel, millest oli juttu esimeses novellis? Isegi mõte niisugusest seosest paistab esimesel pilgul absurdseks, aga siiski on ta olemas ja mängib väga tähtsat osa.

Tõepoolest, kui süsihappegaasi hulk Maa atmosfääris kasvab, siis, nagu teame, tõuseb ka keskmine temperatuur planeedi pinnal. Kuid siis peab vältimatult suurenema planeedi sisemuse temperatuur, sest teisiti ei õnnestu sealt mitme keemilise elemendi (näiteks kaaliumi, uraani, raudiumi jt.) radioaktiivsel lagunemisel eralduvat soojust ära juhtida. Kõrgema temperatuuri tõttu kasvab tingimata ka sula aine hulk maapõues. See omakorda viib Päikese ja Kuu mõjust tingitud loodulise pidurdumise tugevnemisele ning järelikult ka Maa ööpäevase pöörlemise aeglustumisele. Teadlased arvavad, et just sellepärast kestab ööpäev Veenusel nii kaua — ligi 250 päeva, nagu nõukogude ja ameerika radioastronoomid kindlaks on teinud. Keeruline on looduse hästi korrastatud mehhanism ja inimene ei tohi hoolimatult ning mõtlematult end sellesse segada. Konstantidega tuleb aupaklikult ümber käia.

Miks aga praegu süsihappegaasi atmosfääri koguneb? Kus peitub kükloopiline, pidevalt töötav fontään, mis seda gaasi õhku paiskab?

Meie planeedi taimkate neelab iga päev tohutul hulgal süsihappegaasi: osa teadlaste arvestuste järgi umbes 175<sup>1</sup>, teistel andmetel isegi 230 miljardit tonni aastas. Süsihappegaasi neelab ka maailmaookean. Suured süsihappegaasi kogused neelduvad paljastunud maakidega toimuvatel keemilistel reaktsioonidel. Kui poleks selle gaasi eraldajaid, siis üsna pea, vähem kui 200 aasta jooksul, kaoks ta atmosfäärist täielikult, mille tagajärjel hukkuksid algul taimed, seejärel aga kogu maapealne elu.

---

<sup>1</sup> Huvitav, et lõviosa sellest süsihappegaasi hulgast, üle 150 miljardi tonni, ei neela mitte hiiglasuured puud ja teised kõrgemad taimed, vaid merefloora, peaaegjalikult ainuraksed, mikroskoopilised klorella tüüpi vetikad. Sinna ongi peidetud põhiline fotosünteesi vabrik maakeral, mis «töötab ümber» süsihappegaasi. Muuseas, see «vabrik» töötab ka tunduvalt efektiivsemalt kui kõrgemad taimed — egas asjatult kavatses kosmonaudid vetikaid kaasa võtta kosmoselaevade pardale.

Me teame atmosfääri kahte ammuaegset süsihappegaasiga varustajat — need on iidsed tektoonilised nähtused looduses, vulkaanipursked, aga samuti hingamine, kõdunemine ning käärimine elusolendite maailmas.<sup>1</sup> Juba palju aastatuhandeid on deebet ning kreedit — atmosfääri eralduv ja sealt neelduv süsihappegaasi hulk — võrdsed, see on üks atmosfääri imepärase isereguleerimismehhanismi avaldusi. Mis on siis viimasel ajal muutunud, mis on selles mehhanismis rikki läinud?

Võib-olla on taimeriik vaeseks jäänud, aga süsihappegaasi väljahingav loomariik vastupidi, suureks paisunud, nii et just see on rikkunud iidset tasakaalu looduses? Tõepoolest, elu evolutsioon Maal kulgeb ilmselt just selles suunas, kuid kaugeltki mitte niisuguses tempos, et juba praegu märgatavat mõju avaldada atmosfääri süsihappegaasi sisaldusele. Ja pealegi annab tektoonilise tegevuse nõrgenemine vastupidise efekti. Milles on siis asi?

Kõiges on süüdi inimene. Muidugi mitte sellepärast, et ta ise oleks rohkem süsihappegaasi hakanud välja hingama. «Hingab» tema mõistuse ja käte looming — loendamatud masinad, tehased, elektriijaamad, mootorid. Nendes põleb igas sekundis tuhandeid ja tuhandeid tonne kütust, aga põhiosa atmosfääri heidetavatest põlemisproduktidest moodustabki süsihappegaas. Just siia läheb suurem osa kaevandatavast naftast ja söest. Ainuüksi Berliin näiteks paiskab õhku 3—4 korda rohkem süsihappegaasi kui Ameerika suuremaid vulkaane Kotopaxi. Viimase sajandi jooksul on tööstusettevõtted ja autod paisanud atmosfääri üle 350 miljardi tonni süsihappegaasi. See suurendas süsihappegaasi kogust seal umbes 13% võrra — siin peitubki õhu keskmise temperatuuri tõusu saladus. Maakeral tekib kiiresti uus atmosfäärikiht — tehnosfäär.

Isegi teaduse ja tehnika progressi praeguse tempo korral saavutab süsihappegaasi kogus õhus maksimaalse lubatud väärtuse mitte hiljem kui 150...200 aasta pärast. Tõenäoliselt juhtub see tegelikult veel varem. Näeme, et teadlaste kartused on enam kui põhjendatud. Läbimõtlamatu kallaletung konstandile peidab endas hukatuslikke tagajärgi...

<sup>1</sup> Akadeemik V. Vernadski pittliku väljendi järgi on elusaine ajaloos peamine just see, et ta tekib gaasidest ja muundub pärast surma jälle gaasideks. Tähtsaimaks neist gaasidest ongi süsinikdioksiid — süsihappegaas.

Kuid süsihappegaas atmosfääris on ainult üks, kaugeltki mitte ainus seda laadi näide.

Sedamööda kuidas inimene omandab üha suurema võimu looduse üle ja tema mõju loodusele võtab tõeliselt globaalse, üleplaneedilise iseloomu, muutub niisuguse mõju potentsiaalne oht üha suuremaks. Pruugib end vaid unustada ja kaotada vajalik ettevaatus, kui loodus võib inimesele karmilt kätte maksta tema ettevaatamatu kallaletungimise pärast iidsetele konstantidele — olgu siis suurtele või väikestele —, mis juhivad elu maakeral. Inimene võib sarnaneda puuraiujaga, kes raiub oksa, millel ta ise istub.

Või võtame teise külje sellest samast süsihappegaasi probleemist. Me teame juba, et süsihappegaasi sisalduse suurenemine atmosfääris inimese tegevuse tagajärjel viib selleni, et Maa kaotab üha vähem soojust ümbritsevasse kosmilisse ruumi. Kuid see pole ainus põhjus, miks kliima järk-järgult soojeneb ja biogenosfääri keskmine temperatuur tõuseb. Selgub, et koos Maa poolt tarbitava soojuse vähenemisega kasvab ka juurdetuleva soojuse hulk, nii et konstanti — atmosfääri keskmist temperatuuri — rünnatakse teisestki küljest (tutvusime veel ühe konstandiga — tuntud tundmatuga).

Kerge on taibata, milles on asi. Kui kütus põleb, siis peamiseks «produktiks» pole muidugi süsihappegaas, vaid põlemisel eralduv soojus. Just sellepärast ju põletavadki inimesed kütust. Kuid niihästi eelajaloolise koopaelaniku lõke, kaasaegse linna soojustsentraal, iga automootor kui ka aurukatel täidavad peale oma ilmse ülesande veel ühte, ehkki mitte nii silmanähtavat osa. Just see viimane võibki inimkonnale karuteene osutada. Iga kord kui kütuse keemiline energia vabaneb ja soojuseks muundub, tõstab ta õige veidi ka atmosfääri keskmist temperatuuri. Muidugi ainult õige veidi, tühiselt vähe, kuid sel kombel «soojendatakse» Maad lakkamatult ja kõigis tema nurkades. Inimese tegevusega esilekutsutud üldine soojenemine ei pruugi sugugi nii tühiseks osutada.

Tõsi, kaasajal on inimkonna poolt vabastatav energia veel suhteliselt väike, tunduvalt väiksem kahe teise põhi- allika poolt atmosfääri toodavast energiast: 10 korda väiksem maakera sisemusest tulevast soojusest ja 30 000 korda väiksem Päikeselt saadavast energiast. Kuid juba praegu saab mõni linn talviti soojendamise tagajärjel umbes nii-

sama palju soojust nagu Päikeselt.<sup>1</sup> Aga energia vabastamise tempo inimese poolt kasvab kiiresti. Nagu arvavad teadlased<sup>2</sup>, on inimkond ainuüksi XX sajandi algusest peale kasutanud ära umbes  $\frac{3}{4}$  üldisest energiahulgast, mille ta kogu oma endise olemasolu vältel oli vabastanud. Viimastel aastatel on peale põletatava kütuse keemilise energia hakatud soojuseks muundama ka inimesele alitatud aatomienergiat. Nõukogude Liidus näiteks kasvab vabastatav energia igal aastal keskmiselt 10% võrra. Sellise tempo korral vabaneb inimese tegevuse tulemusena juba 200...300 aasta pärast (osa teadlaste arvates isegi tunduvalt varem, umbes saja aasta möödumisel) rohkem energiat kui Maa saab Päikeselt. Aga niisuguse energiahulga saamiseks on vaja ehitada miljard miljardit elektri-jaama igaüks võimsusega 100 000 kilovatti!

Sellisenäolise paistab tõsine ähvardus inimkonna tulevikule, mis näib ületamatu takistusena edasise progressi teel. Uuesti annab tunda «märkamatu» konstantide puutumatus.

Vaevalt võib end lohutada mõttega, et selleni on veel ohtrasti aega: paljugi mis võib ülejäänud 200...300 aasta jooksul juhtuda. Kaks-kolm sajandit on praegu muidugi hiiglaslik ajavahemik, arvestades teaduse ja tehnika hoogsat arengut. Ent asi on selles, et ammu enne seda, kui inimkond hakkab Päikeselt tuleva energiaga võrreldavas koguses energiat tootma, jääb progress seisma. Akadeemik N. Semjonovi arvates juhtub see juba siis, kui inimkond hakkab energiat tootma koguses, mis ulatub 10 protsendini Päikeselt Maale saabuvast energiast. Keskmise temperatuur kasvab siis 15°-lt 22° C-ni ja neid 7° võib maksimumselt lubatavaks lugeda. Kaugemale ilma elutingimusi ülemäära halvendamata minna ei saa.

Kuid näib, et siin peavad inimese uhkus ja väarikus mässu tõstma. Hea küll, oletame, et atmosfääri koostist ega ööpäeva pikkust vahetult muuta ei saa. Need konstandid on üldiselt kaunis süütud asjad ja kui nad ei talu

---

<sup>1</sup> 1964. a. nõukogude teadlaste poolt trükitud andmete alusel moodustab maa kogu maismaapinna kiirgusbilanss kaasajal (s. t. maismaa poolt saadav soojushulk) 49 kcal/cm<sup>2</sup>·aasta, inimese poolt toodetav soojushulk on keskmiselt 0,02 kcal/cm<sup>2</sup>·aasta, üksikutes maades aga 1 kcal/cm<sup>2</sup>·aasta.

<sup>2</sup> Need andmed esitas ÜRO majandusasjade komisjon.

kallaletunge, siis tühja ka — erilist vajadust selle järele pole. Aga et mingi konstant, ja veel «märkamata» hulgas, segaks inimkonda edasi liikumast! Seda juba ei ole, teadus on juba paljudest teel olevatest tõketest jagu saanud, sealhulgas ka nendest, mis näisid ületamatutena. Inimgeenius ei suuda leppida igasuguste piiridega — maha kõik piirid! Kas siis tõesti ei õnnestu toime tulla «konstandibarjääriga»?

Muidugi õnnestub. Kui tehaseid ning elektrijaamu Maa peale ehitada ei tohi, siis ehitatakse neid... väljaspoole Maad. Nagu lausuks Tsiolkovski: «Maa on inimkonna häll, kuid ei saa ju igavesti hällis elada.» Teadus on alustanud juba kosmose ründamist ja iga päevaga tehakse selles valdkonnas edusamme. Pole kahtlust, et puhtalt teaduslike eesmärkide saavutamise kõrval on kosmose alistamisel inimkonna seisukohalt erakordne praktiline tähtsus. Võib-olla üks tähtsamaid praktilisi tulemusi ongi suurema osa energiamahukate tootmisprotsesside üleviimine Maalt kosmosesse. Kui inimkonna teaduslik-tehnilise progressi tempo endistviisi pidevalt kasvab, siis mitmete teadlaste hinnangute kohaselt ületab «kosmiline» tootmine juba mõnesaja aasta pärast tuhandeid ja kümneid tuhandeid kordi maa-pealse. Seda nõuab üks paljudest «märkamatutest» konstantidest — Maa biogenosfääri keskmine temperatuur.

Ent pöördugem tagasi õhu keemilise koostise ja süsihappegaasi juurde. Kui eralduva energia tormilise kasvuga kaasnev inimkonna progress nõuab möödapääsmatult tootmise üleviimist kosmoseavarustesse, siis süsihappegaasi probleemi lahendamiseks pole, üldiselt öeldes, kosmos vajalik. Teadus tunneb teed probleemi radikaalseks lahendamiseks siinsamas, Maa peal, kusjuures lahendus ise tähendaks hiiglaslikku progressi inimsoo materiaalses kultuuris. Selle tee näitas XX sajandi üks suuremaid füüsikuid ja humaniste Frédéric Joliot-Curie.

Kui süsihappegaasi lisandumist atmosfääri ei saa takistada, siis tuleb taimeriigil aidata suurendada tema kulutamist. See ei tähenda muidugi, et aedade ja põldude alla tuleks eraldada üha uusi alasid. Aiad õitsevad, nad kaunistavad elu, kuid kallihinnaline maismaa on inimestele hoopis muuks vajalik. Ja pealegi on puud ning üldse taimed kehvad süsihappegaasi neelajad.

Nagu teada, omastavad taimed süsihappegaasi fotosünteesi protsessis, mis toimub valgusenergia neeldumisel

klorofülliterades. Kuid vaatamata miljonitele evolutsiooni-aastatele on fotosünteesi protsessi efektiivsus üldiselt väike. Taimed neelavad umbes 1% nende pinnale langevast päikesevalgusest, mis määrab ka omastatava süsihappegaasi hulga. Muide, võib arvata, et selline fotosünteesi efektiivsus pole sugugi juhuslik nähtus. Loodus võinuks fotosünteesi protsessi tõenäoliselt palju efektiivsemaks muuta, aga... milleks? Taimeriigi evolutsioon muutus just nii efektiivseks, kui oli vaja ainete tasakaalulise ringkäigu säilitamiseks looduses. Nii kujunes välja veel üks «märkamatu», kuid äärmiselt oluline konstant — fotosünteesi protsessi kasutegur.

Kuid inimese tahtmatu aktiivne sekkumine asjade loomulikkul kulgu rikkus kogu loo ära. Tekkis vajadus igaükselt suurendada fotosünteesi efektiivsust, ja sugugi mitte ainult seoses süsihappegaasi hulga ohtliku kasvuga atmosfääris. Fotosüntees on inimese heaolu alus; sellel põhineb tegelikult kogu inimeste poolt neelatava mitmekesise toidu tootmine.

Pole kerge toita kiiresti suurenevat elanikkonda. Mõned teadlased, nagu kurikuulsa Malthuse järelkäijad, propageerivad üldse selle probleemi lahendamist ja soovivad seepärast piirata elanikkonna juurdekasvu. Kuid tõeline teadus ei saa muidugi ühineda maltusiaanlaste kannibalistlike seisukohtadega. Inimgeenius otsib visalt muud lahendust sellele nii ulatuselt, tähtsusetult kui ka raskuselt tõeliselt grandioossele probleemile ja ta leiab selle.

Joliot-Curie' idee kohaselt peab niisuguseks lahenduseks kõrvuti taimede fotosünteesi kasuteguri järsu tõstmisega — selle kallal töötavad teadlased visalt — olema tolle imettegeva protsessi kunstlik tekitamine. Hiiglaslikud kõrge efektiivsusega tööstusseadmed väljaspool elusorganismide toimuva fotosünteesi jaoks võivad saada inimkonna tõelisteks toitjateks. Esimene tähtis samm eelseisval raskel teel on teadlastel võib-olla juba tehtud — hiljaaegu sünteesiti klorofüll, toosama roheline aine, mille terades toimub saladuslik fotosüntees. Lõplik teaduse võit kindlustab inimesi toiduga ja päästab neid ka liigsest süsihappegaasist atmosfääris.

Muuseas, huvitav on asjaolu, et teaduse kaugemas plaanis on uurida võimalust süsihappegaasiga «võitlemiseks» ka mujal, mitte ainult Maal. Arvatakse, et Veenuse atmosfäär sisaldab hiiglasuurel hulgal normaalset elu

takistavat süsihappegaasi.<sup>1</sup> Ühes projektis tehakse ettepanek paisata planeetidevahelise kosmoselaeva abil Veenusele ohtrasti ainurakseid sinivetikaid, ahneid süsihappegaasi neelajaid. Arvestuste järgi võivad inimesed juba mõne tuhande aasta möödumisel Veenuse «õhku» hingata.

Kuid süsihappegaasi hulk pole kaugeltki ainus Maa atmosfääri koostisega seotud oluline konstant. Maa õhkkond sisaldab suhteliselt tillukestes kogustes teisigi aineid, millest ühe hulka ei saa kuidagi vähendada, teiste hulka aga suurendada, ilma et kogu elusloodus ohtu satuks.

Toome ainult kaks näidet. Üks neist puudutab gaasi, mille olemasolu õhus me tavaliselt ei aimagi, ehkki tal on meie elus ülitähtis koht. See gaas on osoon, hapniku lähedane sugulane, mis erineb hapnikust vaid selle poolest, et tema molekulid ei sisalda mitte kaks, vaid kolm hapniku aatomit. Osooni esineb atmosfääris peaaesjalikult suuritel kõrgustel, nii 20...40 km. Maapinna lähedal tekib ta põhiliselt elektrilahenduste tagajärjel — just sellega seletubki õhu eriline «värskus» äikese ajal. Osooni üldhulk on nii väike, et normaalse atmosfäärirõhuni kokkusurutud osoonikihi paksus oleks kõigest 2—3 mm. Ja siiski on see tühine kiht sedavõrd oluline, et ilma temata oleks elu Maal tõenäoliselt võimatu.

Milles peitub osooni saladus? Et esitatud küsimusele vastust saada, tuleb tagasi pöörduda selle juurde, mida räägiti juba Maa atmosfääri läbipaistvusest. Mäletate, kuidas lühilainelist päikesekiirgust läbilaskev süsihappegaas peab kinni Maa pikalainelise soojuskiirguse? Sel kombel muutub atmosfääri läbipaistvus valivaks, ideaal-sest veel paremaks.

Kuid selgub, et Maa läbipaistva kattekihi valivad omadused pole sellega sugugi ammendatud. Kui süsihappegaas peab kinni pikalainelist elektromagnetkiirgust (on ju infrapunased kiired samuti elektromagnetlained), mis, nagu nüüd teame, on eluks väga oluline, siis niisama tähtis on kinni pidada ka Päikeselt saabuvat lühema lainepikkusega elektromagnetkiirgust. Tähtis sellepärast, et nähtamatu ultravioletti nagu soojuslik infrapunanegi mõjub hukatuslikult elusainele. Tõsi, mõningane osa ultraviolettkiirtest,

---

<sup>1</sup> Nõukogude kosmoselaeva «Venera 4» andmetel koosneb 90—95% Veenuse atmosfäärist süsihappegaasist. — *Tõlk.*

nimelt suurema lainepikkusega osa, toob isegi kasu (just see tekitab paljude jaoks nii ihaldatava pronksivärvi päevituse nahale). Kuid lühima lainepikkusega ultravioletne kiirgus, nn. kauge ultravioletti piirkond, on elusrakkudele surmavalt ohtlik.

Neidki kiiri läkitab Päike ohtrasti Maa peale, kuid asjatult hakkaksite neid maapinnale jõudvate päikesekiirte spektrist otsima. Teadlased isegi ei teadnud praktiliselt nende olemasolust (ehkki muidugi ei kahelnud, et nad on olemas), enne kui õppisid raketite, hiljem aga tehiskaaslaste abil oma mõõteriistu tihedast atmosfäärikihist kõrgemale viima. Alles seal muutus päikesespekter täielikuks. Maapinnal puudub päikesespektri kogu lühilaineline «saba» ja süüdi on siin just nimelt osoon — osooni molekulid neelavad lühilainelisi ultravioletseid kiiri. Sel kombel muutub osoonikiht nähtamatuks kilbiks eluohtliku päikesekiirguse teel.

On aga teada, et osooni molekulid on äärmiselt ebapüsivad — nad lagunevad väga ruttu, moodustades tavalisi hapniku molekule. Miks siis osoonisisaldus atmosfääris jääb alati praktiliselt ühesuguseks ja on seega veel üheks tähtsaks konstandiks?

Siin kohtume uuesti looduses nii sageli esineva dünaamilise tasakaalu ja enesereguleerimise suurepärase mehhanismiga. Kõrgetes õhukihtides toimub minutikski lakkmata kaks vastandliku iseloomuga protsessi. Ühest küljest moodustub päikesekiirguse mõjul pidevalt uusi osooni molekule, teiselt poolt nad lagunevad niisama vahetpidamata. Päeval on ülekaalus esimene, öösel — teine protsess; praktiliselt jääb osooni keskmine kontsentratsioon kogu aeg samaks.

Kui osoon atmosfäärist kaoks, siis tõenäoliselt sureks peagi välja kogu maapealne elu. Mis aga siis saab, kui osooni tekiks tunduvalt rohkem? Arvatavasti poleks selle nähtuse tagajärjed nii ohtlikud, ehkki tekiks tunduvad muutused Maa kliimas. Pealegi muutuks keerukamaks kõrglendude probleem. Juba praegu tekib seoses kaasaegsete lennukite lennulae pideva suurenemisega küsimus, kuidas kaitsta meeskonda ja reisijaid osooni kahjuliku mõju eest — on see gaas ju tugev mürk. Kui osooni hulk atmosfääris kasvab, siis «surutakse» lennukid vältimatult maapinnale ligemale, nad hakkavad lendama madalamal ja järelikult ka aeglasemalt. Või siis tuleb tavalise kondit-

sioneeritud õhu asemel varustada lennukite kabiinid tehisaatmosfääriga, s. t. sellise elutegevuse tagamise süsteemiga, nagu on praegu vahest ainult piloteeritavates kosmoselaevades ja kosmoplaanides. See aga pole just lihtne ülesanne. Nagu näha, on osoon atmosfääris tõepoolest tähtis, ehkki märkamatu konstant.

Kui aga osoonile praegu keegi veel kallale ei kipu, siis järgmises näites on olukord teisiti. Kas olete kunagi kuulnud arusaamatut sõna «smog»? Tõenäoliselt mitte. Kuid öelge seda ükskõik missugusele Londoni või Los Angelese elanikule Ameerika Ühendriikides, ja vähe sellest, et see sõna on talle tuttav — paljude Lääne elanike jaoks on smog suurim vaenlane. Niimoodi nimetatakse nähtust, mille on esile kutsunud inimene ise — nähtus on niisama kunstlik nagu sõnagi. «Smog» kujutab endast kahe tavalise ingliskeelse sõna «smoke» — suits — ja «fog» — udu — kombinatsiooni. Nii et kui juba täht-tähelt tõlkida, siis tähendaks «smog» midagi «suitsudu» taolist.

Mis on siis smog ja millega ta Londoni ning Los Angelesi elanikele niipalju pahandust teeb?

... Tragöödia toimus 1952. a. hilissügisel. Olgu ükskõik kes, aga londonlased on küll juba uduga harjunud rahvas. Kuid udu, mis neli pikka novembripäeva raske, läbitungimatu hallikaspruuni linikuna linna kattis, oli täiesti eriline ning ennenägematu. Inimesed lämbusid tema mürgistes aurudes, tema eest ei saanud kuhugi peituda, ta tungis läbi suletud aknalaukude ja lukustatud majauste, tänaval aga võis liikuda üksnes maskides.

Neli tuhat ohvrit nelja smogi-päeva kohta!... Tõeline õnnetus, millest jäid maha umbes 1900 aastat enne seda toimunud Pompeii ja Herculaneumi katastroofid — hukkus ju siis, 79. aasta augustis, Vesuuvi purske tagajärjel kaks korda vähem inimesi, mõlema igaveseks kadunud Rooma linna elanikku.

Millest aga tavaliselt üsna süütu Londoni udu nii kohutavaks muutus? Miks on sellised katastroofid toimunud eri ajal ka Ameerika Ühendriikide ja Lääne-Euroopa teistes linnades? Ja ega eespool kirjeldatud katastroof Londoniski ainus ole olnud — elanikele on meelde jäänud ka õudsed aastad 1948 ja 1962.

Smog tekib mõnede ebasoodsate meteoroloogiliste tingimuste korral: tihe udu, madal õhutemperatuur, tuuletus. Kuid peamine on selles, et uduga seguneb soojuselektri-

tsentraalide, tehaste ja suurte majade korstnate, autode ning mootorrataste mootoritest õhku lendav suits.<sup>1</sup> Sel juhul tekibki püsiv, kuni 10 päeva kestev lämmatav moodustis (nii oli näiteks 1953. a. novembris New Yorgis, see nõudis 240 inimelu). Nii et smog pole mitte sedavõrd ebasoodsate asjaolude kokkusattumise tagajärg kui just inimese kahjuliku mõju resultaat loodusele. Inimene reostab järelemõtlematult atmosfääri — elueliksiiri — kahjulike ainetega, muutes iidset konstanti — õhu keemilist koostist, ja maksab selle eest kõrget hinda.

Piisab, kui öelda, et inimese kopsu läbib tunni jooksul umbes kuupmeeter õhku<sup>2</sup>, aga sama tunni vältel suudab üksainus võimas soojuselektritsentraal õhku paisata kümneid tonne tuhka ning vääveldioksiidi. Pole midagi imestada, et suurlinnades nõrgeneb loomulik ultravioletne kiirgus vahel rohkem kui kahekordselt, aga seda kiirgust pole sugugi ju ainult pruunistumiseks vaja. Kahvatuks jäämisega võib veel leppida, aga nagu teada, tapab see kiirgus haigusttekitavaid mikroobe.

Mis juhtub siis, kui õhupuhtuse eest vajalikul määral hoolt ei kanta, seda võib näha kas või Los Angelesi puhul. Iga päev paiskavad selle kaheksamiljonilise elanikkonnaga linna tehased koos peaaegu nelja miljoni autoga (peamine osa kuulubki viimastele) õhku üle 4000 t mitmesuguseid kahjulikke aineid — vääveldioksiidi, lämmastikoksiidi, vingugaasi, süsivesinikke. Mõned neist on tugevasti mürgised ka üsna väikeses kontsentratsioonis — protsendi tuhandiku või isegi kümnetuhandiku korral. Aga igas kuupmeetris smogis sisaldub juba ainuüksi kuni 10 miljardit tahket tahmaosakest!<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Ametlike andmete põhjal heidavad suitsutorud (sealhulgas ka 12 000 jäätmete põletamise kombinaati) New Yorgi territooriumi iga ruutkilomeetri kohta kuus õhku 40 tonni tahma. Vahel sadestub linnale iga päev kuni 25 000 t tahma ja kahjulikku tolmu.

<sup>2</sup> Kopsu sattudes tungib õhk paljude mikroskoopiliste mullikeste — alveoolide võrku. Nende üldpindala ulatub 100 m<sup>2</sup>. Selle pinna kaudu toimubki hapniku imendumine verre ja süsihappegaasi eraldumine sellest. Kuid alveoolide kaudu satuvad verre ka kahjulikud ained, mida õhus niinimetatud aerosoolidena leidub.

<sup>3</sup> Smogi kahjulikku mõju said oma nahal tunda ka nõukogude sportlased, kes 1964. a. juulis viibisid Los Angelesis järjekordsel «gigantide matšil» — USA ja NSV Liidu kergejõustikuvõistlustel. Jooksude ajal jäi neil lihtsalt hing kinni. Ameerika ajakirjandus märgib, et kui olukord Los Angelesis otsustavalt ei parane, peavad linna elanikud vars-

Pole midagi imestada, et linnades, kus smog esineb, on suremus sageli keskmisest tunduvalt kõrgem, isegi kui välja jätta taolised katastroofid nagu Londonis. Viimase veerand sajandi jooksul on näiteks kopsuvähk nõudnud Ameerika Ühendriikides 10 korda rohkem inimesi kui varem sama aja jooksul. Poole sajandi vältel on suremus Inglismaa smogist mürgitatud linnades kasvanud 40 korda. Siin ongi arve hoolimatuse eest «märkamatu» looduslike konstantide suhtes!

Täiesti arusaadav, miks Ülemaailmne Tervishoiuorganisatsioon loeb õhu saastumist üheks kõige tõsisemaks ohuks maakera kaasaegse elanikkonna tervisele, suurlinnades aga isegi peamiseks ohuks.<sup>1</sup>

Kui palju võib hea tahtmise korral selle saastumisega võitlemisel ära teha, näeme kas või meie kodumaa pealinna põhjal. Esmakordselt maailmas on meil seadusega kehtestatud sanitaarnormid maksimaalselt lubatud kahjulike ainete sisaldavuse kohta õhus, on loodud spetsiaalne komitee atmosfääriõhu kaitseks koos laialdase vaatlusjamaade võrguga.

Moskva on maailma üks suuremaid tööstuskeskusi paljude tehaste, vabrikute, soojuskeskuste, autodega. Kuid tänu hoolitsusele elanikkonna tervise eest pole õhk seal mitte saastunud, vaid viimase 10—15 aasta jooksul 5—6 korda puhtamaks muutunud. Moskvalased võivad õigusega uhked olla: midagi niisugust pole veel kusagil mujal maailmas esinenud. Kuid nad pole rahul, vaid püüavad õhku, mida hingavad, veel puhtamaks ja paremaks muuta. Pealinnast eemaldatakse kahjulikke aineid eraldavad tööstused, katlamajad viiakse üle gaasiküttele, ehitatakse transporditunneleid ja tänavate maa-aluseid ületamis-

---

ti tänavatel ringi jalutama gaasimaskides. Üks Ameerika teadlane lausus Los Angelesi kohta, et «see on ainus linn maailmas, kus hommikul ärgetes võib kuulda linde... kõhinas!»! Paljud juurviljad ei kasva Los Angelesi mürgises õhus üldse. Selle linna smogi iseärasuseks on tema kuivus; niisuguse kuiva smogi päritolu on teine kui niiskel Londoni smogil. Et terminites vahet teha, otsustasid Ülemaailmsesse Tervishoiuorganisatsiooni kuuluvad teadlased nimetada smogiks Londoni-tüüpi mürgist udu, kuiva mürgist udu aga, mille tekkimises on otsustav osa päikesekiirgusel, nimetada fotokeemiliseks uduks.

<sup>1</sup> Tõenäoliselt polegi reaalsusest kaugel ameerika kirjanikud F. Pohl ja C. H. Kornbluth, kes oma ulmeromaanis «Kosmosega kaubitsejad» kirjeldavad Ameerikat 100—150 aasta pärast — kohutavaid, ilma õhuta linnu, täis nõge ja mürgiseid gaase.

kohti (ainuüksi tunnel Majakovski väljaku all vähendas vingugaasi hulka õhus neli korda — näete, mis tähendab mitte segada autode liiklust!).

Moskva on eeskujuks teistele maailma linnadele, tema jälgedes käiakse muudiski maades. Näiteks 1965. a. loodi Poolas samuti «Õhu Kaitsmise Büroo». Seal, kus inimeste eest hoolitsetakse, muretsetakse ka õhu eest...

Smog on kahjulik nii inimestele kui ka seadmetele ja masinatele. Selgub, et smogi mürgised omadused avalduvad selleski, et ta kiirendab mitmekordselt metalldetailide korrodeerumist, lagundab kummi, söövitab värve, suurendab mitmesuguste mehhanismide kulumist. Nii näiteks ühe inglise spetsialisti arvutuste kohaselt (need avaldati prantsuse ajakirjas «Science et vie») tegid kaks smogipäeva Inglismaal 1958. a. metallide roostetamise ja masinate kulumise tõttu kahju 50 miljoni naelsterlingi ulatuses; tõsi, siia hulka on arvestatud ka transpordi seisakutest tingitud kahjum jms.

Saastunud õhust tingitud korrosioon teeb ainuüksi San Franciscos 5 miljoni dollari eest kahju aastas. Keskmiselt maksab smog igale ameeriklasele 100 dollarit aastas. Nii et «tööstuslik udu» on hukatuslik tööstusele enesele. Õhu saastumine mõjub hävitavalt ka põllumajandusele. Näiteks USA-s teeb ta igal aastal 2,5 miljoni dollari eest kahju.

Tehnika areng viimaste aastate jooksul on viinud seleni, et atmosfääri saastumine levib üha kõrgematesse kihtidesse. Võimsa ballistilise kosmoseraketi start paiskab atmosfääri sadu tonne gaasilisi põlemisprodukte, peaaeglikult veeauru ja süsihappegaasi, kuid samuti palju teisi, sealhulgas ka tahkeid aineid. Muidugi lennutatakse võimsaid rakette praegu suhteliselt harva ja nende heitgaaside üldmass on tühiselt väike, kui seda kogu atmosfääri massiga kõrvutada. Aga kohe tekib kahtlus, kas selline suhtumine on õigustatud? Paisatakse need gaasid ju enamikus kõrgustele, kus atmosfäär on juba väga hõre ja tema mass väga väike. Seal, neil kõrgustel, võivad raketigaasid moodustada atmosfääri massist üsna olulise osa, eriti raketi-tehnika ja kosmonautika arengu tõttu (tegelikult on juba praegu ilmselt hilja katsuda uurida atmosfääri ülakihtide esialgset, loomulikku seisundit). Aga just nende atmosfäärikihtide osa on tema soojusliku enesereguleerimise ja üldise tsirkulatsiooni protsessides erakordselt tähtis.

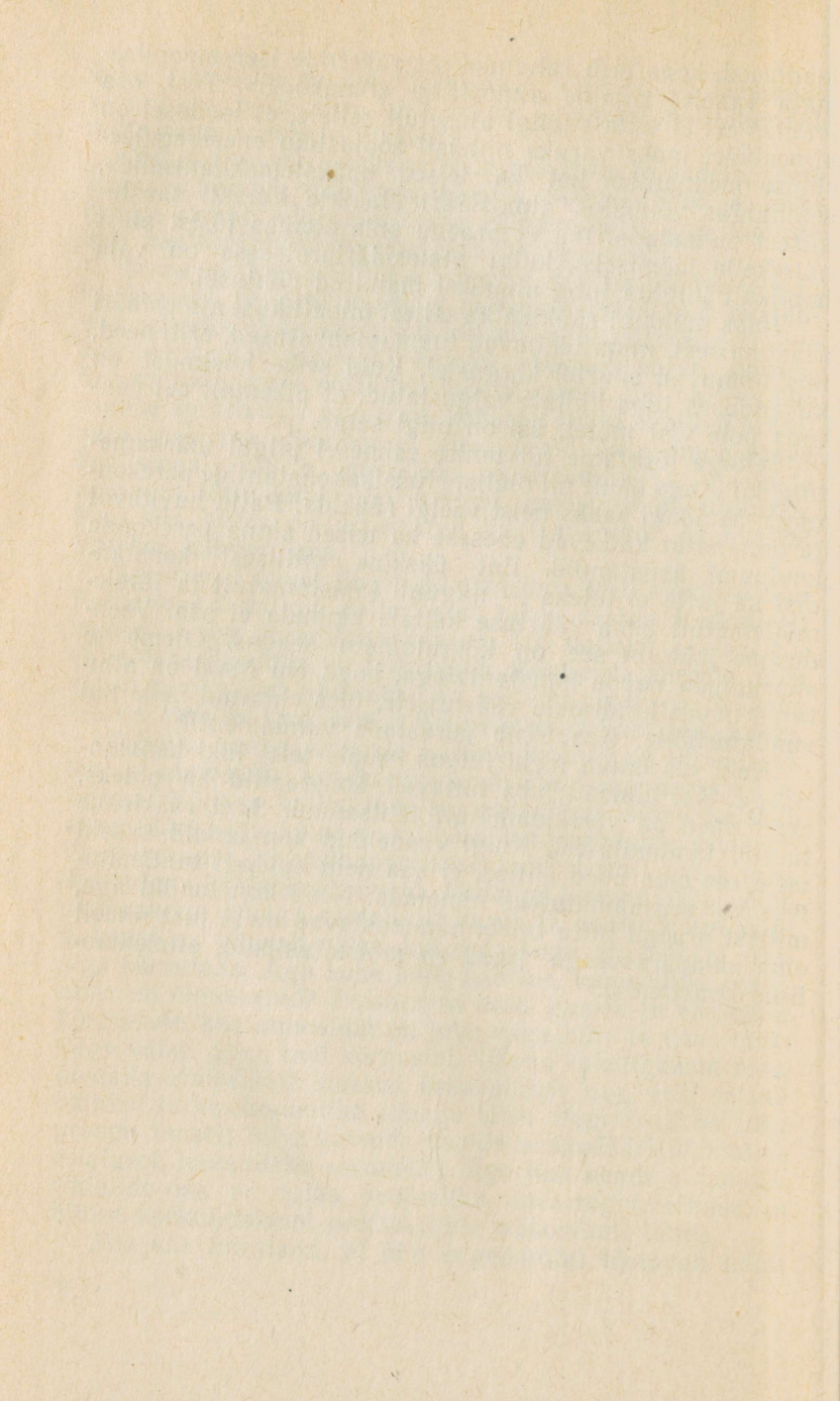
Mis siis imestada, et üha sagedamini tõstavad häält

teadlased, keda teeb rahutuks see rakettide tseremoonitsemata vahelesegamine atmosfääri «ilmakööki». Tõsi, osa teadlastest ei viita sugugi alusetult sellele, et loodusel on atmosfääri jaoks varuks niihästi soojusliku enesereguleerimise mehhanism kui ka teised «päästemehhanismid», sealhulgas võimalus atmosfääri ülakihte kiiresti saastumisest puhastada. Nii et praegu pole olemas tõsist alust häirekella löömiseks, kuigi atmosfääriprotsesse on vaja hoolikalt jälgida juba ainuüksi mainitud põhjusel.

Võiks muidugi rääkida ka sellest üliohtlikust atmosfääri saastumisest, mida tekitavad tuumaplahvatused, eriti need, mis toimuvad suurtel kõrgustel. Kuid seda küsimust on kirjanduses juba küllalt valgustatud, et pikemalt sel peatuda pole vist mõtet, asi on niigi selge.

Sellega lõpetame tutvumise esimesel pilgul märkamatute, kuid tegelikult nii oluliste füüsikakonstantide perekonnaga. Muidugi saaks neist veelgi rääkida. Palju huvitavat ja ootamatut kätkevad enesese ka teised sinna perekonda kuuluvad konstandid. Ent ükskõik millisest konstandist ka juttu ei tuleks — nagnii takistamatult ja järelemõtlematult tema väärtuse kallale kippuda ei saa. Veenusime juba, et see on kõigutamatu seadus. Oleme ju «harjunud» nende konstantidega, kogu elu Maal on allutatud nende kindlatele väärtustele, üles ehitatud neile kui vundamendile. Kas tohib purustada vundamenti?

Kuid ees ootab meid tutvus hoopis teist liiki konstantidega. Kui tähtsad juba tuttavad konstandid ka poleks, need uued on võrreldamatult tähtsamad. Seni rääkisime tuntud tundmatutest. Kuigi vaadeldud konstandid avasid meie ees oma uued küljed, ei saa neid kuidagi tundmatuteks või arusaamatuteks nimetada. Need konstandid aga, millest praegu juttu tuleb, hämmastavad meid just nimelt oma salapärasusega. Need on mõistatuslikud, sfinksitaolised konstandid.



TEINE OSA

## SFINKSITAOLISED KONSTANDID

*See osa on pühendatud konstantidele, mille paljusid saladusi pole teadus veel lõpuni avada suutnud, ehkki nad on meid ümbritseva maailma alus, on tõelised «vaalad», millele toetub universum.*



## VIIES NOVELL

### IDEAALNE MATEERIA

*On's õhk maitsev? Aine saladus. Samm mikromaailma. Loomisaegne kaos. Mida vähem korda, seda parem. Ideaalne gaas — füüsiku unistus. Osakese juurest ansambli juurde. Esimene sfinksitaolistest konstantidest. Gigantmolekul. Mis on absoluutne null. Kuidas loendada nähtamatuid molekule. Kuus 23 nulliga. 100 meetri sügavusel ja 10 kilomeetri kõrgusel. Vedelas õhus ja katla küttekolde. Konstandid on «teistsugused», maailm aga seesama.*

Meie raamatu esimese osa kahes viimases novellis tegutses üks ja sama kangelane — meid ümbritsev õhk. Mis siis ikka, kangelane väärib igakülgset austust — vaevalt küll miski muu on kõige maapealse jaoks nii oluline ja inimestele nii hästi tuttav.

Kuid kas me teamegi tegelikult õhust eriti palju?

Meie meeleorganid ei anna tema kohta just ohtrasti andmeid. Näha me õhku ei saa — ta on läbipaistev; meil jääb üle vaid tunnistada, et õhk pole puhas, kui temas leidub nähtavaid lisandeid. Me tajume õhuliikumist — kord õrna nagu kerge tuulepuhang, kord tugev ja ähvardav nagu orkaan. Küllalt täpselt oskame otsustada õhutemperatuuri üle — jahe, külm... Õhk ei lõhna ja me haistame vaid temas leiduvaid kõrvalisi lisandeid. Maitset õhul kahjuks ka ei ole.

Näib, et ongi kõik.

Vahest ainult veel heli... Tõepoolest, ega's asjatult pühendanud me heli saladustele tervet novelli! Õhk ise on suuteline helisema nagu Aiolose harf ja temas levib hästi heli, mille kiirus, nagu nüüd teame, on oluline füüsikakonstant.

Kui me oma ebatäiuslikele meeleorganitele mitmesugused teadlaste loodud mõõteriistad abiks võtame, siis laieneb teadmiste ring õhust kiiresti, andmed ise aga muutuvad täpsemaks ja usaldatavamaks. Me saame teada õhu keemilise koostise (samuti oluline konstant), tema rõhu ja temperatuuri, tema liikumiskiiruse, kui kiiresti levib seal heli jne.

Lõpuks võime teadlaste poolt kasutatavate mitmesuguste teravmeelsete vahendite abil nähtamatut nähtavaks muuta — võime jälgida, kuidas läbipaistev õhk liigub, millised nähtused (vahel ülikeerulised) seda liikumist saadavad. Soovi korral võime kõiki neid nähtusi fotografeerida. Kui palju õhu varjatud saladusi on teadlastel õnnestunud sel kombel välja selgitada! Ilma taoliste uurimusteta ei saa ju lennukit ehitada, kompressorit või turbiini efektiivselt tööle rakendada, kiirautot või -vedurit luua, lindude ning putukate lennu saladusi avastada, end orkaani kohutavate tagajärgede eest kaitsta. Kõike pole võimalik üles lugedagi.

Muidugi on sellised andmed köitvad ja huvitavad juba lihtsalt niisama, iseenesestki, aga peale selle on nad äärmiselt olulised paljudes teadus- ja tehnikaharudes ning samuti igapäevases elus. Kuid kas juurdlev mõistus piirub vaid nendega? Kas nad ammendavad kogu teadmiste varaaida õhu kohta? On ju olemas õhu ja teiste gaaside kohta käivad üldised füüsikaseadused. Neid tunnevad kõik juba koolipingist, näiteks seadust, mis kannab inglise füüsiku Boyle'i ja prantsuse füüsiku Mariotte'i nime, või seadust, mis on saanud oma nime prantsuse füüsiku Gay-Lussaci järgi.

Tõepoolest, teadlastel (süüa kuulub ka prantsuse füüsik Charles) õnnestus katsete varal kindlaks teha, et mingi gaasimassi, näiteks 1 kg õhu või mõne teise gaasi rõhk ja temperatuur, temperatuur ja ruumala, aga samuti rõhk ja ruumala on vastastikusel sõltuvusel. Muudad neist ühte (nagu ütlevad teadlased — ühte parameetrit), muutub kindlasti ka teine. Ja muidugi mitte meelevaldselt, vaid täiesti kindlal viisil.

Kui näiteks õhku mingis hermeetilises nõus soojendada, tõuseb kindlasti tema rõhk; kui temperatuur tõuseb näiteks kaks korda, siis niisama palju kordi suureneb ka rõhk. Võib-olla kõige olulisem on siinjuures see, et sellised muutused on ühesugused kõigi gaaside puhul. Need seadused

võtaksid nagu oreooli «jumalikult» õhult, alandaksid ta võrdsena võrdsete tasemele, muudaksid üheks suurest hulgast inimestele tuntud gaasidest. Muide, nagu teame, on õhk ise vaid erinevate gaaside segu.

Kuid meil polnud üldse kavas lugejale kooliõpingis õpitud gaaside seadusi lihtsalt meelde tuletada. Muidugi laiendavad need seadused paljuski meie teadmisi õhust, kuid kas nende tähtsus on ainult selles? Kas ei sunni nad juurdlema mingite teiste, seni meie teadmiste eest veel varjatud põhiliste looduseaduste üle?

Tegelikult näitab katse, kuidas on omavahel seotud õhu rõhk ja temperatuur, aga kas katse võib seletada, miks see on just nii, mitte aga teisiti? Katse näitab, et leitud seadused kehtivad kõikide gaaside, mitte ainuüksi õhu kohta, aga ta ei suuda anda vastust küsimusele, millest selline seaduse universaalsus on tingitud. Ilmselt jääb niisugustele küsimustele vastamisel ainult katsest väheks. Uute katsete abil võib avastada veel palju teisi gaaside ja õhu kohta käivaid seadusi; teadus ongi neid juba avastanud. Kuid katsed ei selgita, miks antud seadused kehtivad. Ilmselt ei piisa gaasi käitumise õigest kirjeldamisest, tuleb avada mingid sisemised põhjused, mis sellise käitumise dikteerivad. Eks ole, see ülesanne on veelgi tähtsam?

Nii jõuame vältimatult vajaduseni minna küsimuselt «kuidas käitub gaas» üle tunduvalt keerulisemale ja raskemale küsimusele «miks ta käitub selliselt». Mida siis lõpuks kujutab endast gaas? Ilmselt pole viimasele küsimusele vastamata lootust gaasi käitumist määravat sise-  
mist mehhanismi avada.

Muidugi ei tekkinud see küsimus teaduse ette alles praegu. Nagu teada, ei andnud aine ehituse probleem teadlastele rahu juba kauges minevikus. Just siis, iidse Kreeka, Rooma, India kultuuride õitseajal ilmusid esimesed intuiitiivsed ettekujutused sellest, et aine koosneb pisimatest osakestest — aatomitest («aatom» tähendab kreeka keeles «jagamatu»). Nii õpetasid peaaegu kaks ja pool aastatuhandet tagasi vanakreeka filosoofid Demokritos ja Leukippos; nende järelkäijad Epikuros ja Lucretius ja teised mõtlejad.

Loomulikult oli see tollal paljalt oletus — teadusel polnud ega saanudki olla veel fakte, mis oleksid kinnitanud atomistlikke vaateid. Esimesed seda liiki tõendid ilmusid umbes poolteistsada aastat tagasi. Nüüd enam ei tekita

aatomite ja molekulide, nende kogu universumi ehituskivikeste eksisteerimine kelleski kahtlust. Ainult nende abil saab selgitada tohutut hulka mitmesuguseid katseliselt kindlaks tehtud sõltuvusi, seoseid, seaduspärasusi, tõsiasi. Vähe sellest, viimasel ajal on elektronmikroskoobi abil õnnestunud näha üksikuid suuremaid molekule ja nn. ioonmikroskoobi abil isegi üksikuid aatomeid kristalli ruumvõres.<sup>1</sup>

Ei tule aga arvata, et atomistlik teooria võitis kergesti ja veretult, et juba esimesed tõendid selle teooria kasuks veensid kõiki kõhklejaid-kahtlejaid. Sugugi mitte. Atomistlik teooria võitis endale eluõiguse visas võitluses nende teadlastega, kes printsipiaalselt lükkasid tagasi igasuguse võimaluse seletada aine jälgitavaid omadusi mingite nähtamatute aatomite abil.

Möödunud sajandi lõpuks kujunes füüsikute ja filosoofide hulgas üsnagi arvukas ja sugugi mitte vähem mõjukas koolkond, kes kinnitas kategooriliselt, et uurida saab ainult vahetult meie meeleorganite poolt tajutavaid välismaailma esemeid. Selle koolkonna juhid Mach, Ostwald jt. tungisid kallale neile teadlastele, kes atomistlike ettekujutuste varal püüdsid selgusele jõuda jälgitavate nähtuste sisemises mehhanismis. Veel käesoleva sajandi algul kuulutas üks selle koolkonna korüfeedest keemik Wilhelm Ostwald oma loengul, et «atomistlikul teorial oleks juba ammu aeg raamatukogude tolmus hallitada».

Pole midagi imestada, et nende vastu, kes kaitsesid looduseaduste printsipiaalset tunnetamatust, astus vihaselt välja suur revolutsionäär ja teadlane V. I. Lenin. Oma raamatus «Materialism ja empiriokrititsism» (kirjutatud 1908. a.) kritiseeris ta hävitavalt hädafilosoofide vaateid, näitas kogu nende reaktsioonilisust. Vladimir Iljitši raamat innustas atomistliku teooria pooldajaid, kes visalt püüdsid avastada vaieldamatuid tõendeid aatomite reaalsest eksisteerimisest.

Selleks et gaaside käitumise katsete teel saadud seadusi selgitada, tuleb ilmselt meilgi teha otsustav samm makromaailest, suurte masside maailmast, mikromaa-

---

<sup>1</sup> Peab muidugi meeles pidama, et aatomit selle sõna otseses mõttes vahetult näha ei saa — on ju tema mõõtmed (suurusjärgus  $10^{-8}$  cm) mitu tuhat korda väiksemad nähtava valguse lainepikkusest, nii et mikroskoobi all me teda ei näe. Valguskiired ei suuda edasi anda aatomi piirjooni — aatom on selleks liiga väike. Tuleb kasutada kaudseid teid.

ilma, saladuslikku, nähtamatusse aatomite ja molekulide maailma. See on alles esimene samm köitval teekonnal aine sügavusse, mida me praegu sooritama asume.

Just sellel teel kohtumegi mõistatuslike sfinksitaoliste konstantidega. Meid ootab ees palju ebatavalist ja ootamatut, millega me makromaailma inimeste igapäevase elupraktika seisukohalt pole harjunud, ja mida sügavamale mikromaailma, seda «kummalisem» ta näib, seda rohkem tuleb ootamatusi.

Niisiis, julgelt edasi tundmatusse — aatomite ja molekulide mikromaailma. Kui me nende tibatillukeste ainekübemete maailmas Gulliveri ei taha mängida ega suuruselt silma paista, siis tuleb meil kahaneda mõõtmetes vaid mingid... kümned miljardid korrad! Aga mida teaduse nimel küll ei tehta! Ja juba meil ongi õhu molekuli mõõtmel, tähendab, meie pikkus mõõhtub sajamiljondikega sentimeetrist. Mis on selle kõrval mõni põialpoiss! Lausa uskumatu hiiglane meie mikromaailmas.

Aga kuhu me oleme sattunud? Milline kujutlematu kaos valitseb ümberringi! Igas suunas kihutavad erineva suuruse ja kujuga molekulid. Noh, see mitmekesisus on täiesti arusaadav, sest koosneb õhk ju erinevatest gaasidest. Tõepoolest, ühe «tegumoega» molekule on väga palju, ilmselt on see lämmastik, teised on väiksemad, vist hapniku molekulid, aga mõningaid kohtab tunduvalt harvem — ilmselt on need mitmesuguste lisandite molekulid. Ka molekulide kiirused erinevad tugevasti; enamik neist liigub umbes ühesuguse kiirusega, osa aga tormab tunduvalt rutem, sellal kui leidub ka aeglasemaid.

Et mingeid liicluse reguleerijaid mikromaailmas pole, siis on arvukad kokkupõrked vältimatud. Mitte nii nagu kihulaseparves, kus kunagi kokku ei põrgata. Ja tõepoolest, me näeme, kuidas kord siin, kord seal otsejoones kihutavad molekulid käratult kokku põrkavad. Kuid seejuures, erinevalt kokkupõrkavatest autodest, ei juhtu nendega mitte midagi, ehkki molekulide kiirused on palju kordi suuremad isegi rekordautode kiirustest — nad ulatuvad sadade meetriteni sekundis.

Näiteks põrkasid otsejoones kokku kaks kiiret molekuli. Tänaval oleks kokkupõrkajatest üksnes pudru järele jäänud, aga siin on asi hoopis teisiti — hetkeks nagu tardusid mõlemad paigale, siis aga lendasid uuesti laiali ja kihutasid, nagu polekski midagi juhtunud, jälle tagasi.

Siin pörkasid küljetsi kokku kaks molekuli ja lendasid edasi, muutes ainult veidi oma esialgse liikumise suunda. Hea, et meie teiega ainult mõtteliselt sellesse üldisesse tohuvabohusse sattusime, ega me käsi hästi poleks käinud. Ei ole me ju molekulid ja meie jaoks oleksid sellised loendamatud pörked üsna kurvvalt võinud lõppeda. Arusaadav, miks molekulid paigale ei jää — mis liikumatuses saab juttu olla, kui sind igast küljest tõugatakse!

Ent jälgime edasi. Ehkki kogu ruum ümberringi lausa kihab kiiretest molekulidest, ei meenuta see meile üldsegi tuubil täis trammi. Tegelikult peab tunnistama, et siin on isegi üsna lahe — keskmiselt asub üks molekul teisest kaugusel, mis umbes 10 korda ületab molekuli enese mõõtmed. Iga trammivaguni kohta tuleks siis kõigest kaks, maksimaalselt kolm reisijat. Mitte just tihedalt, eks ole?

Mis siin siis imestada, et kuigi molekulid ei jää hetkekski paigale, vaid liiguvad kõikvõimalikes suundades, ei pörka nad kaugeltki iga hetk kokku. Ühest pörkest teiseni jõuab molekul läbida keskmiselt üsna pika maa, kuni satub mõnele oma naabrile; see tee on ligi tuhat korda suurem molekuli enese mõõtmetest. Kui oleksime oma tavalises makromaailmas, siis tähendaks see, et pörkest pörkeni jookseksime sirget pidi takistamatult läbi umbes kilomeetri. Muidugi on molekulide tee pörgete vahel (nii teadlased seda nimetavadki — vaba tee pikkus) võrreldamatult väiksem, kõigest tuhandikud osad kilomeetrist, kuid ka molekulid ise on meist palju väiksemad.

See-eest ajaliselt korduvad iga molekuli pörked väga sageli, tegelikult on nende liikumine pidev pörgete, löökide, tõugete ahelik. Tõepoolest, kui palju aega kulub siis keskmiselt sadu meetreid sekundis kihutaval molekulil nendesamade mikronite läbimiseks, mis lahutavad teda järjekordsest pörkest? Mingid sekundi miljardikud. Tähendab, sekundi jooksul saadakse ka miljardeid lööke.

Kui möödakihutavaid molekule lähemalt vaadelda, siis võib märgata, et ega nad lihtsalt ei kihuta: paljud neist pöörlevad oma lennul — kord kiiremini, kord aeglasemalt, aga teised veel ilmselt võnguvad, kord paisudes, kord kokku tõmbudes.

Aga heitke pilk tolele kaugusse suunduvale, lõputule kõvale pinnale. See on ju lihtsalt ruumi sein, kus asume. Näete, sellel on loendamatu hulk õhu molekule? Sõna otse-

ses mõttes ei ole ühtki vaba kohta. Osutub, et need molekulid pole sugugi sein külge kleepunud — kord üks, kord teine rebib end lahti ja lendab minema. Nende kohad hõivavad otsekohe teised molekulid — näete, põrkas vastu sein, jäi hetkeks rippuma ja tormas minema.

Kuidas orienteeruda kogu selles ringiaskeldavate gaasimolekulide kaoses? Ülesanne käib tõesti üle jõu. Kaos ongi kaos, mis siin veel «sisemisi vedrusid», «peidetud seaduspärasusi» või «saladuslikke konstante» otsida!

Tuleb aga välja, et nii mõtleme ainult meie, lihtsurelikud. Vähe sellest, et teadlast kaos ei hirmuta, see isegi... meeldib talle. Kaos? Olgu pealegi, see on ju suurepäranel!

Näiteks tahkes kehas valitseb tunduvalt suurem kord, aga kristallis paiknevad aatomid üldse ideaalselt korrapäraselt, sümmeetriliselt, ja ainult võnguvad veidi oma asendite ümber. Aga kas tahket keha on kergem uurida? Hulga keerulisem, sest seal asuvad esiplaanile teatavast kaugusest mõjuvad aatomitevahelised elektromagnetilise olemusega jõud. Aatomitevahelised (ja molekulidevahelised) jõud annavad end tunda ka vedelikus. Ja ainult gaasis neid peaaegu ei ole, seepärast liiguvadki gaasi molekulid ja aatomid nii korrapäratult, kaootiliselt. Tähendab, kaos on esimene tunnus, et vastastikuse mõju jõud puuduvad või on väga nõrgad. See aga on teadlase jaoks suur õnn, sest niisuguste jõudude mõjul toimuvat liikumist ei õnnestu harilikult detailideni uurida, tähendab, ei õnnestu saada ka täit ettekujutust aine käitumisest.

Nii muutub kaos gaasi uuriva teadlase vaenlasest tema sõbraks. Ja kui tal tuleb siiski midagi kahetseda, siis eelkõige seda, et aatomite- või molekulidevahelised jõud avalduvad ka gaasis, nad ei puudu siin täielikult. Mäletate, me nägime, kuidas gaasi molekulid ja aatomid teineteisega või seinaga kokku põrgates nagu hetkeks tardusid? Siin andsid end tunda vastastikuse mõju jõud, sest need ilmnevad eriti tugevasti väikestel kaugustel, tähendab, põrke puhul. Kui oleksime tähelepanelikumalt jälginud, siis võinuksime märgata, et niihästi kokkupõrkavate kui ka lihtsalt teineteise lähedalt möödalendavate molekulide lennu-suund ja kiirus muutuvad veidi. Siingi on mängus need samad salakavalad vastastikuse mõju jõud!

Kui gaasis avalduvad need jõud nõrgalt, siis ainult sellepärast, et kaugused gaasiosakeste (molekulide ja aatomite) vahel on suhteliselt suured, palju suuremad osa-

keste eneste mõõtmetest. Pruugib neil kaugustel vaid väheneda, kui otsekohe avaldub vastastikune mõju tugevamini, siis veel tugevamini, aga siis... Siis lakkab gaas olemast gaas ja muutub vedelikuks või tahkeks aineks ning ongi kõik. Nagu looduses sageli esineb, läheb siingi kvantileet üle kvaliteediks — osakestevahelise kauguse vähenemisel ületatakse mingi kriitiline piir ja molekulide vahel mõjuvad jõud muudavad hüppeliselt aine olekut, gaas kondenseerub. Keskmised kaugused aatomite vahel on tahke aine puhul samas suurusjärgus aatomite enesega, s. t. umbes ühe järgu võrra (10 korda) väiksemad kui gaasis. See üks järk osutubki määravaks.

Tõsi, asi pole siin mitte ainult osakestevahelises kauguses. Väga tähtis on ka osakeste liikumisenergia. See on arusaadav — kui näiteks piljardi- või keeglakuulile anda tugev löök, siis mingi prügi või tilluke teekonarus ei muuda märgatavalt tema liikumissuunda, aga kui kuulike vaevu liigub, siis võib kõik teisiti olla. Täpselt samuti ei avaldu nõrk molekulidevaheline jõud juhul, kui molekulidel enestel on tunduv kineetiline energia, kui nad kihutavad väga kiiresti, väikese kiiruse korral aga võib niisuguse nõrga jõu mõju juba üsna märgatav olla. Seepärast tulebki gaasi veeldamiseks teda jahutada; sel juhul gaasi-osakeste liikumine aeglustub, energia väheneb ja molekulidevahelised jõud muutuvad väga tugevaks.

Enamiku nn. püsivate gaaside, sealhulgas ka õhu puhul (püsivateks nimetatakse gaase, mis säilitavad gaasilise oleku tavaliste temperatuuride ja rõhkude diapasoonis) avalduvad molekulidevahelised jõud nii nõrgalt, et harilikult võib nende mõju jätta tähele panemata ja rääkida, füüsiku suureks rõõmuks, et need jõud puuduvad üldse. Mis siin siis imestada, et selliseid gaase tavatsevad füüsikud ideaalseteks nimetada. Või veel, unistuste tipp! Ei mingeid jõude molekulide vahel, ei mingit vastastikust mõju ega sellega seotud asjatuid keerukusi.

Tõsi, ideaalse gaasi puhul tuleb tähele panemata jätta veel üks asjaolu, nimelt osakeste eneste mõõtmed, see tähendab, lugeda molekule ja aatomeid omapärasteks mõõtmeteta materiaalseteks «punktideks». Niisuguse eelduse võib teha ilma erilise patustamiseta — tuletage meelde, kui palju olid molekulid väiksemad nende omavahelistest kaugustest. See-eest lihtsustab niisugune eeldus

gaasi uuriva füüsiku ülesannet tunduvalt. Mõistagi ei kehti ideaalse gaasi jaoks saadud seadused täpselt reaalsete, tegelikkuses eksisteerivate gaaside korral. Kõrvalekaldumised ideaalsusest ei ole harilikult eriti suured, kuid nad on üsnagi printsiipiaalse loomuga. Ühest küljest peegeldavad nad looduse saladustesse tungida püüdva teadlase ette kerivate probleemide tõelist olemust, teisest küljest iseloomustavad niisugusel uurimisel kasutatavat meetodit. Tõepoolest, iga loodusnähtuse idealiseerimine, mitmesugused eeldused ja lihtsustused on teadlasele vajalikud selleks, et ta saaks kindlaks teha põhilised seaduspärasused ja jätta kõrvale erijuhud. Ent hiljem, kui niisugused «idealiseeritud» seadused on juba leitud, võimaldab üksnes nendesama, esialgu kõrvale jäetud «teisejärguliste» suhete hoolikas analüüs teadlasel sügavamalt looduse saladustesse tungida. Kui sageli teaduse ajaloos on just need, esimesel pilgul tühised ebatäpsused põhilistena paistnud loodusseadustes viinud uute, veelgi põhilisemate ja tõelist loodust paremini kirjeldavate seaduste avastamisele!

Ent pöördugem tagasi meie «ideaalse materia» — ideaalse gaasi juurde. Oletagem, et tegime kõikvõimalikud lihtsustused ja eeldused. Kuidas siiski nende kaootiliselt liikuvate mikroskoopiliste gaasiosakeste müriaadide abil näha üldisi füüsikaseadusi, mis gaasi «makrokäitumist» juhivad?

Kui me talitaksime nii nagu teadlased, kes uurivad mingite kehade liikumist meie makromaailmas, s. t. jälgiksime iga keha eraldi ja koostaksime tema jaoks liikumisvõrrandi (niipalju kui on kehi, niipalju tuleb ka võrrandeid), siis ei jõuaks me muidugi mitte kuhugi. Iga kuupsentimeeter gaasi sisaldab tavalistel tingimustel loendamatu hulga molekule, umbes 30 miljardit miljardit. Kas kujutlete endale Sysophose tööd nende võrrandite koostamisel ja lahendamisel, olgu pealegi elektronaju abil? Aga teisiti ei saa osakeste kõikvõimalikke pörkeid ja nende tagajärgi ette näha, s. t. ilmselt ei saa ka gaasi käitumist ennustada.

Õnneks pole vaja lahendada miljardeid võrrandeid. Füüsika on loonud võimsama vahendi mikromaailma ja tema loendamatu hulga ühenäoliste kangelaste uurimiseks. Selleks vahendiks on statistilised meetodid, mille kasutamisel ei tehta järeldusi mitte iga mikroosakese kohta eraldi, vaid kõigi kohta koos, ehk nagu ütlevad teadlased, terve

osakeste ansambli kohta. Statistilise füüsika<sup>1</sup> meetodid ei võimalda otsustada iga üksiku osakese, iga molekuli või aatomi saatuse üle, kuid sel saatusel pole teaduse jaoks mingisugust tähtsust. See-eest just osakeste tohtu hulga tõttu osutub võimalikuks teha olulisi järeldusi kõigi osakeste keskmise käitumise kohta. Just niisugune käitumine huvitabki meid antud juhul, sest see esitab makro-hulkade, s. t. suurte gaasimasside käitumist.

Kõigist statistiliste meetoditega saadud füüsikalistest järeldustest on kõige olulisem arvatavasti järgmine põhilise tähtsusega seadus, mis puudutab kõiki gaase (ja mitte ainult gaase) ning on järelikult universaalseks seaduseks. Pealegi viib see seadus mitmete suure teoreetilise ja praktilise väärtusega järeldustele. Meile pakub mainitud järeldus erilist huvi, sest sellega on seotud ühe ülitähtsa ainet kui niisugust iseloomustava konstandi ilmumine füüsikasse. See konstant ongi käesoleva novelli kangelaseks.

Seda esimest vaadeldavatest põhikonstantidest võib täie õigusega just sfinksitaoliseks, mõistatuslikuks konstandiks pidada. Igapäevases elus ei puutu me kokku ei selle ega teiste taoliste konstantidega, seepärast pole meil tavaliselt aimugi nende olemasolust, kuigi just nemad juhiavad märkamatu ja salamisi paljusid elunähtusi.

Konstant on nime saanud kuulsa austria füüsiku Ludwig Boltzmanni järgi (1844—1906), kes andis suure panuse aine molekulaarteooria ja teiste füüsika piirialade arengusse. Boltzmanni konstant (ehk jääv suurus; seda märgitakse tavaliselt tähega  $K$ ) määrab kindlaks selle, kui palju muutub iga gaasi molekulide kaootilise liikumise keskmine kineetiline energia gaasi temperatuuri muutumisel  $1^{\circ}\text{C}$  võrra. Seepärast mõõdetaksegi Boltzmanni konstanti energiaühikutes — ergides kraadi (s. t. temperatuuriühiku) kohta<sup>2</sup>. Boltzmanni konstandi väärtus  $K=1,38 \cdot 10^{-6}$  erg/kraad. Kaduvväike suurus, pole midagi öelda, kuid molekulil endalgi on tühised mõõtmed.

Nüüd me teame, mida kujutab endast Boltzmanni kons-

---

<sup>1</sup> Antud juhul räägitakse tavaliselt statistilisest mehaanikast, mille väljaarendamine kuulub XIX sajandi füüsikute Clausiuse, Maxwelli, Boltzmanni jpt. väljapaistvamate saavutuste hulka.

<sup>2</sup> Täpsemalt, arvuliselt pole Boltzmanni konstant võrdne mitte molekuli kogu kineetilise energia muutusega, vaid ainult  $\frac{2}{3}$ -ga sellest. Niisugune kokkulepe on tehtud selleks, et Boltzmanni konstanti sisaldavaite valemite vältida murdarve.

tant, aga ega me praegu tema «fundamentaalsusest» veel täiel määral aru ei saa. Seejuures on kerge näha, et selle konstandi abil õnnestub kindlaks teha lihtne seos gaasi molekulide kaootilise liikumise kineetilise energia  $E$  ja gaasi temperatuuri  $T$  vahel. Tõepoolest, Boltzmanni konstandi  $K$  määrangu järgi on molekulide liikumisenergia  $E = \frac{3}{2} KT$ .

Viimane avaldis kujutabki endast seda ülitähtsat teaduslikku järeldust, millest eespool juttu oli, sest ta avab temperatuuri mõiste füüsikalise sisu. Kas on vaja rääkida sellest, missugust põhilist osa etendab see mõiste looduses? Aga selgitada, mis asi temperatuur õieti on, polegi nii lihtne, ehkki me iga päev temast räägime.

Meie uus tuttav — Boltzmanni konstant — võimaldab anda küsimusele täpse vastuse. Ilmselt pole gaasi temperatuur mitte midagi muud kui gaasi molekulide kaootilise liikumise intensiivsuse mõõt. Niisugust liikumist nimetatakse tavaliselt soojusliikumiseks, sest soojusenergia ongi molekulide liikumisenergia. Veel täpsemalt, temperatuur on molekulide soojusliikumise keskmise kineetilise energia mõõt.

Me teame juba, et tegelikult on gaasi molekulide kiirused erinevad, seepärast on erinev ka molekulide kineetilise energia. Kuid energia keskmine väärtus määrab gaasi temperatuuri<sup>1</sup>, kusjuures eriti oluline on asjaolu, et samal temperatuuril on kõigi gaaside molekulidel ühesugune keskmine liikumisenergia.

Viimane tõsiasi annab printsiipiaalse võimaluse määrata Boltzmanni konstandi väärtust vahetult katsest. Selleks tuleb küllalt pikka aega jälgida mingit ühte gaasi molekuli. Arusaadavalt muutub iga molekuli tõeline liikumiskiirus teiste molekulidega kokkupõrkamise tagajärjel pidevalt, aga kui võtta küllalt pikk ajavahemik, siis iga molekuli keskmine energia on alati üks ja sama, vastates täpselt gaasi temperatuurile.

Kahjuks ei võimalda ükski, ka kõige võimsam olemasolev mikroskoop mingi ühe «märgitud» molekuli jälgimiskatset korraldada. Katse osutuks võimalikus sel juhul, kui

---

<sup>1</sup> Ja vastupidi, temperatuur määrab molekulide soojusliikumise keskmise energia. Järelikult võib seda energiat mõõta kas tavaliselt energiaühikutes — ergides — või siis Boltzmanni konstandi abil — kraadides.

õnnestuks leida ebatavaliselt suurte molekulidega gaas, nii et neid molekule saaks mikroskoobi all näha. Piisaks ühestainsast mingisse tavalisse gaasi, näiteks õhku asetatud molekulist. Aga kust leida vajalikku hiiglamolekuli?

Selgub, et võib läbi ajada ka taolise «ülimolekulita». Selle võib asendada tühiselt väikese liivaterakese või peenima pulbri osakesega. Muidugi pole niisugune osake molekul, vaid ta koosneb paljudest tuhandetest molekulidest, aga kui osake ise on ikkagi küllalt väike, siis ei jää ta gaasis paigale. Ringiaskeldavate gaasi molekulide löökide mõjul hakkab see osakegi kaootiliselt liikuma. Igal hetkel osutuvad molekulide löögid mingist ühest suunast tugevamaks ja osake nihkub vastavalt edasi. Järgmisel hetkel on tema liikumissuund juba teine. Ülipisikeste osakeste siksakilist teed võib tõepoolest katseliselt jälgida nn. Browni liikumise puhul. Nähtus on nime saanud inglise botaaniku Robert Browni järgi, kes avastas selle 1828. a.<sup>1</sup>

Et osakeste liikumist juhivad needsamad seadused mis molekulide soojusliikumistki (osake käitub omamoodi «makromolekulina»), siis on ka tema kineetiline energia võrdne keskmiselt  $\frac{2}{3} KT$ . Iseenesestki mõista on osakese «soojusliikumise» energia samal temperatuuril tunduvalt väiksem kui molekulil, sest tema mass on ju palju suurem. Nagu näitasid mõõtmised, on osakese keskmine kiirus tõepoolest alla ühe sentimeetri sekundis (te mäletate arvatavasti, et gaasi molekulide keskmine kiirus on sadu meetreid sekundis,<sup>2</sup> s. t. kümneid tuhandeid kordi suurem).

Viimasel ajal on Browni liikumine mõneti ootamatult tõmmanud endale kosmonautika vallas töötavate teadlaste tähelepanu. Teadlaste huvi pole sugugi akadeemiline, vaid selle põhjuseks on üsna oluline praktiline ülesanne. Viimasest on huvitav jutustada kas või seepärast, et mainitud fakt on heaks näiteks niihästi teaduste üldisest seosest kui ka füüsikateooriate praktilise kasutamise mitmekesisusest.

---

<sup>1</sup> Muide, Browni avastus käsitleb osakeste liikumist vedelikus; gaaside puhul avastas selle 1831. a. poola füüsik Bodaszewski (katsetes tubakasuitsuga).

<sup>2</sup> Näiteks vesiniku molekuli keskmine kiirus temperatuuril 0° C ja rõhul 1 at on 1690 m/s, hapniku molekulil aga 425 m/s.

Aga kuskohal kosmoses võiks Browni liikumisel olla oluline osa?

Probleem kerkis üles siis, kui teadlased hakkasid tähelepanelikult uurima Kuu maastikku fotodelt, mida tegid 1964. a. Ameerika automaatjaamad «Ranger» langemisel Kuule. Neil fotodel ei näi loendamatute erineva läbimõõduga kraatritega kaetud Kuu pind mitte poorse või lihtsalt tasasena, nagu arvati, vaid ebatavaliselt siledana, lausa poleerituna.<sup>1</sup>

Loomulikult tundsid teadlased huvi, kuidas niisugune pind tekib, liiati polnud mägede taga aeg, mil Kuule astus kosmonaudi jalg.<sup>2</sup> Ja esmakordselt ilmus hüpotees (selle autor on ameerika teadlane Berg), mis vastutuse Kuu pinna «lihvimise» eest pani... Browni liikumisele.

Selle hüpoteesi järgi on Kuu pind kaetud peenima tolmu kihiga (hiiglaslikku tolmutilve fotografeeriti Maalt, kui selle tõstsid üles Nõukogude automaatjaama «Luna 5» pidurdusseadmed jaama «kuundumisel» 1965. a. mais; kuutolmu osakeste diameeter on suurusjärgus kümnetuhandikud millimeetrist). Kuid tolmuterad ei ole liikumatult paigal, nad keerlevad Kuu pinna kohal, moodustades 1 cm kõrgusel omapärase tiheda pilve — sel kombel ilmneb Kuul Browni liikumine.

Neil küllalt kõrgetel temperatuuridel, milleni soojeneb Kuu pind pika (kahenädalase!) Kuu päeva jooksul, saavutavad Kuu pinna kohal kosmilises vaakuumis «tantsivad» osakesed arvutuste järgi kiiruse (Boltzmanni konstant on Kuul loomulikult sama mis Maal) umbes 10 m/s. Osakesed, pommitades vahetpidamata Kuu pinda, «poleerivadki» seda, «lõikavad maha» Kuu pinna väikesed konarused. Sellele aitab kaasa ka kuutolmu «pilve» püüd nihkuda piki pinda varju piirkonda, kus temperatuur ja järelikult ka Browni liikumise kiirus on väiksemad; tekkivad «tolmuhoovused» toimivad omapäraste peitlitena. Kas Kuu pinnale

---

<sup>1</sup> Esimesed inimesed Kuul — USA astronautid Neil Armstrong ja Edwin Aldrin — leidsid eest kobeda pinna, millesse jalad jätsid umbes 2,5 cm sügavused jäljed. Kõikjal laius kividest ja kraatritest üleüldiselt legendik.

<sup>2</sup> Nagu teame, on inimene juba jõudnud Kuu pinnale ja isegi kaks korda — vastavalt 20. juulil ja 19. novembril 1969. Lähema ülevaate tollest lennust ja saadud tulemustest võib lugeja leida näiteks «Eesti Loodusest» nr. 2, 1970. — *Tõlk.*

laskuvad kosmonaudid avastavad selle kuutolmu terakeste Browni «tantsu»?<sup>1</sup>

Browni liikumist on uurinud paljud suured teadlased, sealhulgas ka Einstein (aastail 1905—1906), ja see aitas tõepoolest teha väga olulisi järeldusi aine molekulaarteooria osas. Mõned neist järeldustest paistavad esimesel pilgul täiesti ootamatuna.

Näiteks mõõtnud Boltzmanni konstandi väärtuse, tuleb välja, et saame leida ka... aatomite või molekulide arvu gaasis! Kas pole see teaduse suurepärase võit — arvutada täpselt välja seni kellegi poolt ja mitte kunagi nähtud aine mikroosakeste loendamatu hulk või mõõta iga üksiku sellise osakese mass?<sup>2</sup> Ja see pole kaugeltki ainus hiiglasuure teadusliku ja praktilise tähtsusega järeldus, mida teadlastel Boltzmanni konstanti kasutades on õnnestunud teha. Meil tuleb nende juurde tagasi pöörduda, aga seni toome ära veel ühe, samuti erakordselt tähtsa järelduse, mis puudutab temperatuuri nulli mõistet.

Jutt pole muidugi sellest nullist, mille juures vesi külmub (s. t. sajakraadises skaalas), vaid nn. absoluutsest nullist, millele teadupärast vastab sajakraadise skaala järgi temperatuur  $-273^{\circ}\text{C}$ . Mis absoluutne null see niisugune on ja miks ei saa temperatuur veel madalamale langeda?

Nüüd muutub vastus sellele küsimusele silmanähtavaks. Absoluutne null vastab juhule, kus molekulide keskmine kineetiline energia on null, nagu vahetult nähtub energia ja temperatuuri seosest. Selge on aga see, et kõik molekulid peatusid, jäid paigale, siis edasi on temperatuuri alandamine juba võimatu — kineetiline energia ei saa olla väiksem nullist. Tõsi, me teame, et tavaliselt on niisugust olekut võimatu saavutada, sest gaasi jahutamisel jõuab vältimatult kätte hetk, kus ta kondenseerub — muutub vedelaks või tahkub. Kuid ülisuure hõrenduse puhul niisugust veeldumist ei toimu ja siis õnnestubki absoluutsele nullile väga lähedaste temperatuurideni jõuda.

Ent pöördugem tagasi Boltzmanni konstandi osa juurde. Võib-olla saab see veel selgemaks, kui kasutame oma traditsioonilist võtet ja kandume maailma, kus sellel

<sup>1</sup> Kaks esimest Kuu-lendu pole seda hüpoteesi kinnitanud.

<sup>2</sup> Need ajaloolised katsed tegi esimesena 1908. a. prantsuse füüsik Jean Perrin, kes uuris vees hõljuvate tahmaosakeste Browni liikumist. Arvutused tegi ta Einsteini poolt tuletatud teoreetilise võrrandi abil.

konstandil on teistsugune väärtus. Tõepoolest, miks ta peab ilmtingimata olema võrdne  $1,38 \cdot 10^{-16}$  ergi kraadi kohta, mitte aga  $10^{-15}$  või  $10^{-17}$ ? Miks mingi gaasihulga temperatuuri muutumisel  $1^\circ\text{C}$  võrra muutub kõigi molekulide summaarne energia selles ruumalas 1 ergi võrra vaid juhul, kui molekulid on seal umbes 14 miljonit miljardit, ei rohkem ega vähem? Võiks olla ju ka teisiti: molekulid oleks kõigest 1 miljon miljardit ehk vastupidi, 100 miljonit miljardit. Kah asi, molekulid, nagunii neid keegi ei näe!

Olgu Boltzmanni konstant meie teistsuguste konstantide maailmas tõepoolest 10 korda suurem või väiksem. Mis siis juhtub? Mille poolest erineb hüpoteetiline maailm reaalsest? Võib-olla üldse mitte millegi poolest?

Me teame juba, et Boltzmanni konstandi kümnekordne kasvamine või kahanemine ühesugusel temperatuuril tähendab täpselt niisama suurt gaasi molekulide kineetilise energia muutumist. Et kineetiline energia on ruutsõltuvuses molekuli kiirusest, siis ilmselt peab molekulide kiirus kasvama keskmiselt  $\sqrt{10}$  ehk  $3\frac{1}{3}$  korda<sup>1</sup>. Jah, aga tõenäoliselt me seda ei märka, kui me just miljardeid kordi ei kahane ning uuesti mikromaailma ei kandu...

Ei, asi pole sugugi nii ja me «tajume» muutust paratamatult, sest see annab aega viitmata ja paljuski ootamatult tunda. Ehkki molekulid ise on nähtamatud, avaldub nende kaootiline soojusliikumine paljudes täiesti nähtavates, tajutavates füüsikalistes protsessides ja nähtustes.

Võtame kas või sellesama heli. Nagu me heli saladustele pühendatud novellist teame, on heli kiirus õhus lahutamatult seotud tema molekulide kiirusega — mõlemad on ühes suurusjärgus. Tähendab, kui õhu molekulide kiirus muutub ligikaudu  $3\frac{1}{3}$  korda, siis niisama palju muutub ka heli kiirus. See heli kiiruse muutumine ei jää märkamatuks, mitmes osas on ta üsnagi tuntav.

Kuid heli kiirus pole antud juhul sugugi kõige peamine. On ka olulisemaid muutusi.

Kas on teil veel meeles, et kui viibisime aatomite ning molekulide mikromaailmas võrdsetel alustel õhu molekulidega, siis märkasime, kuidas need lakkamatult liiguvad molekulid põrkavad vastu toa seinu. Molekul põrkab vastu

---

<sup>1</sup> Täpsemalt, sel kombel muutub molekulide nn. ruutkeskmise kiirus.

seina ja kihutab jällegi edasi. Kerge on näha, et igal kokkupõrkel mõjub molekul seinale kindla jõuga. Jõu suurus oleneb molekuli massist ja kiirusest; mehaanika tuntud seaduse põhjal on löögijõud võrdne liikumishulgaga, s. t. molekuli ja massi kiiruse korrutisega. See jõud mõjub kaks korda — kõigepealt kokkupõrkel ja pärast veel molekuli peegeldumisel seinalt.

Et seinaga kokkupõrkavate õhu molekulide kogumõju määrata, tuleb muidugi arvestada ka seda, et õhk koosneb eri sorti molekulidest, et molekulide kiirused on erinevad ja lõpuks et molekulid põrkavad seinte vastu kõige erinevamate nurkade all. Ja siingi tulevad appi statistilised meetodid, sest tavalistes tingimustes on põrkavaid molekule tohutult palju. Nende meetodite abil õnnestub täpselt määrata gaasi molekulide summaarset mõju gaasi piiravale kõvale pinnale — mõju, mis pole midagi muud kui gaasi rõhk sellele pinnale.

Selgub, et gaasi rõhk sõltub ainult kahest suurusest: gaasi molekulide arvust ruumalaühikus (mida suurem on molekulide kontsentratsioon  $n$ , seda rohkem on ka molekulide lööke ja seda suurem on järelikult gaasi rõhk  $p$  seinale) ja nende keskmisest kineetilisest energiast  $E$ . Viimane aga, nagu teame, on omakorda Boltzmanni konstandi  $K$  kaudu seotud gaasi temperatuuriga  $T$ . Nii tuleb välja, et gaasi rõhk on lihtsalt kolme suuruse — molekulide kontsentratsiooni, Boltzmanni konstandi ja absoluutse temperatuuri korrutis.<sup>1</sup>

Muuseas, just see seaduspärasus võimaldabki teha seda, millest oli juttu eespool ja mis esimesel pilgul näib täiesti võimatuna — arvutada, nagu terahaaval ära lugeda kogu aatomite ja molekulide ennenägematu luuk mingis gaasi ruumalas. Tõepoolest, kui Boltzmanni konstant on teada (näiteks kas või katsetest «makromolekulide» Browni liikumisega, nagu esimesena tegi Perrin tahmasakestega), siis on vaja mõõta ainult gaasi rõhku ja temperatuuri, selleks et saada kohe molekulide kontsentratsiooni, s. t. nende arvu ruumalaühikus. Kas see pole ime? Õigupoolest selles ongi Boltzmanni konstandi mitmes mõttes imetlustäratav osa, meie esimese tuttava roll sfinksitaoliste konstantide perest — ta heidab nagu silla salapärasest, nähtamatust mikromaailmast meie tavalisse, tunne-

<sup>1</sup> See on molekulaarteooria põhivõrrand:  $P = nKT$ .

tatavasse ja tajutavasse makromaailma. Samasugune on tegelikult ka teiste selle füüsikakonstantide klassi põhitähendus.

Gaasi molekulide kaootilise liikumise ja niisuguse üli- tähtsa olekuparameetri nagu temperatuur põhjusliku seose määrab Boltzmanni konstant, mille abil õnnestub anda õige kvalitatiivne hinnang paljudele füüsika ja tehnika seisukohalt tähtsatele nähtustele ning protsessidele. See käib näiteks gaasi soojusmahtuvuse määramise kohta (soojusmahtuvus on soojushulk, mida läheb vaja gaasi temperatuuri tõstmiseks  $1^{\circ}\text{C}$  võrra), difusiooni, s. t. erinevate gaaside segunemise arvutamise kohta jne. Mis aga eriti huvitav ja oluline — öeldu ei kehti ainuüksi gaaside puhul. Molekulaarteooria ettekirjutused lubavad saada õiged hulgalised suhted ka mitmete nähtuste puhul tahketes kehtes, näiteks määrata õigesti soojusmahtuvust<sup>1</sup>, arvutada liikumiseadused sellise ebatavalise «gaasi» jaoks, nagu seda on elektronid kristallvõres jne.

Molekulaarteooria universaalsus, tema paikapidavus eranditult kõigi ideaalsele gaasile lähedaste gaaside puhul on tõesti rabav. Ükskõik milline gaasi keemiline koostis ka poleks, ükskõik, milline on nende molekulide ehitus või mass, ikkagi on antud ruumalal kindlal rõhul ja temperatuuril rangelt määratud, alati ühesugune hulk molekule ja aatomeid. See järeldus, üks gaaside kohta käivaid põhiseadusi, on füüsikas tuntud Avogadro seadusena; nime on saanud seadus itaalia füüsiku järgi, kes 1811. a. avastas selle.

Kuupsentimeetris õhus, lämmastikus, vesinikus, heeliumis, igas püsivas gaasis sisaldub nn. normaalsetel atmosfääritingimustel (s. t. temperatuuril  $0^{\circ}\text{C}$  ja rõhul 760 mm Hg) alati  $2,68 \cdot 10^{19}$  molekuli või aatomit. Seda arvu nimetatakse füüsikas Loschmidti arvuks ja seda on palju kordi katseliselt määratud, kõige erinevamate meetoditega ja väga täpselt. Ning alati saadi just mainitud väärtus, mitte aga mõni teine. Kui nüüd järele mõelda, siis on seegi ju imepärane füüsikakonstant, kuid siiski ainult järeldus üldisemast ja põhilisemast — Boltzmanni konstandist.

Loschmidti arvust võib-olla veelgi populaarsem on teine analoogiline arv, nimelt molekulide arv 22,4 liitris

<sup>1</sup> Dulongi-Petit' seadus.

gaasis (samadel normaalingimustel). Et ruumala on 22 400 korda suurem kui  $1 \text{ cm}^3$ , siis tuleb ka uus arv täpselt niisama palju kordi suurem Loschmidti arvust. Järelikult on ta võrdne  $2,68 \cdot 10^{19} \cdot 22\,400 = 6,02 \cdot 10^{23}$ . Vimast arvu nimetatakse Avogadro arvuks.

Kuid mis kummaline arv see on? Miks võetakse ruumala just 22,4 l, mille poolest see huvi pakub? Ja miks on Avogadro arv teadlastele nii oluline?

Selgub, et kui võtta mingist gaasist just niipalju molekule, s. t. kuus 23 nulliga ehk 600 000 miljardit miljardit molekuli, siis on nende kogumass täpselt võrdne niimitme grammiga, kuimitu ühikut on gaasi molekulkaalus. Kui vaatleme vesiniku molekule, siis tuleb nende mass veidi üle 2 g (täpsemalt, 2,016), hapniku puhul on see täpselt 32 g, lämmastikul 28 g jne. Niisugust ainehulka nimetatakse teaduses gramm-molekuliks (gramm-mooliks) ehk lihtsalt mooliks.<sup>1</sup> Nii et 1 mool lämmastikku on võrdne 28 g, 1 mool hapnikku 32 g, kusjuures molekulide arv moolis on kõigil juhtudel üks ja sama, võrdne Avogadro arvuga. Aga 22,4 l on ruumala, mille normaalingimustel võtab enda alla 1 mool mingit gaasi.

Pole midagi imestada, et teadlased eelistavad harilikult tegemist teha mitte gaasi grammide või kilogrammidega, vaid moolidega. Sisaldub ju erinevate gaaside grammis erinev hulk molekule, moolis aga on neid ühepalju. Peale selle pole teadlastele sugugi ükskõik, kui palju neid gaasi molekule õieti on — ei keemikule, sest omavahel reageerivad nimelt molekulid, mis määrab reaktsioonist osavõtivate ainete hulga, ega ka füüsikule, sest, nagu teame, kuulub gaaside molekulaarteooria põhivõrrandisse molekulide hulk<sup>2</sup>, millest oleneb gaasi füüsikaline olek.

Just sellepärast kasutavad füüsikud ja insenerid Boltzmanni konstandi asemel sageli tema korrutist Avogadro arvuga. Niisugune korrutis ei märgi enam mitte ühe molekuli, vaid ühe mooli kohta tulevat Boltzmanni konstanti. Loomulikult rahuldab see praktikuid paremini, sest neil ei

<sup>1</sup> Täpselt niisamuti nimetatakse gramm-aatomiks ainehulka, mille mass on võrdne nii mitme grammiga, kui palju ühikuid on tema aatomkaalus (näiteks vesiniku gramm-aatom on võrdne 1 g).

<sup>2</sup> Täpsemalt, nende kontsentratsioon, s. t. molekulide arv ruumalaühikus  $n = \frac{N}{V}$ , kus  $N$  on gaasi molekulide üldarv,  $V$  — ruumala.

ole enam tegemist mitte üksikmolekuliga, vaid gaasi täiesti tajutavate makrohulkadega. Selline korrutus, mis on võrdne  $1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 8,31 \cdot 10^7$  erg/kraad·mool (ehk 8,31 J/kraad·mool)<sup>1</sup>, kujutab endast kõigi gaaside jaoks ilmselt niisama põhilist ja universaalset konstanti nagu Boltzmanni konstantki. Nii seda teaduses ka nimetatakse — universaalne gaasikonstant (tähistatakse tavaliselt  $R$ ); see näitab, kui palju muutub 1 mooli gaasi kõigi molekulide keskmine soojusliikumise energia gaasi temperatuuri muutmisel 1° C võrra, nii et tegelikult on Boltzmanni konstant üheainsa molekuli kohta antud universaalne gaasikonstant.

Ühe mooli gaasi kohta antud molekulaarteooria põhivõrrand muutub juba füüsika koolikursusest hästi tuttavaks olekuvõrrandiks (ehk Clapeyroni — Mendelejevi võrrandiks), mis seob gaasi oleku parameetreid — rõhku, ruumala ja temperatuuri.<sup>2</sup> Ilma selle võrrandita ei saa läbi ei füüsik ega soojustehnikainsener. Kerge on näha, et see võrrand nagu üldistab, ühendab Boyle'i-Mariotte'i, Gay-Lussaci ja Charles'i seadused gaaside kohta.

Kuid meil on aeg pöörduda tagasi teistsuguste konstantide maailma, kus Boltzmanni konstant on 10 korda suurem või väiksem kui tegelikult. Vaevalt on vaja meelde tuletada, et niisugune konstandi «muutmine» on võimalik vaid novellides, mis «jääv suurus» see muidu oleks...

Kui Boltzmanni konstandi väärtus muutub, siis rikutakse molekulaarteooria põhivõrrandit (ehk mis on sama, gaasi oleku võrrandit) ja selleks et taastada võrdsust parema ning vasaku poole vahel, tuleb vastavalt muuta ka võrrandi teisi liikmeid. Seda võib teha mitut moodi.

Võib näiteks säilitada gaasi temperatuuri ja kontsentratsiooni esialgsed väärtused, s. t. jätta endiseks molekulide arvu ruumalaühikus, siis säilivad nii Loschmidti arv (molekulide arv 1 cm<sup>3</sup>-s), mooli ruumala (22,4 l) kui ka gaasi tihedus. Kuid seejuures peab ilmselt muutuma gaasi rõhk, sest muutub keskmine kiirus, millega molekulid vastu seina põrkavad. Kui Boltzmanni konstant kasvab 10 korda, siis niisama palju kordi suureneb ka rõhk; kui konstant väheneb, kahaneb rõhki.

<sup>1</sup> Nagu teada, on  $10^7$  ergi = 1 J ehk ligikaudu 2 cal/kraad·mool.

<sup>2</sup> See võrrand mooli kohta on  $PV=RT$ , kus  $V$  on mooli ruumala ehk  $Pv = \frac{R}{M}T$  — 1 g kohta ( $v$  — eriruumala, s. t. 1 g gaasi ruumala,  $M$  — gaasi molekulkaal).

Muidugi ei jääks nii tunduv rõhu muutus märkamatuks. Isegi suhteliselt väikesi atmosfäärirõhu kõikumisi tajume kui eelseisva ilmamuutuse kuulutajaid. Ega's ilmasjata meie elus ole aukohal harilik baromeeter. Siin on aga tegemist juba kümnekordse muutusega. See tähendab, et «normaalne» baromeetiline rõhk muutuks võrdseks 10 at või 0,1 at. Mõlemal juhul oleks elu, vähemalt mõistustlik, Maa peal vaevalt küll võimalik. Valitseb rõhk 10 at ju ookeanisügavuses 100 m, aga 0,1 at — kõrgusel 15 km.

Hukatuslikult mõjuks nii tugev atmosfäärirõhu muutus ka paljudele masinatele. Atmosfäärirõhu suurenemisel 10 korda halveneks autode ja iga teist liiki sisepõlemismootorite töö tunduvalt, aga lennukite reaktiivmootorid ei saaks ilma konstruktsiooni radikaalse tugevdamiseta üldse töötada. Paremini ei mõjuks ka rõhu kümnekordne vähenemine — mootorite võimsus langeb siis nii tugevasti, et nad lakkavad praktiliselt oma funktsioone täitmast, osutuvad kasutuks, aga paljud ei saa üldse töötada. Nagu üldiselt näha, sobivad nii inimesele kui ka paljudele tema loodud masinatele kõige paremini praegu Maal valitsevad normaalingimused.

Kuid rõhk ei pea sugugi ilmingimata muutuma, ta võib ka endiseks jääda. Võib kujutleda endale sellist teistsuguste konstantide maailma, kus Boltzmanni konstandi muutumine ei kutsu esile mitte gaasi rõhu, vaid temperatuuri muutumise. Boltzmanni konstandi kümnekordsel suurenemisel peab temperatuur vähenema niisama palju kordi, ja vastupidi, Boltzmanni konstandi vähenemine kutsub esile vastava temperatuuri tõusu. See aga tähendab, et õhutemperatuur oleks kas  $25-30^{\circ}\text{K}$  või  $2500-3000^{\circ}\text{K}$ ! Vaevalt on vaja tõestada, et nii vedelas õhus, kus atmosfäär üldse puudub, kui ka katla hõõgukuumas koldes elada ei saa. Rõhu säilitamine pole sugugi parem variant kui selle muutmine üleminekul teistsuguste konstantide maailma. Mõlemal juhul osutub see maailm väga ebaõduksaks.

Tõsi, võimalik on veel üks, kolmas variant meie teistsuguste konstantide maailmast, kus nii rõhk kui ka temperatuur jäävad endiseks. Sel juhul muutub ainult molekulide kontsentratsioon ja täpselt niipalju, kui muutub Boltzmanni konstant: kui see näiteks kasvab 10 korda, siis väheneb kontsentratsioon niisama palju kordi. Loschmidti arv tuleb meie uues maailmas 10 korda väiksem, mooli

ruumala aga 10 korda suurem ega võrdu siis mitte enam 22,4 l, vaid 224 l. Täpselt samal kombel muutub ka gaasi tihedus — kui tema rõhk ja temperatuur jäävad muutumatuks, väheneb tihedus 10 korda.<sup>1</sup>

Kuid kas teistsuguste konstantide maailm selgi juhul parem oleks?

Tuleb välja, et ei. Hingata selles maailmas nangunii ei õnnestu — seal on liiga vähe hapnikku (10 korda vähem normaalsest!) ja me lämbume paratamatult. Kui Boltzmanni konstant väheneb 10 korda, siis tihedus kasvab. Kopsudesse satub 10 korda rohkem hapnikku kui praegu — ka niisuguses õhus pole võimalik hingata.

Aga milliseks siis tegelikult ikka kujuneb meie teistsuguste konstantide maailm Boltzmanni konstandi muutunud väärtuse korral? Milline vaadeldud kolmest variandist realiseerub tegelikkuses, kõik ühel ajal ju eksisteerida ei saa?

Võib-olla tunduvad vastused neile küsimustele ootamatuna, kuid osutub, et kõik kolm varianti on tegelikkuses võimatud nii ühel ajal kui ka... eraldi võetuna. Ainuvõimalik on täiesti erinev, neljas variant.

Muidugi, vahetult võrrandist (ehk nagu ütlevad matemaatikud, formaalselt) järeldub, et Boltzmanni konstandi muutumine võib esile kutsuda muutuse gaasi oleku igas parameetris. Kuid kerge on näha, et iga niisugune muutus on vältimatult seotud gaasi mikrooleku, s. t. tema molekulide liikumisenergia muutumisega. On see aga võimalik?

Esimesel pilgul paistab, et on. Kui muutub niisugune põhisuurus nagu Boltzmanni konstant, siis on täiesti mõeldav ka oletus vastavast muutusest molekulide liikumisenergiast. Mis saab siis aga muutumatult õigest, alati laitmatult truust energia jäävuse seadusest? Molekulide energia kasvab. Mille arvel? Kust saadakse seda energiat Boltzmanni konstandi muutumisel?

Kujutlege näiteks, et põles mingi kütus, kas või tavaline bensiin. Loomulikult on niisugune põlemine võimalik ka teistsuguste konstantide maailmas. Põlemisel muundus kütuse keemiline energia soojuseks, s. t. just gaasiliste põlemissaaduste kaootilise liikumise kineetiliseks energiaks. Ilmselt jääb keemiline energia meie teistsuguste

---

<sup>1</sup> See tõsiasi järeldub vahetult olekuvõrrandist, kus universaalsel gaasikonstandil on juba 10 korda suurem väärtus.

konstantide maailmas samaks — midagi muud oletada tähendaks selliste füüsikakonstantide muutmist, millega Boltzmanni konstandil mingit pistmist pole. Kui lugu aga nii on, siis ei saa muutuda ka molekulide kineetiline energia. Sama kehtib muidugi teistegi energialiikide ülemineku kohta gaasi soojusenergiaks. Kui tuumareaktoris uraani või plutooniumi aatomite ahelreaktsiooni tagajärjel eraldub tuumade potentsiaalset energiat, siis muundub see peaaegu hetkeliselt soojusenergiaks. Eralduva soojuse viib reaktorist ära jahutaja — vedelik või gaas. Kas gaasi poolt äraviidava soojuse hulk saab suurened, kui reaktor töötab teistsuguste konstantide maailmas, kus Boltzmanni konstant on muutunud? Niisugust asja oletada tähendab kinnitada, et Boltzmanni konstant määrab kindlaks aatomituumade struktuuri ja neisse kätketud energia, ehkki teadupärast pole sel konstandil aatomituumadega mingit tegemist.

Järeldus osutub tõepoolest ootamatuks — kui gaasi mikroolek ei muutu, ei muutu ka tema makrooleku parameetrid. Mis siis Boltzmanni konstandi muutumisel üldse muutub?

Kui solvavana see niisugusele tõeliselt põhilisele füüsikakonstandile ka ei tundu, aga tuleb tunnistada, et selle muutumine ei muudaks ümbritsevas maailmas mitte midagi. Teistsuguste konstantide maailm osutuks sel juhul meie tõelise maailma täpseks kooiaks, nad oleksid lihtsalt eristamatud. Nagu öeldakse — säh sulle pauku!

Jah, aga kuidas siis temperatuuriga lood on? Kui energia jääb samaks, aga Boltzmanni konstant muutus, siis temperatuuri enese definitsiooni järgi peab ta ju samuti muutuma.

Muidugi. Kui Boltzmanni konstant näiteks väheneb 10 korda, siis jää ei sula mitte enam  $273^{\circ}\text{K}$ , vaid  $2730^{\circ}\text{K}$  juures, vesi aga ei kee mitte temperatuuril  $373^{\circ}\text{K}$ , vaid  $3730^{\circ}\text{K}$ . Ainult absoluutse nulli asend jääb muutumatuks. Aga kuidas elu selles hõõguvkuumas maailmas välja näeb?

Elul pole midagi viga. Ehkki meie uus termomeeter näitab  $3000^{\circ}\text{K}$ , tunneme ennast endist viisi nagu tavalisel palaval suvepäeval temperatuuriga  $27^{\circ}\text{C}$ . Kui vana maailma kraadiklaas meil alles oleks, siis teistsuguste konstantide maailmas näitaks ta endist, harjumuspärast temperatuuri (kaenla all näiteks  $36,7^{\circ}$ ). Kuid uues maailmas on termomeetrite skaala teistsugune — pole midagi teha, seda

nõuab Boltzmanni konstandi uus väärtus.<sup>1</sup> Ja kui uue kraadiklaasi põhjal otsustada, siis ei suurene gaasi ruumala tema temperatuuri tõusmisel ühe kraadi võrra mitte enam  $1/273$ , vaid  $1/2730$  võrra (ehkki absoluutväärtuse poolest ei erine see suurenemine sugugi esialgsest).

Nagu näha, muutuvad gaaside kohta käivad tuntud seadused teistsuguste konstantide maailmas ainult näiliselt, mitte mingil moel aga sisuliselt. Mis siin imestada, on ju Boltzmanni konstant ainult «aknaks» mikromaailma, aga ega sellest, kas aken muutub kitsamaks või laiemaks, mikromaailm ise ei muutu. Kuid kas see muudab mingil määral osa, mis tollel aknal on?

Näete nüüd, mis teistsuguste konstantide maailmas kõik võib juhtuda...

---

<sup>1</sup> Mõned teadlased on teinud ettepaneku Boltzmanni konstandi muutmiseks mitte teistsuguste konstantide, vaid reaalses maailmas, näiteks muuta temperatuuriskaalat selliselt, et universaalse gaasikonstandi väärtuseks oleks 1. Siis avalduks olekuvõrrand kujul  $Pv = T$ , Boltzmanni konstant aga oleks lihtsalt Avogadro arvu pöördväärtus:  $K = \frac{1}{N}$ . Muidugi nõuab uue temperatuuriskaalaga harjumine aega, kuid see on tõepoolest mugavam. On olemas teisigi ettepanekuid temperatuuriskaala «reformi» kohta, kõigil neil on oma voorused ja puudused.

## KUUES NOVELL

### ELEKTRI SALADUSED

*Tantsivad inimesekesed. Aatomi arhitektuur. Õnnetik juhus. «Mikroplaneedid» orbiitidel ümber aatomisisesse «mikropäikese». Elektroni portree. Aatomikatastroof — elektronid hukuvad tuumas. Ühes kuupsentimeetris sisaldub miljardeid tonne! Neutrontähed ja neutronmaailm. «Plasmaõhk». Üleüldine lühiühendus. Mida hingata? Keemia jõuetus.*

Kullakarva läbipaistev kivi oli vanadel kreeklastel hinnaliseks vääriskiviks. Selle hankimiseks korraldasid nad eriekspeditsioone, sest seda kivi leidis vaid ühes kohas kogu maailmas — külma Balti mere kallastel. Elektronile — nii nimetasid päikesekivi vanad kreeklased — omistati ohtrasti imepäraseid omadusi. Üks neist on tegelikkuseski olemas ja ta on tõepoolest ebatavaline. Pruugib vaid elektronitükiga tugevasti riiet hõõruda, kui tekib salapärane jõud, mis paneb udusuled või paberist lõigatud inimeste ja loomade tibatillukesed figuurid kentsakalt tantsima.

Praegu teame hulgaliselt näiteid niisuguse imettegeva jõu ilmnemisest ka teiste ainete hõõrumisel peale elektroni. Kuid just merevaigu, selle eelajalooliste okaspuude tardunud vaigu nimetus vanakreeka keeles andis nime ka jõule endale — elekter.

Möödus aeg, arenesid teadus, tehnika ja kultuur, ning elekter hakkas inimeste elus üha suuremat osa mängima.

Mitte enam lihtsalt huvitav nähtus, lustakas mängukann, vaid võimas loodusjõud — sellisena kerkib elekter nüüd meie ette. Võimatu on kaasaegset elu ette kujutada

elektrita — ega ilmaasjata meie sajandit elektrisajandiks nimetata. Raske on isegi üles lugeda kõiki näiteid elektri praktilisest kasutamisest inimese heaks, loetleda rohkearvulisi füüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi nähtusi, mille aluseks on elekter. Ja mis seal rääkidagi, vaadake ükskõik millisesse entsüklopeediasse, ükskõik millisesse sõnaraamatusse: tänu elektrile on kümned ja sajad uued sõnad ilmunud kõigi rahvaste keeltesse — keel jõuab hoogsalt arenevale teadusele vaevu järele.

Pingeline ja dramaatiline oli teaduse võitlus elektri saladuste avastamise eest. Seda pidasid terved teadlaste põlvkonnad, kuid praegugi pole ta veel kaugelt lõppenud. Ja ehkki elektrist on sadu ning tuhandeid raamatuid kirjutatud, ehkki talle on pühendatud loendamatu hulk artikleid teaduslikes ajakirjades ja ettekandeid teaduslikel konverentsidel, ei kuule te ka tänapäeval selget ning arusaadavat vastust küsimusele, mis siis lõpuks on elekter. Muuseas pole elekter sugugi ainus loodusjõud, mille kohta eespool öeldu õige on.

Kaua aega seletati kehade elektrilisi omadusi mingi iseäraliku kehas sisalduva «elektrivedelikuga». Elektrivedeliku või -gaasi idee võimaldab tõepoolest paljutki selgemaks muuta ja teadus kasutab seda veel tänapäevalgi mitmesuguste elektri saladuste lahendamiseks. Kuid kas kehade elektriliste omaduste seletamine mingi saladusliku elektrivedeliku omaduste abil tähendab tegelikult üldse midagi seletada? Ja millised on siis selle vedeliku enda omadused?

Hüpoteesi, et «elektrimateeria koosneb üliväikestest osakestest», püstitas esimesena kuulus ameerika füüsik Benjamin Franklin juba 1749. a. Ometi ei leidnud see hüpotees kaua aega teadlaste üksmeelset toetust. Veel möödunud sajandi lõpus, 1897. a., kirjutas tuntud inglise füüsik Kelvin «elektrist kui pidevast (!) ühtlasest vedelikust», ehkki selsamal aastal oli teine kuulus inglise füüsik J. J. Thomson täpsete katsetega, millest veel juttu tuleb, ümberlökkamatult tõestanud, et elektril on atomaarne struktuur, et elekter koosneb üksikutest osakestest — «elektri aatomitest». Mida siis kujutavad endast selle ebataavalise «elektrivedeliku aatomid», osakesed, millest ta koosneb?

«Elektri aatomitele» nimepanemine oli kõige lihtsam asi. Ja nimi pandigi — elektron (jälle elektron!). Tundu-

valt keerukam oli elektroni arvukate saladuste lahendamine.<sup>1</sup>

Teadlastel oli külluses tõendeid selle kohta, et elektril oleks tõepoolest nagu atomaarne struktuur. Üha uued ja uued katsed kinnitasid ümberlökkamatu veenvusega, et asi on tõesti nii. Kinnitused saabusid teaduserinde eri lõikudest: teadlased said neid kõige mitmekesisemate, sageli ükssteisest üsnagi kaugel seisvate loodusnähtuste uurimisest.

Ühe esimese seda liiki katse tegi rohkem kui poolsada aastat tagasi (a. 1833) suur inglise füüsik Michael Faraday. Lastes elektrivoolu läbi erinevate ainete lahuste, veendus ta, et lahusest (mida antud juhul nimetatakse elektrolyüdiks) eralduvad sellesse asetatud elektroodidel erinevad ained. Protsessi tuntakse elektrolüüsi nime alla ja see leidis kaasaegses tehnikas väga laia rakendamist.

Niisiis tuli välja, et eralduvad ainehulgad on rangelt võrdelised lahust läbinud elektrihulgaga; kui lahust läbib kaks korda rohkem elektrit, siis eraldub ka kaks korda rohkem ainet. Kas ei näita see seaduspärasus (mis hiljem Faraday seaduseks nimetati), et on olemas range hulgaline seos aine aatomite arvu ja vastava «elektri aatomite» arvu vahel?

Umbes sada aastat tagasi avastati<sup>2</sup>, et elektrivool läbib vabalt klaastoru, millest peaaegu kogu õhk on välja pumbatud. Toru sees tekivad mingid senitundmatud kiired, mis panevad helenduma ühe elektroodi — katoodi vastas oleva klaasi pinna, need katoodist väljuvad kiired nimetati katoodkiirteks.

Tuntud inglise füüsik William Crookes tegi 1874. a. julge oletuse, et katoodkiired pole midagi muud kui kiiresti lendavate «elektri aatomite» — elektronide voog.

Möödunud sajandi lõpul, 26. veebr. 1888. a. sooritas kuulus vene füüsik A. Stoletov Moskva ülikooli laboratooriumis katse, mida täie õigusega võib ajalooliseks nimetada — nii suur oli selle tähtsus kogu teaduse ja tehnika edasise arengu seisukohalt. Kui Stoletov suunas valguskiire metallplaadile, siis registreerisid erapooletud mõõte-

---

<sup>1</sup> Nimetuse «elektron» pani ette iiri füüsik J. Stoney (1891. a.) ja see muutus peagi üldtunnustatuks.

<sup>2</sup> Selle avastuse tegi 1869. a. saksa füüsik Plücker.

riistad teatava hulga elektronide kadumist plaadilt — esmakordselt tekitas valgus elektrivoolu.

Katse tähtsus polnud ainult nn. fotoelektrilise efekti<sup>1</sup> avastamises (kuigi sellel oli suur teoreetiline ja praktiline väärtus; meenutagem kas või tervet fotoelementide armeed, mis inimest truult teenivad) ja isegi mitte lihtsalt elektri atomaarse struktuuri uues hiilgavas kinnituses. Peamine oli selles, et katse näitas elektronide ning aine vahetut ja otsest seost, seost, mis õigupoolest juba kõigis eespool mainitud katsetes oli nähtamatult osalenud. Varsti tegi selle põhiseose tõepoolest rangete katsete varal kindlaks katoodkiiri uurinud J. J. Thomson.

Aga mis see tähendab: elektronid on seotud ainega? Me teame hästi, et aine koosneb aatomitest ja molekulidest. Tuleb välja, et elektronid on seotud aatomitega? Aga kui elektronid mõnikord vabanevad (kas mitte sellest ei räägigi kõik eespool mainitud katsed?), siis see seos... katkeb. Kuid sel juhul võib aatom elektrone kas kaotada või juurde saada. Tähendab, aatomid pole sugugi nii lihtsad asjad, nagu meile näis, nad ei ole kaugeltki mingid tihedad elastsed kerakesed, mille põrked huvitasid meid eelmises novellis.

Kuidas on aatom siis ehitatud, milline on tema «konstruktsioon», tema «arhitektuur»? Kui XIX sajandit märkis aine atomistliku ehitusega seotud ideede võidukäik, siis tungimine aatomi sisemusse sai osaks käesolevale, äikeselisele XX sajandile. Ja ehkki rünnak aatomile on viinud juba teaduse suurimate saavutusteni (aatomienergia teenib inimest!), pole see veel kaugeltki lõpule jõudnud.

Ükskõik kuidas aatom ka ehitatud poleks, selge on üks: ta on elektriliselt neutraalne ja, tähendab, peab peale negatiivse elektri — elektronide — sisaldama ka võrdses koguses positiivset elektrit. Just sellepärast lõi J. J. Thomson, seesama mees, kes katsetes katoodkiirtega tõestas ümberlökkamatult, et «aatom pole nii lihtne, kui paistab», et ta kujutab endast mingit keerukalt ehitatud süsteemi, esimese aatomimudeli. Mudeli autor pidas aato-

---

<sup>1</sup> Sõltumatult Stoletovist, kes esimesena uuris detailselt fotoefekti, avastas sama nähtuse ka kuulus saksa füüsik Heinrich Hertz. Kuid esimene fotoelement (seleen-fototakisti) loodi 1872. a. ja 1880. a. valmis ka esimene fotoelektriline automaatseade — selle autoriks oli vene füüsik ja bioloog P. Bahmetjev. Fotoefekti seaduse avastas 1905. a. A. Einstein.

mit positiivse laenguga ainekerakeseks; kerakese sees ujuksid nagu elektronid, mille arv nende kiirgumise või neeldumise tagajärjel võib muutuda.

Näis, et pole mingit mõtet vaielda selle üle, kuidas aatom tegelikult ehitatud on. Kerake siis kerake, elektronid ujuvad — ujugu pealegi. Tõenäoliselt ei saa seda keegi kunagi kontrollida — aatomeid endidki pole ju keegi kunagi näinud, mis siin veel aatomi sisemusse tungimisest rääkida! Kui palju aatomimudeleid ka ei loodaks, ometi on nad kõik võrdõiguslikud — ükski žürii ei saa selliste mudelite konkursil ühte neist põhjendatult eelistada.

Kuid elu lükkas niisugused kahtlused kiiresti ümber — ta osutus rikkamaks igasugustest skeemidest. Looduse saladustesse pürgivale ja näiliselt ummikusse sattunud inimesele tuli appi loodus ise. Ta tegi teadusele helde-meelselt üllatuse, kasutades siin oma ustavat sõpra — juhust.

Juhus, mis 1896. a. aitas prantsuse teadlasel Henri Becquerelil avastada radioaktiivsuse nähtust, oli tööpoo-lest looduse hindamatu kink. Kes teab, kui palju see aatomifüüsika ajastu algamist kiirendas... Asi polnud mitte ainult selles, et esmakordselt selgus mõnede aatomi ebatavaline võime iseenesest laguneda, ka mitte selles, et niiviisi hajutati iidne müüt aatomi igavesest eksisteerimisest, tema muutumatusest ja jagamatusest. Radioaktiivsete aatomite, eelkõige Marie Sklodowska-Curie' ja Pierre Curie' poolt kaks aastat pärast Becquereli õnnelikku leidu avastatud raadiumi aatomite laguproduktid osutusid selliseks imepäraseks riistaks aatomite struktuuri uurimisel, millest füüsikud olid kogu aeg unistanud.

Esimesena kasutas seda riista — ja veel kui hiilgavalt! — suur inglise füüsik Ernest Rutherford. Kõigepealt tegi ta kindlaks, et üheks lagunevate raadiumi aatomite poolt kiiratavate radioaktiivsete kiirte koostisosaks on nn. alfaosakesed. Need on üsna massiivsed (mass on umbes 4 korda suurem vesiniku aatomi massist) positiivse elektri-laenguga osakesed, mille väljalennukiirus «hukkuvast» raadiumi aatomist on küllalt suur.

Rutherfordil tuli õnnelik mõte kasutada alfaosakesi aine «läbivalgustamiseks». Ta arutles lihtsalt: energilised alfaosakesed tungivad uuritavasse ainesse ja kohtuvad seal selle aatomitega. Mis siis välja tuleb? Jälgides nähtamatute «mürskude», alfaosakeste saatust, saame kas või

ligikaudsegi ettekujutuse ka «märkläudade», s. t. aine aatomite iseloomust.

Mõeldud, tehtud: alfaosakeste kimp suunati üliõhuke-sele kullalehele. Ja kuld «hakkas rääkima». Võib-olla esmakordselt osutas see väärismetall teadusele tõeliselt õilsa teene, andes teateid oma aatomite ehitusest. Selgus, et J. J. Thomsoni idee tilgakujulisest aatomist ei pea paika. Esimene aatomimudel praagiti halastamatult välja, sest alfaosakesed käitusid oma lühikesel teel kullalehekese sees nii, nagu poleks kulla aatomid sugugi tihedad kera-kesed, vaid mingid peaaegu «läbipaistvad» konstruktsioo-nid.

Sellest tähelepanekust jäi Rutherfordil vaid üksainus samm aatomi uue mudeli loomiseni. Aatom «paistab läbi»? Kas niisama «läbipaistev» pole ka meie päikese-süsteem näiteks mingist kaugest tähemaailmast tulnuka jaoks?

Ja sündiski Rutherfordi kuulus planetaarne aatomimu-del: keskel on tibatilluke aatomituum (tilluke isegi aatomi enese tühiste mõõtmetega võrreldes — ta on sellest ligi 100 000 korda väiksem), aga ümber selle miniatuurse aato-misese «mikropäikese» liiguvad orbiitidel niisamasugu-sed «mikroplaneedid» — elektronid. Üldiselt on kõik nii nagu tõelises päikesesüsteemis, välja arvatud vahest see, et elektrone ei hoia oma «päikese» — aatomituumal lähedal mitte raskusjõud, vaid erinimeliste elektrilaengute vahel tekkiv külgetõmbejõud (elektronid on laetud nega-tiivselt, tuum aga positiivselt).

Nii leidsid elektronid «oma koha» aatomis. Tõsi, ka uus aatomimudel osutus vaid väga ligikaudseks lähendu-seks tegelikkusele; kui ahvatlev ka poleks taevamehaanika seaduste ülekandmine aatomi sisemusse, on see idee printsipiaalselt vale. Mikromaailmas tegutsevad oma, eri-lised seadused ja täpselt niisama järsult erineb kaasaegse teaduse poolt tunnustatud aatomimudel Rutherfordi plane-taarsest mudelist. Kuid planetaarsel mudelil oli hiiglasuur positiivne osa teaduse ajaloos. Esimene selgitas see Mendelejevi poolt avastatud keemiliste elementide oma-duste perioodilisuse saladuslikke põhjusi ja määras kindlaks paljud keemiliste muundumiste seaduspära-sused.

Ent pöördugem tagasi meie kangelase — elektroni juurde. «Elektri aatom» osutus omapäraseks aineosake-

seks, esimeseks sellest praegu nii paljuliikmelisest elementaariosakeste perekonnast. Elektron on kõigi universumis leiduvate keemiliste ainete vältimatu koostisosa. Ja nagu kõik eeskujulikud «tellised», nii on ka meid ümbritsev elektronide loendamatu hulk absoluutselt samane, kõik elektronid on täiesti ühesugused ja eristamatud. Peab muuseas tunnistama, et kõigi elektronide ideaalset «sarnasust» ei saa muidugi iseenesest mõistetavaks pidada. Õigupoolest peab teadus sellele veel seletuse leidma. Seletust nõuab loomulikult ka elektri mõiste ise, sest fakt, et elektron kannab negatiivse elektri elementaarlaengut, ei räägi veel midagi elektri enese loomusest.

Kuid selleks, et meie novelli kangelase portreed joonistada, jääb väheks üksnes tema alalise «elupaiga» teadmisesest. Kõige tähtsam on teada elektroni massi ja laengu suurust, ehkki ka need ei ammenda veel kaugeltki kõiki elektroni karakteristikuid.

Kas mäletate, kuidas teadlastel õnnestus loendada nähtamatute aatomite müriaade ja mõõta sel teel iga üksiku aatomi massi, kaaluda teda — sellest jutustasime eelmises novellis. See oli suurim teaduslik kangelastegu. Kuid ilmselt on taoline ülesanne elektronide puhul veel mõõtmatault keerukam — elektronid on ju tühiselt tillukeste mõõtmete ja massidega aatomitest veel palju väiksemad ning kergemad. Kuidas muidu saaksid nad nii vabalt ja kergelt ümber paikneda metalljuhtmes, kus voolab elekter — juhis on aatomid ju väga tihedalt koos, nad peaaegu puudutavad teineteist. Sellest räägib ka asjaolu, et elektronid kuuluvad aatomi koosseisu. Ja siiski mõõdeti elektroni mass nii nagu laengki täpselt ära, kusjuures seda tehti kõige erinevamate meetoditega, ent alati saadi üks ja sama tulemus. Kas pole see ere tõend teaduse kõikvõimsusest, inimgeeniuse ammendamatuses!

Kuidas seda siis tehti?

Me juba rääkisime Faraday kuulsatest katsetest, millega ta 1833. a. määras range hulgalise vahekorra elektrolüüdist eraldunud erinevate ainete ja elektrolüüti läbinud voolu vahel. Need katsed näitasid, et «elektri aatomid» on lahutamatuult seotud aine aatomitega, ja võimaldasid ühtlasi kindlaks teha, kui suur elektrihulk kandub üle aine ühe aatomi kohta.

Selgus näiteks, et kui elektrolüüdist eraldub 1 g vesinikku, siis on elektrolüüti läbinud elektrihulk võrdne

$2,894 \cdot 10^{14}$  absoluutse elektrihulga ühikuga.<sup>1</sup> Kui elektrolüüdist eraldub samasugune kogus tunduvalt massiivsemaid kaaliumi, hõbeda jt. ainete aatomeid (muidugi on nende ainete mass vastavalt suurem, sest see peab olema võrdne gramm-aatomiga), siis jääb nende poolt ülekantava elektrilaengu suurus ikkagi endiseks:  $2,894 \cdot 10^{14}$  ühikut. Tõsi. Faraday märkas, et kui võtta selliste ainete, nagu näiteks kaltsium, magneesium, tsink jne. gramm-aatomid, siis on ülekantav elektrihulk küll erinev, kuid... täpselt kaks korda suurem.

Faraday ise, kes selle tähelepanuväärse avastuseni jõudis, ei läinud kaugemale, sest tema ajal polnud atomistlikud ettekujutused teaduses veel eluõigust saanud. Loogilised järeldused Faraday katsetest tehti pool sajandit hiljem: 1881. a. kuulutas tuntud saksa füüsik Helmholtz Faradayle pühendatud loengus, et viimase katsetest järeldub vahetult «elektri aatomite» olemasolu. Kuid temagi ei suutnud veel elementaarlaengu suurust määrata, s. t. leida iga üksiku aatomi kohta tulevat laengut; siis ei teatud aatomite arvu ühes grammis vesinikus. See arv, nagu nüüd teame, on Avogadro arv ja võrdne  $6,02 \cdot 10^{23}$ .

Teades Avogadro arvu ja üldist elektrilaengut, mille 1 grammis sisalduvad vesiniku aatomid läbi elektrolüüdi kannavad, saab kergesti määrata iga aatomi kohta tulevat elementaarlaengut. Selleks on ilmselt vaja kogulaeng, mis Faraday järgi on  $2,894 \cdot 10^{14}$  laenguühikut, jagada Avogadro arvuga  $6,02 \cdot 10^{23}$ . Jagatis määrabki elementaarlaengu suuruse  $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$  laenguühikut. Tulemuse illustreerimiseks piisab, kui öelda, et vool 1 A vastab  $6 \cdot 10^{18}$  elektronile sekundis.

Tõsi, tegelikult oli asi vastupidine. Elementaarlaengu suurus määrati teisel teel (sellest räägime hiljem), aga pärast määrati selle ja Faraday leitud vesiniku gramm-aatomi poolt ülekantud kogulaengu järgi Avogadro arv. Viimane osutus võrdseks  $6,02 \cdot 10^{23}$ , s. t. täpselt võrdseks

<sup>1</sup> 1 absoluutne laenguühik on laeng, mis teisele samasugusele laengule mõjub kauguselt 1 cm jõuga 1 düün (kooskõlas nn. Coulomb'i seadusega). Kulonites tuleb arv 3 miljardit korda väiksem, s. t. ta on võrdne 96 496 kuloniga. Saadud tulemust nimetatakse Faraday arvuks (täpsemalt, Faraday arv käib ühe gramm-aatomi ehk 1,008 g vesiniku kohta). Et endale ette kujutada selle laengu väiksust, piisab, kui öelda, et 100-vatise elektrilambi hõõgniiti läbib igas sekundis  $3 \cdot 10^{18}$  (kolm miljardit miljardit) elektroni.

väärtusega, mis saadi Boltzmanni konstandi põhjal. Kas pole see teaduse hiilgav saavutus, veenev tõend aatomite absoluutsest reaalsusest, olgugi nad sada korda nähtamatud ja mittetajutavad?

Elektroni laengu esimese katselise määramise au kuulub J. J. Thomsonile, kelle eksperimentidest katoodekiirtega oli juba juttu. Tõsi, Thomson ei määranud mitte vahetult laengu  $e$  enese suuruse, vaid selle suhte elektroni massisse, s. t. suuruse  $e/m$  ehk nn. elektroni erilaengu. Ja ka hilisemates katsetes määrati just nimelt erilaengut, ning nagu näeme, sugugi mitte juhuslikult.

Mida siis Thomson tegi?

Tema idee oli lihtne nagu kõik geniaalne. Ta arutles järgmiselt: kui katoodekiired on elektronide voog, siis ei liigu nad elektri- ja magnetväljas sirgjooneliselt, vaid peavad kõrvale kalduma, kusjuures kalde suurus oleneb elektroni laengust. Tähendab, tuleb mõõta kalde väärtus.

Mõeldud, tehtud. Thomson asetas katoodekiirte teele fotoplaadi. Sellele langevad kiired jätsid sinna jälje. Muidugi ei tulnud teadlane selle peale, et tema idee kordub kunagi miljonites kinesiograafides, süütab televiisoriekraanid kõigis maakera nurkades. Tal oli vaja tollele tabamatule ja nähtamatule elektronile «saba peale astuda», oli vaja leida suurus  $e/m$ . Nüüd oli see juba üldiselt lihtne.

Thomson mõötis hoolikalt kiire jälje vertikaalse kõrvalekalde fotoplaadil elektrivälja mõjul. Kalle sõltub vahetult suhtest  $e/m$  (mitte elektroni massist  $m$  ja laengust  $e$  eraldi võetuna, vaid just nende suhtest). Kuid nagu kerge on näha, oleneb see suhe kahjuks ka elektronide kiirusest, seda aga ei teatud. Saadakse võrrand kahe tundmatuga, millest ei piisa tundmatute leidmiseks, nagu teab iga koolijüts. Kuid Thomson sai puuduva võrrandi üsna kergesti — ühel ajal elektriväljaga mõjus ta lendavatele elektronidele ka magnetväljaga. Nüüd kaldus jälg fotoplaadil nii vertikaal- kui ka horisontaalsuunas kõrvale. Tuli ära mõõta vaid horisontaalne kõrvalekalle — ja teine võrrand oligi käes. Kahe võrrandi abil aga kahte tundmatut leida on juba lihtsam kui lihtne.

Nii leidis Thomson suuruse  $e/m$  elektroni jaoks. Muidugi leidis ta ka teise tundmatu — elektronide lennukiiruse katoodektoor. Ja mis kõige olulisem: kuidas ta ka katsetingimusi ei muutnud, kuidas ka ei varieerinud elektronide kiirust, jäi  $e/m$  väärtus alati, kõigis katsetes muutu-

matult samaks. Vähemalt tema katsetes jäi suurus  $e/m$  imepäraselt konstantseks. Alles pärast selgus, et see on tõepoolest universaalne füüsikakonstant, mis on ühesugune kõikjal ja alati, kõigis katsetes ja igal tingimusel. Mis siin ka imestada — suurus  $e/m$  on ju elektroni omapärane eluaegne «pass», et aga kõik elektronid on ühesugused ja eristamatud, siis loomulikult on ka «pass» neil ühine.

Thomsoni katsetes osutus  $e/m$  võrdseks  $5,273 \cdot 10^{17}$  (kui laengut  $e$  mõõta absoluutsetes ühikutes, aga massi  $m$  grammides).

Niipea kui Thomson oli leidnud suuruse  $e/m$  elektroni jaoks, tegi ta kohe veel ühe hiiglasuure teadusliku tähtsusega loogilise järelduse, mis puudutas meie kangelase — elektroni portreed. Tal oli meeles, et Faraday elektrolyüsikatsetes tehti kindlaks, et iga gramm elektrolüüdist eralduvat vesinikku kannab läbi lahuse kindla koguse elektrit (just sellest oligi eespool juttu) ja nimelt  $2,894 \cdot 10^{14}$  absoluutset laenguühikut. Kerge on märgata, et see suurus (mainisime, et seda nimetatakse Faraday arvuks) pole midagi muud kui elektroni laengu  $e$ , s. t. «elektri aatomi» ehk elementaarse elektrilaengu suhe vesiniku aatomi massi  $M$ . Tõepoolest, suhe  $e/m$  on  $e$ -st niimitu korda suurem, kui 1 g on suurem vesiniku aatomi massist, järelikult on erinevus nii mitme kordne, kui palju aatomeid sisaldub 1 g vesinikus. Ent ka Faraday arv on  $e$ -st täpselt niisama palju kordi suurem — on see ju laeng, mida kannavad üle kõik 1 grammis vesinikus sisalduvad aatomid, kusjuures iga aatom viib üle laengu  $e$ . Järelikult kujutab Faraday arv endast suuruse  $e$  suhet vesiniku aatomi massisse.

Niisugune järeldus viib möödapääsmatult üsna üllatava tulemuseni. Kui Thomsoni poolt leitud elektroni laengu suhe tema massisse (ehk erilaeng) on  $5,273 \cdot 10^{17}$  ja selle laengu suhe vesiniku aatomi massisse on võrdne Faraday arvuga  $2,894 \cdot 10^{14}$ , siis saab mõlema väärtuse järgi kergesti määrata vesiniku aatomi ja elektronide masside suhte.

Tuleb välja, et elektroni mass moodustab ainult väikese osa vesiniku aatomi massist — elektron on 1838 korda kergem! Teadmata vesiniku aatomi tõelist, tühiselt tillukest massi, leidsid teadlased, et elektroni mass on veel palju kordi väiksem. Nähtamatute mikroosakestega kind-

lalt opereeriv teadus teeb tõesti imesid, määrates täpselt nende osakeste mitmesuguseid omadusi ja veendes ka kõige lootusetumaid pessimiste ning kriitikuid iga katsega üha rohkem selles, et need osakesed on vaieldamatu objektiivne reaalsus, mitte aga teadlaste eneste väljamõeldis.

Pärast Thomsoni oivalisi katseid hakkas suuruse  $e/m$  määramisi pudenema nagu küllusesarvest, tehti kõige erinevamaid katseid, mis üha uuesti ning uuesti tõestasid elektronide vaieldamatut reaalsust. Nii näiteks määras kuulus hollandi füüsik Lorentz suuruse  $e/m$  katsetest valgusega (möödunud sajandi lõpus).<sup>1</sup>

Ameerika füüsikud Stewart ja Tollman korraldasid 1916. a. teravmeelse katse, mis võimaldas neil veelkordselt määrata suuruse  $e/m$  ja tõestas ühtlasi veenvalt, et elektrivool metalljuhtmes pole midagi muud kui elektronide voog. Tavaline mähisega pool pandi kiiresti oma telje ümber pöörlema, siis aga pidurdati järsult. Et pooli keerdukes olevatel elektronidel on mass, siis tähendab on neil ka inerts — pooli järsul peatumisel liikusid elektronid veel mõnda aega inertsil mõjul edasi; poolis tekkis vool, mida sai mõõta.

Kui Stewart ja Tollman oma katseid tegid, tunti juba Avogadro arvu (mäletate, eelmises novellis räägiti Perrini katsetest 1908. a.) ja järelikult oli määratud ka vesiniku aatomi mass. Seepärast tunti ka elektroni massi, mis võimaldas kindlaks teha niihästi elektroni erilaengu  $e/m$  kui ka tema absoluutse laengu  $e$ . Vajadust selle järgi aga polnud, sest veidi varem, 1909. a., määrati laengu  $e$  suurus vahetult katsest, tõeliselt ajaloolisest eksperimentist.

Peene ja teravmeelse katse tegi 1911. a. tuntud inglise füüsik Robert Millikan. Katse idee oli imepäraselt lihtne, kuid erakordselt viljakas. Teadlane kasutas tillukesi õlitilku, mis moodustusid õli pihustumisel. Ta jälgis, kuidas need tilgad langevad raskusjõu mõjul algul lihtsalt õhus, pärast aga elektriväljas (kondensaatori plaatide vahel).

<sup>1</sup> Hollandi füüsik Zeeman avastas, et paigutades helenduva aine tugevasse magnetvälja, muutub tema poolt kiiratava valguse spekter, nagu ütlevad füüsikud — spektraaljooned lõhustuvad, muutuvad kaksik- või kolmikjoonteks. Lorentz tõestas matemaatiliselt, et nii see peabki olema, sest valguse kiirgamine on seotud elektronide liikumisega helenduva aine aatomites. Lõhustumise suuruse põhjal sai ta  $e/m$  täpse väärtuse.

Elektriväli muutis langemisseadust — langemise asemel hakkasid mõned tilgad tõusma. See näitas, et tegevusse astusid elektrilised jõud: pihustamisel omandasid õlitilgad laengu — elektriseerusid; peale selle kiiritas Millikan neid samal eesmärgil veel röntgenikiirtega. Uurides tilkade langemisseadusi nii elektriväljas kui ka selle puudumisel, tegi teadlane kindlaks, et alati, igal juhul, sõltumata õlitilga diameetrist, jääb tema laeng rangelt muutumatuks. Ei, see polnud alati võrdne  $e$ -ga, ehkki esines ka selliseid tilku, kuid alati oli laeng  $e$ -kordne, s. t. kas  $2e$ ,  $3e$  või nii edasi. Mitte ühelgi juhul ei moodustanud laeng osa  $e$ -st, see oli alati ainult  $e$  täisarvkordne.

Loomulikult ei saanud Millikan jätta tegemata iseene-  
sest pähe tulevat järeldust: ilmselt on  $e$  üldse minimaalne võimalik elektrihulk, omapärane «elektri aatom», mida enam jagada ei saa, et selle laengu kandjaks on elektron. Samal seisukohal on ka kaasaegne teadus (ehkki viimasel ajal on püstitatud hüpotees, et peaaegu kõik nn. elementaarlaengud on tegelikult liitlaengud, mis koosnevad lihtsamatest osakestest ehk kvarkidest; igal kvargil on laeng, mis on  $e$ -st väiksem kas  $1/3e$  või  $2/3e$  võrra; praegu on see siiski vaid hüpotees<sup>1)</sup>). See oli veel üheks hiilgavaks ja üsna veenvaks kinnituseks niihästi elektri atomaarse struktuuri kui ka elektroni eksisteerimise reaalsuse kohta. Millikani katses peeti ju arvet sõna otseses mõttes üksikute elektronide üle.

Millikan aga ei peatunud. Õlitilkade langemiskiiruse mõõtmine võimaldas tal määrata ka elektroni laengu  $e$  absoluutväärtust. See osutus võrdseks  $4,8 \cdot 10^{-10}$  absoluutse laenguühikuga. Nii selguski saladus. Muidugi peavad tule-

<sup>1</sup> Kvarkide hüpotees, mis esitati 1964. a. elementaarosakeste sümmeetriaomaduste matemaatilise järeldusena, pole seniajani eksperimentaalset kinnitust leidnud. Arvatakse, et kvargid on niivõrd massiivsed ja osakestes niivõrd tugevasti üksteisega seotud, et eksperimentaatorite käsutuses olev energia on lihtsalt ebapiisav nende tekitamiseks. Terve hulk katseid on tehtud ka kvarkide leidmiseks tavalisest maapealsest ainest või täheainest, kuhu nad võiksid sattuda, olles tekkinud väga energilise kosmilise kiirguse mõjul või siis nn. «reliktkvarkidena» (jääk-kvarkidena), mis on üle jäänud pärast materia esialgsel staadiumil eksisteerinud «kvark-gaasi» muutumist tavalisteks aatomituuma osakesteks. Üheski neist katsetest pole kvarke registreeritud, see aga ei tähenda veel, et kvarkide hüpotees oleks ümber lükatud.

Kvarkide probleemi lahendusele viivad kindlasti lähemale katsed, mis lähemas tulevikus korraldatakse Serpuhhovi kiirendil (vt. märkust lk. 148 juurde).

viku füüsikud välja selgitama, miks on  $e$ -l just selline, mitte aga mõni teine väärtus, õppima seda suurust teoreetiliselt välja arvutama, ilma milleta elektroni teooriat ei saa lõpetatuks lugeda.

Teades  $e$  väärtust, on kerge määrata (juba tuntud suhte  $e/m$  järgi) ka elektroni massi  $m$  absoluutväärtust. Et  $e/m = 2,894 \cdot 10^{14}$ , ja kui  $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$ , siis saame  $m = 9,11 \cdot 10^{-28}$  g. Tühine mass! Ühes grammis sisaldub umbes niisama palju elektrone, kui on aatomeid inimese kehas. Võrrelge poolegrammist vihti maakera massiga: just samavõrd on vihikese mass suurem elektroni massist. Aga isegi sellist peadpööravalt väikest massi õnnestus teadlastel, nagu nägite, mõõta — kaaluda ära elektron. Ja kaaluti palju täpsemalt kui mingit harilikku keha meie igapäevasest praktikast. «Kaalud», millel määrati nähtamatu, fantastiliselt väikese elektroni mass, osutusid hämmastavalt täpseteks.

Kerge on näha, et Millikani katsed elektroni laengu kindlakstegemisel andsid samal ajal võimaluse määrata uuesti vesiniku aatomi mass ja Avogadro arv, s. t. gramm-aatomis sisalduvate aatomite hulk. Loomulikult osutusid nende suuruste arväärtused kõik samadeks. Niimoodi (mitmes kord küll juba!) kinnitas loodus teadlastele, et aatomid ei ole väljamõeldis, vaid reaalne tegelikkus, et aatomid on kõigi oma omadustega tõepoolest olemas, sõltumata sellest, kas usutakse nende olemasolusse või mitte.

Niisiis on elektroni portree peajooned — tema mass  $m$  ja laeng  $e$  — teada. Loomulikult ei ammenda need jooned seda portreed — elektroni mõõtmed on küll tühised, kuid siiski on tal palju iseloomulikke omadusi. Tõenäoliselt pole kaugeltki kõik neist veel avastatud. V. I. Lenini kuulsates sõnades «elektron on ammendamatu» peitub ülisügav mõte, kuid siiski teame elektronist rohkem kui teistest elementaarosakestest. Ent elektroni (ja iga teiseigi elementaarosakese) põhikarakteristikuteks on mass ja laeng.

Suhe  $e/m$  on elektroni puhul üks füüsika põhikonstante, niisamuti nagu suurused  $e$  ja  $m$  eraldi võetuna. Muide, miks just põhikonstant? Mis tõstab need konstandid esile meid ümbritseva maailma palgest? Kas maailm muutuks tõesti nii suurel määral, kui neil konstantidel oleks teistsugune väärtus? Aga võib-olla kutsub konstandi  $e/m$  muutmine, hoolimata tema fundamentaalsusest, esile mingeid teisejärgulisi, vähemärgatavaid muutusi universu-

mis, võib-olla ei muutu aga üldse mitte midagi nagu Boltzmanni konstandi puhul?

Vastused neile vägisi pähe kippuvatele küsimustele võiksid muidugi aidata paremini tutvuda meie konstandi osaga looduses. Kuid sellepärast ta ju ongi konstant, et peab olema jääv ja mitte muutuma.

Jah, tegelikkuses küll, aga mitte selle raamatu lehekülgedel. Lugeja, kes juba veidi on harjunud, tõenäoliselt ei imestagi, kui teeme talle ettepaneku sooritada veel üks reis teistsuguste konstantide maailma, seekord maailma, kus konstant  $e/m$  on erineva väärtusega, mis on tingitud näiteks elektroni laengu  $e$  muutumisest.

... Ja ongi meie konstant 10 korda suuremaks muutunud. See tähendab, et nüüd ei ole ta mitte enam  $5,273 \cdot 10^{17}$  nagu tegelikult, vaid  $5,273 \cdot 10^{18}$ . Kah asi, küllalt pikka ritta tuli üks null juurde — nagunii oli neid juba 17! Konstandi  $e/m$  kasvamine tähendab seda, et elektroni massi iga ühiku kohta tuleb õige pisut rohkem elektrit, endise massi juures muutub laeng veidi suuremaks. Ja mis siis sellest on? Mis pistmist on meil oma harilikus makromaailmas selle veeklaasis möllava «mikrotormiga»?

Kuid kas eelmistest novellidest saadud kogemused ei sunni meid antud juhul teatud ettevaatust ilmutama? Me sattusime juba varemgi kimbatusse näiva seose puudumise pärast füüsikakonstandi ja ümbritseva maailma vahel.

Mis siis ikka, asugem arutlema. Kõigepealt on selge, et kui elektroni laeng kasvab 10 korda, siis täpselt niisama palju kasvab ka prootoni laeng. Peab ju aatom tervikuna neutraalseks jääma. Kui tegemist on vesiniku aatomiga, siis tema tuuma positiivne laeng, mis koosneb ühestainsast prootonist, peab täpselt võrdne olema ümber tuuma tiirleva elektroni negatiivse laenguga. Kui tegemist on teiste, keerukamate aatomitega, siis peab kõigi tuumas olevate prootonite summaarne laeng võrduma samasuguse hulga elektronide kogulaenguga aatomi elektronkattes.

Järelikult säilivad meie teistsuguste konstantide maailmas tuuma ning elektronide massid, laengud aga kasvavad 10 korda. Kas aatomi omadused saavad seejuures endiseks jääda?

Kerge on näha, et ei, ei saa. Tõepoolest, tuletage meelde, mis hoiab hiiglasuure kiirusega (tuhandeid kilomeetreid sekundis) liikuvaid elektrone tuuma ümbritseva-

tel orbiitidel? Selleks jõuks on positiivselt laetud tuuma ja negatiivselt laetud elektronide elektrostaatiline tõmbejõud. On teil kooli füüsikakursusest veel meeles, et erinimelised laengud tõmbuvad? Tõmbejõu määrab Coulomb'i tuntud seadus: jõud on võrdeline laengute suuruse korrutisega ja pöördvõrdeline laengutevahelise kaugusega. Suhteliselt on see väga suur jõud — umbes 1 800 000 tonni elektroni massi iga grammi kohta.

Me teame, et planetaarne aatomimudel on tegelikkusest üsna kaugel, kuid ometi juhivad elektroni liikumist tuuma ümber needsamad seadused mis planeetide liikumist ümber Maa, ainult kosmoses asendub elektrostaatilisi tõmbejõude gravitatsioonijõud (ja elektrilaengute kohale asuvad vastavalt tõmbuvate kehade massid).

Nüüd teavad juba kõik, millised seadused juhivad tehis-kaaslaste liikumist. Nagu teada, vastab igale Maa pinnast teatud kõrgusel (täpsemalt, Maa keskpunktist antud kaugusel) asuvale orbiidile ka rangelt kindel, ainuvõimalik kaaslaste kiirus orbiidil (seda nimetatakse esimeseks kosmiliseks kiiruseks). Ja ühelgi teisel orbiidil peale tolle ainukese ei saa kaaslane selle kiirusega liikuda.

Aga kujutlege, et gravitatsioonijõud kasvab ootamatult, näiteks kaaslane sattus (mingi ime läbi, loomulikult) orbiidile, mis asus keskpunktist küll endisel kaugusel, kuid juba teise planeedi lähedal, mitte enam Maa, vaid Jupiteri lähikonnas (muide, niisugusele äkilisele gravitatsiooni suurenemisele võib kujutleda ka teist põhjust; sellele on pühendatud raamatu viimane novell). Kas kaaslane saab sellel uuel orbiidil endise kiirusega liikuda? Muidugi mitte. Ta hakkab langema planeedi poole ja kas kukub siis lõpuks sellele või läheb üle uuele püsivale orbiidile (elliptilisele!), mis asub planeedi keskpunktile lähemal.

Sama juhtub ka elektroniga, kui tema laeng, samuti nagu aatomituuma laeng, kasvab 10 korda. Ilmselt suureneb siis elektronide ja tuuma vaheline tõmbejõud 100 korda ning elektronid hakkavad kiiresti tuuma poole langema. Ohtlik «kesktõmbejooks» lõpeb elektroni katastroofilise sukeldumisega aatomituuma «põhjatusse». Isegi meie tavalises maailmas, kus konstandil  $e/m$  on tema tõeline väärtus, neelduvad tuumalähedased elektronid mõnikord, ehk nagu öeldakse, tuum haarab neid (füüsikud nimetavad sellist neeldumist elektronhaardeks ehk  $K$ -haardeks, sest tuum haarab elektrone tuumale lähimast, nn.  $K$ -kihist).

Külgetõmbejõu niisuguse tohutu kasvamise korral ei pääse «terve nahaga» tõenäoliselt ka kõige kaugemal asuvad elektronid. Nad hukkuvad tuumas. Kui tugev aatomi ehitus tavaliste ettekujutuste järgi ka poleks (aatomile ei mõju näiteks üldse tavalised põrked molekulide ja aatomite vahel), muutub see antud juhul erakordselt «hapraks» ning puruneb.

Tuuma tunginud elektroni saatus väärib tõepoolest kaastunnet: ta «hukub» kokkupõrkel tuuma prootoniga. Prooton kaob samuti, muundudes neutroniks<sup>1</sup>; mõlemad vastandmargilised laengud — elektroni ja prootoni oma — neutraliseeruvad ning loomulikult osutub uus moodustunud osake elektriliselt neutraalseks, laenguta osakeseks.

Kuidas muutuvad seejuures aatomi omadused? Ilmselt kõige radikaalsemal viisil, sest eelkõige olenevad need prootonite arvust tuumas (ehk nn. aatomnumbrist) ja vastavalt ka elektronide arvust orbiitidel. Käesoleval juhul riskib aatom hoopis ilma jääda niihästi elektronkattest kui ka prootonitest tuumas — kõik nad muutuvad neutroniteks. Tegelikult tähendaks see terve ümbritseva maailma hukku — kaob keemiliste elementide kogu mitmekesisus. Hukub kõik elav maailmas ja sama saatus tabab ka eluta loodust. Kõigist mikromaailma «ehituskividest», elementaarosakestest, millest kocsneb universum, jääb järele ainuüksi neutron. Maailmaruum muutub vaeseks, monotoonseks, surnud «neutronmaailmaks», mis on üles ehitatud ainult ühest materjalist — neutronitest.

Praegu ei tunne teadlased veel sellist materjali, see eksisteerib üksnes ulmeromaanide veergudel.<sup>2</sup> Kuid kaasaja ühe teadusliku hüpoteesi alusel pole neutronainega kohtumiseks sugugi vaja teistsuguste konstantide maailma kanduda. See hüpotees väidab, et meiegi reaalses maailmas on kosmilisi kehi, mis koosnevad põhiliselt just niisugusest ainest, s. t. neutronitest.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Seejuures kiirgab tuum välja uue elementaarosakese neutriino ja röntgenikiiri.

<sup>2</sup> Nii näiteks nimetab kirjanik G. Savtšenko raamatus «Mustad tähed» ainult neutronitest koosnevat imepärast ainet neutriumiks ehk neutriidiks.

<sup>3</sup> Teise hüpoteesi kohaselt oli kogu meid ümbritsev Metagalaktika aine umbes 15 miljardit aastat tagasi neutronolekus või isegi veel tihedam; siis toimus katastroofiline plahvatus, mille üheks ilminguks on kaasajal jälgitav galaktikate «laialijooks». Aine neutronolekut nimetavad teadlased mõnikord viiendaks olekuks, sest nelja juba tuntakse:

Vähe sellest, mõnede teadlaste arvates peaksid sellisteks muutuma paratamatult, varem või hiljem, paljud tähed universumis, nimelt need, mille mass on võrdne 1,2...2,0 Päikese massiga (veel suurema massi korral toimub piiramatu kokkutõmbumine, nn. tähe kollaps, aga väiksema massi puhul tekib valge kääbus; sellest tulcb lähemalt juttu üheksandas novellis). Kõigil neil on «vanast peast» määratud neutrontähtedeks muutuda.

See juhtub siis, kui põleb ära kogu tähe termotuumakütus ja lakkavad tema sisemuses toimuvad termotuumareaktsioonid — lakkab eksisteerimast nii heledalt ümbritsevasse ruumi kiiratava energia allikas. Pärast seda peab täht vältimatult hakkama katastroofiliselt kokku tõmbuma — kaob ju kiirgusrõhk, s. t. väljatungiva kiirgusenergia rõhk, mis tavalistes tähtedes niisugust kokkutõmbumist takistab.

Arvatakse ka, et niisugune katastroofiline kokkutõmbumine võib tekkida või tugevneda pärast plahvatust «üliuueks» ehk supernoovaks muutunud tähes. Nii või teisiti viib kokkutõmbumine koletisliku rõhu tekkimiseni tähe keskosas, mis lihtsalt «surub» aatomite elektronkatted tuumadesse (selle protsessi arvutas rohkem kui 30 aastat tagasi teoreetiliselt välja tuntud nõukogude füüsik L. Landau).

Siis muutuvadki tuumad neutrontuumadeks, kogu täht omandab suhteliselt väikesed mõõtmed suurusjärgus 10 km, kuid seejuures on ta ennenägematult tihe. Neutrontähes peaaegu ju polegi «tühje kohti», mis tavalise aine põhiosa moodustavad. Neutrontäht koosneb tihedalt üksteise vastu «pakitud» neutronitest; pole midagi imestada, et sellise aine kuupsentimeetris sisaldub kolossaalne massikogus, rohkem, kui niisama suures ruumalas tuumaaaines! Isegi ülitihedate valgete kääbuste aine, s. t. kaasaja teadusele tuntud väga tihedate tähtede aine, mille kuupsentimeeter kaalub sadu kilogramme ja tonne, näib sulgkergena, võrreldes neutrontähe ainega. Viimase tihedus ulatub miljardi tonnini kuupsentimeetri kohta.

Seni pole teadlased neutrontähti veel avastanud, sest

---

tahke, vedel, gaasiline olek ja plasma. Tõsi, mõnikord nimetatakse viiendaks sellist aine olekut, kus aatomite elektronkatted hiiglasuure rõhu mõjul (suurusjärgus 1 400 000 at) nagu «kokku litsutakse» ja tuumad osutuvad «elektronvedelikku» sukeldunuks. Arvatakse, et selles olekus on aine Maa ja tähtede, valgete kääbuste sügavuses.

seada on väga raske teha. Nad helenduvad nõrgalt, väljastades peaaesjalikult röntgenikiiri (väga kõrge, kümne miljoni kraadini küündiva pinnatemperatuuri tõttu) ja sedagi ainult umbes esimese 1000 aasta jooksul pärast tekkimist; 1000 aastat on aga kosmose ajamastaabis vaid üks hetk.<sup>1</sup> Pärast seda võib nende olemasolu kindlaks teha tähe vahetus läheduses tema gravitatsioonivälja põhjal, s. t. külgetõmbe järgi, ja tõenäoliselt ka võimsa magnetvälja kaudu. Kuid paljud teadlased loodavad, et saabub aeg, mil õnnestub avastada ka neutrontähti (muuhulgas röntgeniteleskoopidega varustatud kosmoselaboratoriumide abil), seda enam, et neid võib taevakehade seas kõige rohkem esineda. Tõenäoliselt laheneb küsimus neutrontähtede olemasolust alles siis, kui universumisse suunduvad Maa elanike esimesed tähtedevahelised ekspeditsioonid. Igal juhul pole senituntud kosmilise röntgenikiirguse allikaid, mis on avastatud kosmoserakettide lennul (neid on üle kümne), võimalik samastada ühegi tähega.

Kui aine kaotab atomaarse struktuuri ja muutub kolektisliku rõhu all neutronaineks ainult neutrontähtede sügavuses, nagu arvavad teadlased, siis meie teistsuguste konstantide maailmas, kus elektroni erilaeng  $e/m$  on kasvanud, tabab sama saatus kogu ainet universumis. Selles maailmas pole enam kellegi juurde tähtedevahelisi ekspeditsioone lähetada...

Huvitav, et kaasaegne füüsika lubab printsiipiaalselt ainuüksi neutronitest koosnevate aatomituumade olemasolu ja peale selle otsib agaralt niisuguseid tuumi, heites seega nagu silla füüsikast astrofüüsikani koos selle neutrontähtedega. Nii näiteks on teoreetiliselt ennustatud (akadeemik J. Zeldovitš) ja 1964. a. Ameerika Ühendriikides kuuldavasti ka avastatud heeliumi üliraske isotoop  $\text{He}^8$ , mille tuumas leidub peale kahe prootoni mitte kaks nagu tavaliselt, vaid kuus neutronit. Teadlased otsivad nn. tetraneutronit — tuuma, mis koosneb ainult neljast neutronist. See oleks nagu omamoodi neutronaine «tilk». Teoreetiliselt pole selliste neutrontuumade eksisteerimise võimalikkus lõplikult välja selgitatud.

Kuid mõned aatomifüüsika viimaste aastate avastused

---

<sup>1</sup> Mõne viimasel ajal tehtud oletuse järgi võib neutrontähe intensiivne kiirgus kesta vaid mõned aastad või isegi kuud ja nädalad, alates tekkimise hetkest.

sunnivad meid ette nägema teist varianti elektroni saatuses, kus elektroni orbiit lõikub aatomi tuumaga laengu  $e$  suurenemise tõttu teistsuguste konstantide maailmas. Tõenäoliselt ei pruugi elektron sugugi neelduda paljudest nukleonidest koosnevas raskes tuumas koos kõigi sellest tulenevate järeldustega (nukleonid on tuumaosakesed — prootonid ja neutronid). Niisugune on olukord vähemalt siis, kui aatomituuma ümber ei liigu mitte elektronid, vaid teised elementaarosakesed, nn. müümesonid ehk lihtsalt müoonid. Need osakesed sarnanevad paljuski elektronega, nende laeng on samuti  $e$ , kuid mass on üle 200 korra suurem elektroni massist  $m$ .

Võimalikud ja teadusele tuntud on juhud, mil meson hakkab tõepoolest elektronisarnaselt ümber aatomituuma tiirlema, ainult lähemal sellele, sest tema mass on suurem (orbiidi raadius on pöördvõrdeline massiga). Niisuguseid aatomeid nimetasid teadlased erinevalt tavalistest mesoaatomiteks. Raskete elementide aatomites, milles siseelektronide orbiitide raadiused on suure tuumalaengu tõttu niigi väga väikesed (külgetõmbejõud on suur!), võib raadiuse kahanemine veel 200 korda (elektron asendub müooniga) viia selleni, et orbiidi raadius muutub väiksemaks tuuma raadiusest.

Tuleb välja, ehkki see näib üsna kummalisena, et niisugused rasked mesoaatomid tõepoolest eksisteerivad. Negatiivsed mesonid ei hukku tuumas, põrgates kokku prootoniga ja neutraliseerudes, vaid jätkavad, nagu polekski midagi juhtunud, liikumist oma orbiidil tuuma sees! Eks ole, niisugune aatom ei meenuta enam Rutherfordi planetaarset mudelit, vaid esimest, Thomsoni mudelit (mäletate elektrone, mis ujusid positiivses tuumas?). Võib-olla ka elektronidega juhtub midagi taolist? Siis vähemalt osa aatomeid ei hävi ja teistsuguste konstantide universum ei muutu neutronuniversumiks.

Nagu aga näitab teooria, on elektroni viibimine tuumas täiesti välistatud, ja vägagi printsiipiaalsetel kaalutlustel, millest täpsemalt tuleb juttu järgmises novellis. See, mis on võimalik mesoni puhul, osutub kättesaamatuks elektronile — teda veab alt väiksem mass. Järelikult «hukkub» tuumasse tunginud elektron paratamatult.

Kuid võib-olla moodustavad meie teistsuguste konstantide maailma aatomid, kus elektronide orbiidid lähenevad tuumale, kuid ei «sukeldu» sellesse? Ilmselt saavad need

olla vaid kõige kergemad aatomid, kuid tõenäoliselt on nende eluiga väga lühike. Sellest räägib analoogiliste kergete mesoaatomite, näiteks deuteeriumi mesoaatomi saatus. Väikese diameetri tõttu on need aatomid suutelised üksteisele sedavõrd lähedale tulema, et nende tuumad astuvad termotuumareaktsiooniga sarnanevasse tuumareaktsiooni. Toimub omapärane «külm» termotuumareaktsioon ilma miljonikraadiste temperatuurideta, mis on iseloomulikud seda tüüpi reaktsioonile näiteks kas või vesinikupommis. Selliseid reaktsioone ennustasid nii ameerika kui ka nõukogude füüsikud (J. Zeldovitš ja A. Sahharov), katseliselt aga avastas selle Alvarez Ameerika Ühendriikides.

Nagu näha, oleks elektroni erilaengu suurendamisel kõigil juhtudel tõepoolest katastroofilised tagajärjed. Näete, mis tähendab ainet elektriga «üle küllastada», suurendada aine massiühiku kohta tulevat laengut.

Kuid võib-olla on vastupidine toiming (erilaengu vähendamine) võimalik ja maailma saatuse jaoks pealekauba veel sooduski?

Mis siis ikka, kandume jällegi teistsuguste konstantide maailma, kus elektroni erilaeng  $e/m$  on 10 korda väiksem tegelikust. Mille poolest erineb see maailm reaalsest?

Nüüd väheneb elektrone tuumaga siduv jõud 100 korda, seepärast eemalduvad elektronid tuumast suurtele kaugustele; nende orbiitide raadiused suurenevad ka 100 korda. Kui näiteks elektroni orbiidi diameeter vesiniku aatomis<sup>1</sup> on tavaliselt umbes 1 ongström (s. t. sajamiljardik sentimeetrit), siis nüüd oleks see 100 ongströmit. Vahe on muidugi suur, aga kas ka eriti oluline? Kas pole lõpuks ükskõik, on nähtamatu aatomi diameeter veidi väiksem või suurem? Tuleb välja, et see pole kaugeltki ükskõik.

Kui peame silmas näiteks tahket keha, siis paiknevad aatomid seal tavaliselt nii tihedalt, et naabrid peaaegu puudutavad üksteist oma elektronkatetega. Kui aga aatomi diameeter kasvab 100 korda, siis ilmselt suurenevad ka kõik keha joonmõõtmed niisama palju kordi. Keha ruumala muutub  $100^3$ , s. t. miljon korda, ja samavõrd väheneb tema tihedus. Tähendab, meie ise oleme nii saja viiekümne meetri pikkused, aga Moskva ülikooli tornitipp tungib... stratosfääril! Maa mõõtmed kasvavad sedavõrd, et ta

<sup>1</sup> Nn. esimene Bohri orbiit; sellest tuleb üksikasjaliselt juttu järgmises novellis.

«sulab ühte» Kuuga; atmosfäär muutub nii hõredaks, et hingata selles enam ei saa. Maailm muutub veidraks, ebatavaliseks ja vaevalt oleks elugi võimalik.

Aga mitte ainult see. Kui elektronid asuvad aatomituumast neid siduva jõu vähenemise tõttu kaugemal, siis on elektroni tuuma juurest ilmselt palju kergem ära rebida, sest elektroni seoseenergia tuumaga on väiksem. Teooria näitab<sup>1</sup>, et kui elektroni laeng väheneb 10 korda, siis teda aatomiga siduv jõud kahaneb  $10^2$  ehk 100 korda, kui elektroni orbiidi raadius suureneb 100 korda, siis seoseenergia väheneb  $100^2$  ehk 10 000 korda. Üsnagi oluline vähene mine!

Elektronide seoseenergia, eriti kõige välimiste elektronide puhul (neid nimetatakse tavaliselt valentselektronideks), on suur osa paljudes füüsikalistes ning keemilistes nähtustes ja protsessides. Seoseenergia iseloomustab ju seda energiat, mis tuleb kulutada elektroni täielikuks eemaldamiseks aatomist, tema viimiseks lõpmata kaugele, s. t. praktiliselt küllalt kaugele. Pärast lahtirebimist muutub elektron «lindpriiks olendiks» (füüsikud ütlevad «vabaks»), kes ei ole enam seotud aatomiga. Samasuguse vabaduse saab kosmoserakett, millele antakse teine kosmiline kiirus — ta rebib täielikult puruks Maa külgetõmbejõu ahelad. Esmakordselt juhtus see, nagu teada, esimese Nõukogude Kuu-raketiga 2. jaanuaril 1959. a.

Aatomit, millelt on ära võetud elektron (seda enam veel niisugust, kust neid on kõrvaldatud rohkem kui üks), nimetatakse iooniks, aga elektroni ärarebimise protsessi ennast ionisatsiooniks. Ilmselt moodustub ionisatsiooni tulemusena ühe neutraalse osakese — aatomi — asemel kaks elektriliselt laetud osakest: positiivne ioon ja negatiivne elektron. Loomulikult on mõlema osakese kogulaeng endist viisi null, kuid praegu on see summa juba fiktsioon, sest mõlemad laengud elavad täiesti omaette elu.

Tavaliselt nõuab aatomi ioniseerimine tunduvalt energiakulu — elektron on tuumaga tugevasti seotud. Just sellepärast, nagu eespool räägiti, ei põhjusta aatomite ja molekulide arvukad kokkupõrked ionisatsiooni — põrgete keskmine energia on väiksem ionisatsioonienergiast.

Selleks et vähegi suurema aatomite hulga ionisatsiooni

---

<sup>1</sup> See järeldus tuleneb kergesti aatomifüüsika põhivõrrandest, mis määravad elektroni energia antud orbiidil.

esile kutsuda, tuleb järsult suurendada nende kokkupõrgete energiat, s. t. gaasi peab tugevasti soojendama, tuleb tõsta tema temperatuuri. Hõõguvas gaasis osutub tunduv osa kõigist aatomitest ioniseerituks, gaas muutub kiiresti kõigis suundades liikuvate neutraalsete aatomite, ionide ja elektronide seguks. Sellist aine olekut nimetatakse teadupärast plasmaks.

Mida kõrgem on temperatuur, seda vähem jääb plasmasse neutraalseid aatomeid. Temperatuuri edasisel tõusul hakkavad teisedki elektronid end aatomitest lahti rebima. Miljonikraadised tähetemperatuurid viivad selleni, et tuumad kaotavad täielikult oma elektronkatted. Enamik looduses leiduvast aimest eksisteeribki plasma kujul.

Kuid teistsuguste konstantide maailmas, kus elektronide side tuumaga on tugevasti nõrgenenud, võivad isegi tavalised aatomite kokkupõrked viia ionisatsioonini. Sellise «üldise» ionisatsiooni vahetuks tagajärjeks on paljude harjumuspäraste nähtuste järsk muutumine.

Isegi ümbritsev õhk lakkab olemast gaas ja muutub plasmaks. Kuid erinevalt tavalisest õhust on plasma elektrijuht. Niisugune õhu omaduste muutumine viib loendamatu hädadeni; see muudab praktiliselt võimatuks iga maapealse elektrotehnilise seadme töö, sest elektrivool ei liigu enam nii, nagu käsivad konstruktorid, vaid otse mööda õhku. Niisuguse vaenlasega — lühiühendusega — võidelda on väga raske, paljudel juhtudel isegi võimatu. Ainuüksi see asjaolu kujuneb tervele tehnikamaailmale tõeliseks katastroofiks — peatuvad autod, tööpingid, trollibussid. Inimene jääb ilma oma truust abilisest elektrist.

Paremini ei tunne end ioniseeritud õhus, plasmas ka inimesed ja üldse kõik elav maakeral. Hingata sellises õhus tõenäoliselt ei saa: otsustades seniste vaatluste järgi mõjub kõrge elektriseeritus inimesele kahjulikult, aga suure ionide kontsentratsiooni korral isegi hukutavalt. Võib arvata (vajalikku hulka katseandmeid muidugi ei ole), et elu osutub võimatuks.

Muuseas, isegi kui oleks võimalik õhku hingata, siis oleks sellest vähe kasu, sest ta ei täidaks oma füsioloogilist funktsiooni. On ju teada, et sissehingatavat hapnikku vajame organismi eksisteerimiseks vajaliku energia eraldamiseks. Energia vabaneb inimese poolt tarvitatud toidu hapendumise käigus. Kuid meie teistsuguste konstantide maailmas on elektronide seoseenergia tugevasti vähene-

nud, see tähendab aga igal keemilisel reaktsioonil, sealhulgas muidugi ka hapendumisel, s. t. hapnikuga ühine-  
misel eralduva energia kahanemist.

Eraldub ju nn. keemiline energia erinevatel keemilistel reaktsioonidel, näiteks tavalisel põlemisel seetõttu, et reaktsiooni tagajärjel tekkivates molekulides on elektronide side aatomitega tugevam kui lähtemolekulides. Järelikult on keemiline energia õigupoolest reaktsiooni tulemusena vabanenud osa elektronide seoseenergiast. Ja kui seoseenergia osutub teistsuguste konstantide maailmas palju kordi väiksemaks kui praeguses maailmas, siis väheneb vältimatult ka kõigi keemiliste reaktsioonide energiatoodang. Seepärast ei suuda sissehingatav õhuhapnik toidu hapendumisel organismis eraldada elu alalhoiuks vajalikku energiahulka. Elu ei ole enam võimalik, vähemalt mitte kõrgesti organiseeritud olendite elu.

Muidugi loetlesime siin vaid põhilisi erinevusi teistsuguste konstantide maailmas, kus suurus  $e/m$  ehk elektroni erilaeng on väiksem. Aga sellestki piisab, et osata hinnata tolle ülitähtsa füüsikakonstandi püsivust.

## AATOMI SISEMUSES

*Esimene äikesekärgatus. Džinn on välja lastud. Plancki leid. Kvandid — «energia aatomid». Fotoefekti mõistatus. Kvandi «topelthing». Mis tähendab h. Vesiniku aatom on «dešifreeritud». Hõõguv Maa. Pimestav tähetelk. Kuu on eredam Päikesest. Hukkuv Merkuur. «Laineosakesed». Elektronid käituvad nagu valguslained. Uus, mikromaa- ilma mehaanika. Planeedid lahkusid orbiitidelt. Kilomeetripikkune inimene.*

Oli aasta 1900. Ees ootas XX sajand, mis Lenini sõnade järgi tõi kaasa «revolutsiooni loodusteaduses», vanade, igaveste ja kõigutamatute teaduslike vaadete ennenägematu murrangu. Kuid juba siis, sajandi koidikul, kõlas esimene, seni veel nõrk ja ebakindel äikesekõmin — tulevase teadusliku tormi ettekuulutaja. Selleks sai seni vähetuntud saksa füüsik Max Plancki teoreetiline uurimus.

Muide, ise ta mõtles kõige vähem džinnist, kelle ta looduse pitseeritud peidupaigast välja laskis ja kes pidi esile kutsuma hiiglasliku teaduserevolutsiooni. Ettevaatlik ja ebakindel Planck ei kavatsenud üldsegi põhialuste kõigutajaks saada. Alguļ ta lihtsalt ei tajunud oma avastuse tõelist mõtet. Pärast aga, kui teised teadlased tema «tööhüpoteesile» (nagu Planck ise tagasihoidlikult ja ettevaatlikult oma avastust nimetas) nagu võimsale kangile toetudes hakkasid klassikalise füüsika tugesid kõigutama, kui selle teadusetempli sambad hakkasid mürinal kokku vajuma, siis ehmus Planck vist isegi ja veel palju aastaid hiljem ei uskunud ta oma avastuse reaalsusse, väheselst, ta ei lasknud mõõda juhust hoiatada noori teadlasi

võimaliku «vea» eest. Planck arvas, et ta avastas lihtsalt huvitava ja viljaka meetodi mõnede füüsikaprobleemide teoreetilisel uurimisel, mitte aga tegelikult looduses eksisteerivad seaduspärasused.

Tõele au andes peab ütleva, et Planck polnud kaugeltki ainus teadlane, kes alanud tormi ees värises. Hiljem lausus üks suuremaid füüsikuid, et «... see oli loominguiliste tegude aeg, ja uutes mõttekujutlustes peitus nii vaimustus kui ka õudus». Ei pidanud vastu suur Einsteingi, teadusemaru tormilind, kes viis aastat pärast Plancki avastust märkas esimesena tema teoreetiliste arutluste taga looduse tõelist palet. Isegi Einstein, kes oma kuulsa relatiivsusteooriaga tungis julgelt kallale klassikalise füüsika alustele, ei suutnud kuni elu lõpuni täielikult leppida vaieldamatute, kuid «hullumeelsetena» näivate järeldustega, millele viis uus, Plancki esialgseid ideid ja Einsteini enese mõtteid edasiarendav füüsika. Rääkides enda loodud uutest teaduslikest meetoditest, lausus Einstein kunagi: «Ma tõin need sisse nagu midagi ebapiisavat, nagu ajutiselt vajaliku asja, ega arvanud, et teised muudavad selle ajutise vajalikkuse püsivaks vooruseks...»

Mida Planck siis avastas?

Tema uurimus käsitleb nn. absoluutselt musta keha elektromagnetkiirgusega seotud füüsikaprobleemi (absoluutselt must keha — selle terminiga märgivad füüsikud ideaalset elektromagnetlainete kiirgajat). Antud temperatuuril võib keha kiirata erineva sagedusega elektromagnetlaineid, nii neid, mida me ei näe (näiteks infrapunane või ultraviolettkiirgus), kui ka nähtavat valgust (punaseid, kollaseid, siniseid kiiri, ühesõnaga, kõiki spektrivärve). Mingil teatava sagedusega kiirgusel on kindel energia, niisuguseid kiiri välja saatev keha kaotab energiat. Kas saab teoreetiliselt välja arvutada, milline peab olema keha poolt antud temperatuuril kiiratud energia üksikute sageduste järgi? Ainult sel juhul võiks teooria pretendeerida sellele, et ta mõistab ja kirjeldab õigesti tegelikku kiirgamisprotsessi.

Energia jaotus kiirgamissageduse järgi, nii nagu selle andis endine teooria<sup>1</sup>, ei olnud katseandmetega eriti heas

---

<sup>1</sup> Selle teooria aluseks olid soojuste kineetilise teooria põhiseisukohad, millest oli juttu viiendas novellis, nii et teatavas ulatuses määrab ka Boltzmanni konstant kiirgusenergia suuruse.

kooskõlas, aga nagu teada on ainult katse kõigi teooriate lõplik kohtunik. Kiirgava keha kõrgematel temperatuuridel olid katse kooskõla teooriaga üldiselt veel rakendatav, kuid temperatuuri langemisel see üha halvenes, kuni jõuti ilmse vastuoluni. Olemasoleva teooria raamides seda vastuolu seletada ei õnnestunud.

Planck oskas teoreetiliselt jõuda tulemuseni, mis katsega suurepäraselt kooskõlas oli. Selleks pidi ta aga tegema eelduse, mis vähemalt paradoksaalsena näis: keha peab energiat kiirgama . . . portsjonitena!

Planckile endale ei tulnud pähegi mõte, et tema «tööhüpotees» selgitab õigesti tegelikku kiirgamisprotsessi. Oletada, et kiirgamine toimub just nii, tolle aja füüsika ei saanud — see näis lausa metsikuna, terve mõistuse vastasena. Aine on küll diskreetne — ta koosneb üksikutest osadest, kuid energia? . . . Sellega nõustuda tähendas tunnistada, et keha võib ühest olekust üle minna teise, uue energiaga iseloomustatavasse olekusse hüppeliselt, läbimata kõiki vahepealseid olekuid. Kas keha soojendamisel saab näiteks kujutleda sellist mõõtmete suurenemist, et keha oleks kogu aeg väike, siis aga muutuks äkki (hüppeliselt) suureks, omamata kõiki teisi vahepealseid mõõtmeid? Ilmne mõttetus! Aga energia puhul tuleb just midagi sellist välja . . . Kuid aatomite mikromaailmas tegutsevad omad erilised seadused ja seal on sellised uskumatuna paistvad hüpped vajalikud ning toimuvad tõepoolest.

Kui energiat ei kiirata pidevalt, vaid portsjonite kaupa, siis ilmselt peab eksisteerima ka keha poolt kiiratav minimaalne võimalik energiaportsjon. Planck nimetas seda energiahulka — omapäraselt «energia aatomit» — kvandiks (ladinakeelsest sõnast, mis tähendab «hulka»). Tähendab, keha energiat ei saa vähendada  $\frac{1}{2}$  või  $\frac{1}{8}$  kvandi võrra? Miks? Milline on kiirgamise mehhanism? Kui suur on kvant ja missugune on tema osa füüsikas?

Neile küsimustele leidsid vastuse Einstein ja Bohr, suured revolutsioonäärid füüsikas.

Einstein tõestas esimesena, et kiirgamine toimub just nimelt pidetult, portsjonite, kvantide kaupa (tema tõigi sisse mõiste «valguskvant»), ja tegi kindlaks ka kvantettekujutuste ülitähtsa osa paljudes füüsikaharudes. Muide, just Einstein avastas 1917. a. nn. elektromagnetkiirguse kvantgeneraatorite teoreetilise põhimõtte, mis laserite ja

maseritena leiavad üha laiema leviku. Kuid Einsteingi peatus poolel teel...

Üks Einsteini hiilgavaid teoreetilisi uurimusi, kus tõestati valguskvantide eksisteerimise reaalsus, puudutas Stolovi avastatud fotoefekti. Mäletate, kuidas selle teadlase kuulsas katses (vt. üle-eelmine novell!) «lõi» metallplaadile suunatud valguskiir plaadist välja teatava hulga elektrone. See katse tõestas veenvalt ülitihedat seost elektronide ja aatomite vahel. Ent Einstein oskas esimesena selgitada fotoefekti kvantitatiivset külge, mis seni oli füüsikutele saladuseks jäänud.

Tõepoolest, fakt, et valgus mõjub metallile, mille tulemusena lüüakse viimasest välja elektrone, näis füüsikutele täiesti loomulikuna. Nagu Maxwellist peale oli selge, kujutab valgus endast elektromagnetvõnkumisi. Kui võnkumised on küllalt tugevad, siis metalli aatomites olevatele elektronidele mõjuvad elektrijõud suudavad purustada elektronide seosed aatomituumadega ja nad metallist välja rebida. Kui lugu aga nii on, siis mida tugevam, intensiivsem on valgus, seda suurema kiirusega peaksid elektronid metallist välja lendama, sest siis on ka neile mõjuv jõud suurem. Peale selle, mida suurem on valguslainete sagedus, seda vähem efektiivne peaks olema elektronide väljarebimise protsess: sageduse suurenemine tähendab elektronile mõjuva elektrijõu suuna kiiremat muutumist — see jõud kord rebib elektroni väljapoole, kord tõukab teda tagasi.

Kahjuks osutusid need oletused ekslikuks. Valguse intensiivsus ei kajastunud kuidagi väljalendavate elektronide kiiruses — isegi kõige nõrgem valgus viis elektronide ilmumiseni, muutus ainult nende hulk. Valguslainete sageduse suurendamine ei viinud aga mitte elektronide väljarebimise efektiivsuse vähendamisele, vaid hoopis kasvamisele. See asjaolu polnud kuidagi kooskõlas vaieldamatult kindlaks tehtud valguse laineiselooga. Tekkis ummik...

Väljapääsu leidis Einstein. Selleks piisas Plancki esitatud kvantide reaalsuse tunnistamisest. Kui valgus koosneb üksikutest kvantidest, kusjuures kvandi energia, nagu näitas Planck, on seda suurem, mida kõrgem on valguse sagedus, siis on selge, et langevate kvantide hulk võib mõjuda vaid väljarebitavate elektronide üldhulgale, elekt-

ronide energia (ehk nende kiirus), aga oleneb ainult kvandi energiast, s. t. valguse sagedusest.

Einsteini selgitus osutus täpselt ka kvantitatiivselt. Kvandid olid saavutanud teise võidu — esimene, nagu mäletate, seostus absoluutselt musta keha kiirgamisega; huvitav ja oluline on see, et mõlemal juhul osutuvad kvandid ühesuurusteks, nagu see õige teooria korral loomulikult peabki olema.

Pärast Einsteini tõestasid paljud teised teadlased erinevate katsetega ümberlökkamatult valguskvantide ehk footonite (nagu neid vahel nimetatakse) reaalsuse. Nõukogude füüsikud A. Joffe ja N. Dobronravov tegid valguskvantide olemasolu kindlaks otseselt, vahetu katsega. Sai selgeks, et valgusel on omapärane kahene loomus: ta on ühel ja samal ajal nii elektromagnetlaineline, s. t. elektromagnetvälja võnkumine, kui ka osakeste, valguskvantide ehk footonite voog. Niisugust kahesust polnud range määratuse, ühesuse õilsas vaimus kasvatatud füüsikutel kerge mõista. See oli vanade, klassikaliste kujutluste esimene järsk murrang. Kuid murrang oli paratamatu, sest just niisuguseks osutusid reaalse maailma omadused. Valguse kahene loomus on üks vastandite ühtsuse avaldumisvorme, selline käsitlus on iseloomulik looduse dialektilisele mõistmisele.

Kui suur on siis kiirgusportsjon — kvant?

Planck sai kvandi suuruse jaoks ilmeka ning samal ajal erakordselt tähtsa valemi:

$$E = h\nu.$$

Kvandi energia on võrdne kahe suuruse — konstandi  $h$  ja kiirgamissageduse  $\nu$  korrutisega. Mida suurem on elektromagnetkiirguse sagedus, seda suurem on kvant, s. t. seda suurem on kiirgusenergia. Raadiosageduse kvant on väiksem infrapunasest, roheline kvant violetsest, ultravioletne kvant aga röntgenikvandist. Niisugust kiirgamissageduse mõju võib mõista järgmiselt: mida rohkem laineid kiirgab keha sekundi jooksul, seda rohkem kulub selleks energiat.

Konstant  $h$ , millele ongi pühendatud käesolev novell, on teaduses tuntud Plancki konstandina ehk mõjukvandina. See on kaasaja füüsika üks tähtsamaid universaalseid konstante, üks niinimetatud maailmakonstantidest.

Absoluutväärtuselt on Plancki konstant väga väike,

kaasaegsete andmete järgi on ta võrdne umbes  $6,63 \cdot 10^{-27}$  erg·s.<sup>1</sup> Muuseas, pöörake tähelepanu nimetusele: erg·s, s. t. energiaühiku (ergi) korrutis ajaühikuga (sekundiga). See ongi füüsikaline mõju: mida suurem on protsessi energia ja mida pikema aja jooksul ta toimub, seda suurem on mõju. Et mõjukvandi väiksust endale ette kujutada, võib tuua sellise näite. Kui klaas vett soojeneb sekundis kõigest 1°C võrra, siis vastab sellele mõju  $10^{30}$  kvanti. Kujuteldamatult suur arv — üks kolmekümne nulliga!

Igapäevases elus mõtleme vähe mõjukvandi, selle vähima võimaliku mõju väärtusest. Mis meil sellest, milline ta on, ja mis meil on üldse tegemist mikromaailma sündmustega — jätkub oma «makromuredestki». Muide, selgitada, miks mõjukvandel on just niisugune, mitte aga mõni teine väärtus, seda teadus seni veel ei suuda. Tavitseb Plancki konstandi väärtusel aga muutuda, ja me märkaksime seda otsekohe. Veendume selles ise, kui sooritame järjekordse retke teistsuguste konstantide maailma. Kuid seni jääb meil veel vastata viimasele eespool püstitatud küsimustest: kuidas aatomid kvante kiirgavad? Kus ja kuidas tekivad kiiratavad kvandid aatomis, kus ja kuidas nad aatomisse sattudes neelduvad? Kuidas on kvantide kiirgamise ja neeldumise fakt ise kooskõlas Rutherfordi aatomimudeliga, millest eelmises novellis juttu oli?

On aeg öelda, et Rutherfordi hüpoteesis aatomi planeetaarsusest, vaatamata kogu selle viljakusele, ei läinud kaugeltki kõik otsad otstega kokku.

Eelkõige tekitas arusaamatusi niisuguse «projekti» järgi loodud aatomi püsivus ise — kõigi seaduste põhjal oli taolisel aatomil õigus vaid üsna lühiajalisele eksisteerimisele. Tõepoolest, elektroni liikumine ringorbiidil nagu igasugune ringliikumine on kiirenev, kuid liikumise kiirenemine on seotud elektroni energiakuluga<sup>2</sup> — energia peab elektromagnetlainete (ehk nagu teame, valguskvantide) kiirgamise tagajärjel lakkamatult vähenema.

---

<sup>1</sup> Vahel kasutatakse suurust  $\frac{h}{2\pi}$  ja nimetatakse seda tuntud inglise füüsiku nime järgi Diraci konstandiks. Tähistatakse  $\hbar$  ( $h$  kriipsukeseaga):  $\frac{h}{2\pi} = \hbar = 1,05 \cdot 10^{-27}$  erg·s.

<sup>2</sup> Elektroni kiirenev liikumine on võrdväärne vahelduvvooluga, mis loob ruumis vahelduva elektromagnetvälja; selle välja loomiseks kulubki energiat.

Niisuguse energiakao vältimatuks tulemuseks peab olema elektroni järkjärguline lähenemine tuumale: just sel kombel ligineb Maale tehiskaaslane, kui tema energia väheneb hõõrdumisel suurte kõrguste hõredas õhus (elektroni puhul asendab õhku elektromagnetväli). Lõpuks peab elektron langema tuumale, nagu kaaslane langeb Maale. Kuid siis lakkaks aatom olemast, seda aga ei esine; nagu teame, on aatom tavaliselt erakordselt püsiv moodustis. Aga võib-olla näitavad arvutused, et niisugune katastroof peab toimuma pika ajavahemiku möödumisel, sest elektron langeb väga aeglaselt? Sugugi mitte, langemine peaks kestma vaid mõni miljondik sekundit.

Milles on siis asi?

Vähem üllatav pole ka teine, katses tulenev seletamatu asjaolu: osutub, et aatomid ei kiirga (ega neela) mitte igasuguse pikkusega valguslaineid, vaid igal keemilisel elemendil on omad rangelt kindlad lainepikkused. Seepärast pole antud aatomi kiirgamis- (või neeldumis-) spekter mitte pidev, vaid sisaldab üksnes täiesti kindlaid jooni, mis vastavad alati ühtedele ja samadele sagedustele — spekter on elemendi omapärane pass, mis iseloomustab ainult seda ühte elementi.

Järelikult on iga aatom suuteline kiirgama ja neelama vaid rangelt kindla energiaga kvante. Millega seda seletada? Ilmselt peab saladus olema seotud mingite aatomi sisemise «ehituse» iseärasustega. kuid Rutherfordi mudel osutus siin jõuetuks.

Muide, seda poleks suutnud seletada ka ükski teine aatomimudel, mille aluseks olid klassikalise füüsika — «vana» elektrodünaamika ja «vana» mehaanika — kujutlused. Looduse poolt teadlaste ette püstitatud uute mõistatuste lahendamiseks oli vaja ka uusi kujutlusi, mis radikaalselt pidid erinevama klassikalistest.

Nii sündis uus aatomimudel, seejärel aga ka uus mehaanika — aatomimaailma mehaanika, mis oskas seletada selle iseärasusi. Kuulsa taani füüsiku Niels Bohri poolt 1913. a. esitatud uue aatomi-«projekti» aluseks oli küll Rutherfordi planetaarne skeem, kuid põhjalik erinevus seisis elektronkatte ehituses. Bohril õnnestus seletada valguse neeldumise ja kiirgamise tõelist mehhanismi; tema teooria kannatas hiilgavalt välja katselise kontrolli — kvantitatiivne kooskõla oli praktiliselt ideaalne. Harutati

lahti veel üks looduse saladus ja Bohri aatom läks igaveseks vaieldamatute teaduslike tõdede hulka.

Kuidas Bohr kooskõlastas planetaarse mudeli kvanttekkujutustega?

Selleks tuli tal teha mõned olulised eeldused ja oletused. Eelkõige, mööda mingit täiesti kindlat orbiiti liikuv elektron ei tohi kiirata, vastasel korral ei saa ju seletada aatomi imepärast püsivust. Muidugi pole see kooskõlas «vanade» seadustega, kuid... seda halvem neile seadustele; selliseid orbiite nimetas Bohr statsionaarseteks. Nagu näha, pole elektronid selles mõttes sugugi sarnased Maa tehiskaaslastega: kaaslased võivad asuda ju ükskõik millisel ringorbiidil, sellal kui elektroni jaoks on olemas vaid täiesti kindel «valik» statsionaarseid orbiite — elektron ei saa eksisteerida neist orbiitidest ei kõrgemal ega madalamal, ei suuremal ega väiksemal kaugusel; ta ei satu sinna kunagi, isegi õige lühikeseks ajaks mitte.

Bohril õnnestus kindlaks teha, mida kujutavad endast statsionaarsed orbiidid vesiniku aatomi tuuma ümber tiirleva üheainsa elektroni korral.<sup>1</sup>

Tuleb välja, et elektron võib asuda ainult neil orbiitidel, mille puhul elektroni energial (ja järelikult ka tema kiirusel) on rangelt kindlad väärtused. Need väärtused, nn. elektroni energiatasemed, osutuvad tihedalt seotuks Plancki konstandiga. Hiljem saame teada, milles see seos just seisab.

Siis tegi Bohr viimase sammu — ta määras, kuidas just aatom kiirgab (või neelab) valgust.

Selgub, et aatom kiirgab valgust siis, kui elektron läheb ühelt statsionaarselt orbiidilt üle teisele, tuumast kaugemal asuvalt teelt lähedasemale, välimiselt sisemisele. Niisugusel üleminekul (nagu langemisel tuumale) elektroni energiatase alaneb, sest mida kaugemal tuumast elektron asub, seda suurem on tema energia. Tekkinud energia ülejäägi annabki elektron aatomi poolt kiiratava valguskvandi — footoni näol ära; vastupidisel üleminekul kvant neeldub. Seejuures on kõik elektroni energiatasemed aatomis just niisugused, et üleminekul ühelt teisele aatom kiirgab või neelab terve kvandi (või kvandid) mingist või-

<sup>1</sup> Keerukamate tuumade puhul on ülesanne palju raskem ning seni lõpuni lahendamata. Keskmiste suurustena võib võtta, et elektroni tiirlemiskiirus tuuma ümber on  $2 \cdot 10^8$  cm/s ja üheks tiiruks (üheks «elektroniaastaks») kulutab ta umbes  $0,5 \cdot 10^{-15}$  s.

malikust sagedusest. Neelatava kvandi sagedus on seda suurem, mida suurem on energiatasemete vahe. Kvandi osi pole olemas, seepärast pole elektronil ka mingeid teisi orbiite peale lubatute. Ainult üks, kõige madalam, tuumale kõige lähemal asuv statsionaarne orbiit on põhiorbiit; varem või hiljem pöörduv elektron kindlasti sellele orbii-dile tagasi ja muutub siis jälle eristamatuks müriaadide teiste elektronide seas.

Nüüd võime lõpuks suunduda kauaoodatud retkele teist-suguste konstantide maailma, kus Plancki konstant on 100 korda suurem kui tegelikult. Võib-olla on seda liiga palju — 100 korda? Kuid pidage meeles, et niisugune kasv viib vaid selleni, et Plancki konstandi suu-rust väljendav arv ei sisalda pärast koma mitte 27, vaid 25 nulli. Ongi kogu erinevus...

Kui palju aega on möödunud selle kohutava ülemaa-ilmse kataklüsmi algusest? Päevi, tunde? Seda ei tea keegi, ehkki juba teatakse, mis nimelt on juhtunud. Teadmatul ning seletamatul põhjusel on Plancki konstant 100 korda suuremaks muutunud. Missugused katastroofilised tagajär-jed tõi universumi jaoks kaasa see ootamatu suurenemine! Vapustatud on universumi alused — mikromaailmast kuni tähtede ja galaktikate maailmani...

Võib-olla kõige tugevamini mõjus Maale päikesekiir-guse muutumine — Päikese poolt Maale saadetava iga kvandi energia on nüüd ju 100 korda suurem. Me näeme maailma sellesamas värvigammas, sest kvantide sagedu-sed ei muutunud — taevas on endiselt sinine ja rohi rohe-line, aga kuidas küll andis tunda kvantide energia muu-tumine! Maa saab Päikeselt nüüd 100 korda rohkem energiat — ta oleks nagu Päikesele 10 korda lähemal kui praegu (kiirguse intensiivsus väheneb ruudulises sõltu-vuses kaugusest).

Isegi Merkuuril, mis asub keskeltläbi 58 miljoni kilo-meetri kaugusel Päikesest ja kus Päikese poole pööratud külje temperatuur ulatub 400°C, võivad olla sulatina ja teiste metallide järved. Maa aga saab nüüd niipalju soo-just kui siis, mil teda lahutaks Päikesest kõigest 15 miljo-nit kilomeetrit, s. t. ta oleks nagu pea neli korda Päikesele ligemal kui Merkuur. Kuumus maapinnal muutub taluma-tuks: temperatuur ulatub tuhande kraadini! Hukkub kõik elav, sulab polaarjää, maailmaookeani tase tõuseb kümnete

meetrite võrra. Maa koor sulab, seal, kus teda veel näha on, igal pool paistab sulanud laava järvi, suitsevad mäetipud, mis üksildastena üle kihiseva ja keeva veepinna kõrguvad.

Kui öösel paksu pilvekihi kohale tõusta, siis võib näha ebatavalist tähistaevast. Tähed helendavad silmipimestavalt, kõige heledamaid on raske isegi vaadata. Tuttav tähemuster on kadunud, taevas on täis seninägematuid tähti, mis moodustavad tiheda helendava vaiba. Varem nõrgad, nähtamatud tähed saadavad nüüd Maale sada korda rohkem valgust ja on hästi nähtavaks muutunud.

Pimestavalt helendab taevas Kuu (eredamini Päikesest), muutes öö päevaks. Ja isegi niisugune valgus ei tumesta tähtede hiilgust. Kuud ei kaitse atmosfäär ja kogu mitmekordselt kasvanud päikesekiirus jõuab tema pinnale. Päikesest valgustatud Kuu külje temperatuur on palju kõrgem kui ükskõik millises küttekoldes. See kuuketta osa on kaotanud teravad piirjooned — ta on mähitud kobrutavasse auru- ja gaasipilvedesse. Aga Kuu valgustamata külg on endiselt kosmilise pakase ahelais. Ja siis... Näib, nagu suureneksid kuuketta mõõtmed kiiresti? Kas asi on tõesti nii? Mis on selle põhjuseks?

Me ei näe palja silmaga seda, mis toimub päikesesüsteemi planeetidel, kuid võime üsna kergesti mõistatada. Merkuur, mis asuks nagu Päikese vahetus läheduses (mis loevad sel juhul mingid 5—6 miljonit kilomeetrit!), aurustub kiiresti, tema mõõtmed vähenevad kiiresti — planeedi tunnid on loetud. Sama saatus ootab ka Veenust, ainult veidi pikema aja pärast. Külms Marss sattus «ülitroopilisse» kliimavööndisse ja temperatuur tema pinnal tõusis sadade ning tuhandete kraadideni. Kogu elav Marsil, kui seal seda üldse leidis, hukkus samuti. Parem on olukord kaugeimatel planeetidel, mis nüüd on varustamata silmaga hästi nähtavad. Jupiteril muutus soojemaks kui Veenusel — seelses atmosfääris toimuvad tormilised protsessid. Ja isegi kauge Pluuto oma külmunud atmosfääriga «elustus» — sattus ta ju Päikesele nagu lähemale, kui praegu on Jupiter.

Kuid mitte ainult hukatuslikuks muutunud hõõguvkuumad päikesekiired ei kujundanud maailma ümber. Toimus veel üks, võib-olla isegi kohutavam muutus: kõigi kehade massid universumis kasvasid 100 korda, täpsemalt, nii-sama palju kui Plancki konstant!

Aga miks?

Milline salapärane seos ühendab iga keha massi saatust Plancki konstandi saatusega?

See seos peitub materia sügavamates ja põhilisemates omadustes. Avada suutis selle seose alles uus aatomimaailma teooria, millest me juba rääkisime, nn. kvantide teooria.

Mäletate, kuidas Plancki kvantide hüpoteesi edasiarendanud Einstein jõudis järeldusele valguskvandi kahesest loomusest: kvant ühendas endas laine ja osakese omadused?

Bohr kasutas seda ettekujutust oma aatomimudeli loomiseks. Kuid siis möödus veel terve aastakümme, enne kui selles suunas tehti järgmine otsustav samm. Selle astus 1924. a. noor prantsuse füüsik Louis de Broglie.

De Broglie oletas, et «laineosakese» omadused on nii valguskvandal — footonil — kui ka elektronil ja üldse igal elementaarosakesel. Vähe sellest, niisugune omaduste kahesus on iseloomulik üldse kogu ainele looduses. Makroosakeste puhul see kahesus praktiliselt ei avaldu ja laineomadused ilmsiks ei tule, kuid mikromaailmas, elementaarosakeste maailmas, on tal kõige olulisem osa.

Pole midagi imelikku, et elementaarosakeste omaduste kahesus (kui osakesed käituvad ühel juhul lainetena, teisel — korpuskulitena, s. t. materiaosakestena) viib selleni, et osakeste põhikarakteristikutel on samuti kahene iseloom. Osakeste korpuskulaaromaduste iseloomustamiseks peame ära tooma tema massi, laineomadusi iseloomustab muidugi mingi lainepikkus. See iga elementaarosakesega lahutamatu seotud laine sai füüsikas nimeks «de Broglie' laine».

Et nii mass kui ka de Broglie' lainepikkus kuuluvad ühe ja sama «laineosakese» juurde, siis on täiesti loomulik, et nende kahe ülitähtsa kvantitatiivse karakteristiku vahel valitseb tihe seos. Nagu selgus, määrab selle seose just Plancki konstandi väärtus — osakese mass on võrdeline Plancki konstandiga ja pöördvõrdeline de Broglie' lainepikkusega.<sup>1</sup> Mida suurem on mass, seda väiksem on

---

<sup>1</sup> Einstein määras kindlaks massi  $m$  ja energia  $E$  ekvivalentsuse hästi tuntud võrrandiga  $E=mc^2$  ( $c$  on siin valguse kiirus). Teisest küljest, nagu eespool rääkisime, avastas Planck kvandi energia sõltuvuse kiirgamisagedusest  $E=h\nu$ . De Broglie laiendas seda sõltuvust kõigile elementaarosakestele ja sai mõlemast avaldisest kergesti seose  $m$  ja  $\nu$

de Broglie' lainepikkus, seepärast ei märkagi me praktiliselt makroosakeste laineomadusi. Tõepoolest, kui elektroni jaoks on de Broglie' lainepikkus näiteks umbes  $10^{-9}$  cm, siis osakese jaoks massiga 1 g on see  $10^{27}$  korda väiksem (sest elektroni mass on  $10^{-27}$  g), s. t. kõigest  $10^{-36}$  cm. Muidugi mõista on niivõrd väikest lainepikkust katseliselt võimatu kindlaks teha.

Just asjaolu, et elektronile on omane mingi täiesti kindel de Broglie' lainepikkus, ongi rangelt kindla statsionaarsete orbiitide «valiku» olemasolu põhjuseks elektroni liikumisel tuuma ümber. Ligikaudu öeldes võib elektron asuda ainult sellisel orbiidil, kuhu de Broglie' lainepikkus mahub täisarv korda. Järelikult peab orbiidi pikkus olema de Broglie' lainepikkuse kordne.<sup>1</sup>

Varsti pärast de Broglie' teooria avaldamist tehti elektroni laineomadused kindlaks ka katseliselt. Avastati nn. elektronide difraktsioon<sup>2</sup>; elektronid käitusid selles mõttes punktipealt nagu tavaline valgus, täpsemalt, nagu väga lühilaineline röntgenikiirgus (lihtsalt sellepärast, et röntgenikiirte lainepikkus on samas suurusjärgus nagu de Broglie' lainel elektroni puhul). Kvantmehaanika sai eluõiguse. Tema edasiarendamine paljude teadlaste, nagu Bohri<sup>3</sup>, Schrödingeri<sup>4</sup>, Heisenbergi, Pauli, Diraci jt. töödes muutis kvantteooria vaieldamatuks teaduslikuks tööks

---

vahel, nimelt  $m = \frac{h\nu}{c^2}$ . Ilmselt on sagedus  $\nu$  pöördvõrdeline de Broglie' lainepikkusega  $\lambda$ , s. t.  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ .

<sup>1</sup> Siin ei puuduta me seda asjaolu, et elektroni liikumist orbiidil ei saa kuidagi samastada tehiskaaslase liikumisega Maa ümber; kvantmehaanikas ei eksisteerigi trajektoori mõistet. Tegelikult võib elektroni kujutleda pigem «laiali määrituduna» mööda kogu elektronkatet. Sellest võite rohkem teada saada kvantteooria-alastest populaarteaduslikest raamatutest.

<sup>2</sup> Difraktsiooniks nimetatakse valguse kõrvalekaldumist sirgjoonelise liikumise suunast, lainete paindumist tōkete, näiteks ava servade taha; osakese puhul sellist nähtust muidugi esineda ei saa. Katsetes elektronide difraktsiooniga kristallidel õnnestuski määrata de Broglie' laine täpne pikkus elektroni jaoks. Elektronide difraktsiooni avastasid pärast de Broglie' tööde avaldamist katseliselt ameerika füüsikud Davisson ja Germer. Difraktsioonipildi annavad ka aatomid ja molekulid.

<sup>3</sup> Muide, Bohril õnnestus esimesena kvantmehaanika põhjal seletada Mendelejevi perioodilisuse seadust.

<sup>4</sup> Erwin Schrödinger tuletas 1926. a. oma kuulsa võrrandi, mis sai kvantmehaanika nurgakiviks.

— nii suured olid edusammud, mida füüsika selle teooria abil saavutas.

Ent pöördugem tagasi meie teistsuguste konstantide maailma. Nüüd on selge, miks Plancki konstandi sajakordne suurendamine viis niisama suurele osakeste massi kasvule, s. t. lõppkokkuvõttes kõigi universumi kehade massi kasvamisele.

Kõige ebameeldivamad tagajärjed olid kindlasti tähtede massi suurenemisel. Väliskihtide suurenenud gravitatsioon surus tähti kokku, nii et rõhud ja temperatuurid nende sügavuses kasvasid tohutult suurteks ja see muutis põhjalikult termotuumareaktsioonide kulgu. Paljude tähtede jaoks sai see saatuslikuks — süttivate noovade ja supernoovade arv kasvas kiiresti, tähed kujunesid neutron-tähtedeks. Need hiiglaslikud universumikatastroofid, mida seni esines suhteliselt harva, muutusid massilisteks. Tulemusena läbistasid universumit ülivõimsad kosmiliste kiirte vood — hiiglaslike täheplahvatuste tummad tunnistajad.

Ainult mingi ime päästis Päikese samasugusest saatusesest, muidu oleksid nii Merkuur, Veenus ja tõenäoliselt ka Maa osutunud sukeldunuks pärast plahvatust kiiresti paisuvasse Päikesesse. Tõsi küll, vaevalt oleks see eriti palju muutnud meie planeedil kujunenud tingimusi. Tema elupaevad olid loetud...

Päikese massi kasvamine tekitas suurema külgetõmbejõu. Maa tiirlemiskiirus orbiidil (praegu on see 30 km/s) osutus nüüd palju väiksemaks, kui on vaja püsiva orbiidi säilitamiseks. Ja Maa lahkus oma igaveselt rajalt kosmoses ning tormas üha kasvava kiirusega Päikese poole.

Sada korda suurenes ka Maa mass, ja seega kirjutati alla Kuu kohtuotsus. Meie öine valgusallikas elab oma viimaseid päevi või isegi tunde. Kuu jättis maha oma Maa-lähedase orbiidi ning tormas rohkem kui 380 000 km kõrguselt Maa poole. Just sellepärast suurenesidki kuu-ketta mõõtmed nii kiiresti, nagu me täheldasime seda tõusul pealepoole pilvi. Võib-olla õnnestub Kuul kõrvale põigelda otsesest kokkupõrkest Maaga, kokkupõrkest, mis mõlema jaoks osutuks hukatuslikuks. Kuid isegi siis järgneb paratamatult Kuu purunemine raskusjõu mõjul loendamatuks hulgaks kildudeks, hetkel, mil ta Maale lähene misel ületab nähtamatu, kuid kõigi taevakehade jaoks saatusliku piiri, millest lähemal pole enam võimalik vastu panna loodete jõule.

Hukatuslikuks osutus Maa massi kasvamine ka kõigele, mis tema pinnal asus. Isegi kui kõik muu säiliks endisel kujul, teeks juba üksi see elu Maal tõenäoliselt võimatuks. Mõelge ise, meie kaal suureneks 600—800 tonnini! Suutmata taluda nii suurt raskust, murduvad loomade jalad, lindude tiivad, puude tüved. Langevad kokku majad, purunevad masinad. 100 korda suurema jõuga kokkusurutud maapõues saavutas rõhk hiiglasliku väärtuse; tugevasti tõusis ka Maa sisemuse temperatuur; algasid ähvardavad tektoonilised nähtused — vulkaanipursked, maavärisemised.

Ja veel. Õhurõhk maapinnal kasvas 100<sup>2</sup> korda, sest niimitu korda suurenes õhu kaal meie kohal. Baromeetrilise rõhu äkiline tõus 10 000 atmosfäärini hukutas peaaegu kõik elava Maal, purustas masinad ja mehhanismid. Isegi nõrk tuul pühib maapinnalt minema kõik seal leiduva; nüüd on tuul muutunud kohutavamaks igast orkaanist: õhuvoolu surve on tohutult kasvanud nii sellepärast, et õhusakesed on 100 korda massiivsemaks muutunud, kui ka sellepärast, et on kasvanud nende osakeste arv ruumalaühikus. Ainult üks hea külg on atmosfäärirõhu kasvul — see aeglustab ookeani auramist. Selleks et vesi keeks kõrgemal rõhul, tuleb teda tunduvalt tugevamini kuumutada.

Jaa, pole midagi öelda, maailm ei osutunud sugugi ükskõikseks Plancki konstandi suurenemise suhtes. Selle tagajärjel tekkinud katastroofilised muutused universumis sunnivad tahes-tahtmata nõustuma väitega, et Plancki konstant on tõesti m a a i l m a k o n s t a n t.

Kui aga Plancki konstant ei kasva, vaid vastupidi, kahaneb 100 korda, siis võib-olla ei muutu maailm halvemaks, vaid paremaks praegusest? Mis siis ikka, meie võimuses on korraldada ka niisugune «katse».

... Äkki oleks Päike, mis sel kuumal suvepäeval nii heledalt säras, nagu kustunud. Ta muutus tuhmiks ja kahvatuks, nüüd võis teda vabalt palja silmaga vaadelda. Päikesekiired ei soojendanud enam ja ehkki kõik ümbritseva looduse värvid olid säilinud, nägid nad kuidagi hallid välja. Maailm tundus pimedas, külmas ja süngena — sel kombel avaldus Päikselt Maale saadetava energia sajakordne vähenemine. Maad ootab ees kurb saatus — ta

saab nüüd ju niisama palju soojust, kui varem sai... Neptuun. Saabumas on üldine vältimatu jäätumine...

Taevas on tuhm ja täiesti pilvitu. Kuid sellele vaatamata ei helgi ööpimeduse põhjatuses ühtki tähte, üksnes vaevunähtav Kuu tuletab meelde endist imetoredat öist taevast.

Ent tunduvalt hukatuslikumaks kui päikesekiirguse intensiivsuse vähenemine osutus kõigi kehade massi sajakordne kahanemine, mille kutsus esile niisama suur Plancki konstandi muutus. Päikese massi vähenemine tõi kaasa tema sisemuse temperatuuri ja rõhu katastroofilise lange-mise ja selle tagajärjel katkes kuulus tuumareaktsioon, mis oli Päikese poolt kiiratava energia allikaks. Päike kustutab ka peaaegu kõik teised tähed. Ainult haru-harva võib universumis nüüd neid igavesi «lõkkeid» näha — elu on hävinud loendamatus hulgas maailmades.

Päikese külgetõmbejõu nõrgenemine muutis planeetide endisi orbiite. Nende tiirlemiskiirus osutus nüüd palju suu-remaks ringkiirusest. Orbiitidelt lahkunud planeedid hakkasid hüperboole mööda kiiresti Päikesest eemalduma. Möödub mõni aeg, ja Päike jääb igaveseks ilma oma «perekonnast». Kosmoses ujub üksildane kustunud valgus-allikas, aga kuskil kaugel temast tormavad erinevates suundades kodutud planeedid vastu oma tundmatule saatus-tele.

Sama saatus sai osaks ka Kuule. Lahkunud alatiseks nii Maast kui ka Päikesest, muutus ta samuti igaveseks kosmoseränduriks. Kui palju neid nüüd on, neid rändureid, endisi planeete ja nende kaaslasi, pihuks ja põrmuks purustatud planeedisüsteemide kilde!...

Maa ja meie eneste massi sajakordse vähenemise tõttu kahanes meie kaal nagu kõigil muulgi maapinnal 100<sup>2</sup> ehk 10 000 korda. Me kaalume kõigest mõni gramm! Võib arvata, et see loob üsna ootamatuid olukordi. Ilmselt ei tee mingit raskust hüpata näiteks üle Moskva jõe või mõningase treeningu järel otse kõnniteelt üheksandal kor-rusel asuvasse tuppa. Mis loevad tavalise kaaluga harju-nud lihastele mingisugused grammid! Kuid lugu pole sugugi nii. Meie lihaste jõud, «mõju», mida nad suudavad avaldada, koosneb loendamatust hulgast «mikromõjudest», need aga nõrgenesid 100 korda. Lihases toimivate ener-geetiliste protsesside aluseks on needsamad kvantnähtu-sed, s. t. needki määrab Plancki konstandi väärtus.

Ebatavalise ja nii ahvatleva kerguse ootus osutub seega vaid osaliselt õigustatuks. See-eest reaalne, ja peab tunnistama, äärmiselt ebameeldiv on teine raskusjõu vähendamise resultaat: õhurõhk vähenes 100<sup>2</sup> korda! Esimesed hetked niisuguses ülihõredas atmosfääris, peaaegu kosmilises vaakumis, on tõeliselt põrgulikud. Hapnikupuudus lämmatab, veri hakkab keema...

Jah, vaevalt on Plancki konstandi vähenemine parem tema suurenemisest!

Kuid kas kõik meie arutlused Plancki konstandi muutmise tagajärgedest peavad paika? Muidugi, kui kõigi kiirguste sagedused looduses jäävad sellise muutuse korral endiseks nii nagu de Broglie' lainepikkusedki, siis toimub kõik eespool kirjeldatud viisil. Siis muutub tõe poollest kõigi kvantide energia, sest see on võrdne Plancki konstandi ja sageduse korrutisega, kui sagedus aga ei muutu, siis muutub energia samuti nagu Plancki konstantki. Muutub ka kõigi osakeste ja loomulikult neist koosnevate kehade mass. Ent niisama suure, kui isegi mitte suurema õigusega võib oletada, et Plancki konstandi muutmisel jäävad samadeks just energia ja mass, sellal kui kiirgamissagedus ning de Broglie' lainepikkus muutuvad. Siis näeb teistsuguste konstantide maailm, kus Plancki konstandi väärtus on muutunud, hoopis teistmoodi välja.

Tõepoolest, Päike ja tähed kiirgavad endisel hulgal energiat, kõigi kehade massid säilivad muutumatuna, ilmselt jäävad endiseks ka taevakehade trajektoorid. Noh, aga kiirgamissageduse muutumine, kuidas see end tunda annab?

Kasvanud Plancki konstandiga maailmas vähenevad kõigi elektromagnetkiirguste sagedused 100 korda, elektromagnetlainete spektris tekib väga tugev punanihe. Nähtav valgus muutub infrapunaseks, röntgenikiired — nähtavaks. Kui naljakana paistaks sel juhul ümbritsev maailm! Ilmselt võime näha vaid neid asju, mis väljastavad röntgenikiiri.

Muide, kindlalt seda väita ei saa. Kõik oleneb sellest, millele meie silm just reageerib; kas kvandi sagedusele või tema energiale. Meie maailmas pole sel erinevusel mõtet, sest sagedus ja energia on ranges seoses. Kuid teistsuguste konstantide maailmas rikutakse seda seost. Kui valguse tajumise aluseks ei ole mitte kvandi sagedus,

vaid tema energia, siis ei tähelda me mingeid muutusi isegi nähtavas maailmas.

Mis siis välja tuleb: kas Plancki konstant ei mõju maailma ehitusele täpselt niisamuti nagu Boltzmanni konstantki, millest rääkisime viiendas novellis?

Ei, asi pole sugugi nii.

Tuletage meelde: Bohri aatomis võivad elektronid asuda ainult rangelt kindlatel, nn. statsionaarsetel orbiitidel, mille raadiused on tihedalt seotud Plancki konstandiga — nad on võrdelised selle ruuduga. Kui nüüd Plancki konstant meie teistsuguste konstantide maailmas suureneb 100 korda, siis elektronide orbiitide raadiused aatomites suurenevad  $100^2$  s. t. 10 000 korda. Plancki konstandi vähenemisel aga vähenevad sama arv korda.<sup>1</sup>

Kuid elektronide orbiitide raadiuste muutumine pole ju midagi muud kui aatomi mõõtmete muutumine! Ja kui need mõõtmed nii tugevasti muutuvad, siis muutuvad vastavalt ka kõigi makroskoopiliste kehade, näiteks selle raamatu, meie eneste, Maa, isegi Päikese ja tähtede mõõtmed (kuigi viimati mainitud ei ole tahked kehad). Tähendab, inimese kasv teistsuguste konstantide maailmas ulatub kilomeetritesse, kui Plancki konstant kasvab, ja mõõhtub millimeetritega, kui see konstant kahaneb. Vastavalt muutub ka inimkeha tihedus kas miljardeid kordi väiksemaks (mass ju säilib!), s. t. samasuguseks nagu õhutihedus suurtel kõrgustel, või vastupidi — miljardeid kordi suuremaks, veel suuremaks kui aine tihedus valgete kääbuste sees.

Maakera diameeter kas kasvab sedavõrd, et neelab Kuu ja ulatub peaaegu Päikeseni välja, või siis muutub võrdseks kõigest 1—2 kilomeetriga.

Aga Päike?

Ta kas läheb nii «pungi», et neelab alla kõik päikesesüsteemi planeedid, või tõmbub kokku, väiksemaks isegi praegusest Maast.

Võib-olla aitab teistsuguste konstantide maailmast, kus Plancki konstandi väärtus on 100 korda muutunud. Nagu öeldakse, kõik on selge...

Ja siiski tahaks rääkida selle kõikvõimsa maailmakonstandi — Plancki konstandi veel ühest ootamatust osast,

---

<sup>1</sup> See on õige vaid vesiniku aatomi kohta. Keerulisemate aatomite jaoks ei anna Bohri teooria õigeid kvantitatiivseid avaldisi, aga kvalitatiivne sõltuvus säilib.

millega seniajani on seotud teadlaste kõige palavamad vaidlused. See Plancki konstandi roll järeldeb vahetult mikromaailma uuest mehaanikast — kvantmehaanikast. Pole sugugi kerge harjuda füüsika mõnedest uutest ideedest tulenevate «hullumeelsete» järeldustega...

Üks kvantmehaanika loojaid, saksa teadlane Werner Heisenberg, sai 1927. a. teoreetilisel teel üsnagi olulise suhte, mida füüsikas tuntakse määramatuste seose<sup>1</sup> nime all. Pole midagi imestada, et see kutsus esile terve kirgede tormi: suhtest järeldus otseselt, et mitte ühelgi juhul pole isegi põhimõtteliselt võimalik määrata täpselt ningi liikuva mikroosakese kiirust ja asukohta teataval ajahetkel. Mõelge järele! Asi pole mitte selles, et kiirust ja asukohta ei saa mõõta vastavate mõõteriistade, -seadmete, -aparatuuri puudumise tõttu. Probleemi tuum on hoopis muus — meid huvitavatel suurustel lihtsalt polegi täpseid väärtusi, neid pole tegelikult olemas.

Esimesel hetkel ei suuda isegi mõista, ette kujutada, millest siin õige juttu on: kuidas siis nii, et osakesel pole täpset asendit või täpset kiiruse väärtust? Kui näiteks piljardikuul liigub laual või kuul õhus või Maa ümber Päikese, siis kõigil neil ja loendamatul hulgal teistelgi taolistel juhtudel võime soovi ja vajaduse korral igal hetkel täpselt näidata, kus asub liikuv keha ja milline on tema kiirus. Ja kuidas see saakski teisiti olla, kui keha läheb järjest üle ühest asendist teise, naaberasendisse, ja ühelt kiiruselt teisele, uuele kiirusele, ning kogu see protsess on ajas ja ruumis muutumatult pidev?

Aga kas kibe kogemus ei sunni meid üha uuesti ja uuesti äärmiselt ettevaatlik olema tavaliste, makromaailma ettekujutuste ülekandmisega «veidrusi» tulvil mikromaailma?

Tuleb välja, et needsamad kvantmehaanika seadused, mis ei luba elektronil kuskil «poolel teel» statsionaarsete orbiitide vahel asuda või mis annavad elektronile teineteist nagu vastastikku välistavad osakese ja laine omadused, tuleb välja, et needsamad seadused muudavad elektroni ja iga teisegi mikroosakese asendi ja kiiruse määramatuks. Ja jälle, nagu mitmel puhul ennegi, avaldub selline järeldus kvantmehaanika seadustest (nagu kõik

---

<sup>1</sup> Sõna «määramatus» asemel kasutatakse tihti sõna «ebatäpsus». — *Tõlk.*

teisedki) ka makromaailmas, kuid siin juba praktiliselt märkamatu, tühisel määral, kaduvväikeses ulatuses. Teine asi on mikromaailmas.

Heisenberg tegi kindlaks, et mida täpsemalt tahame kindlaks teha osakese asendit (aga siin võime püüda seda kuitahes täpselt ja määratu teha), seda väiksema täpsusega saab määrata tema kiirust. Kvantitatiivselt väljendub seaduspärasus järgmiselt: mõlema ebatäpsuse korrutis (nii asendi kui ka kiiruse määramise ebatäpsus) jääb alati konstantseks; seepärast tulebki välja, et mida väiksem on üks ebatäpsus, seda suurem on teine. Kui üks neist suurustest, näiteks osakese asend, on täiesti täpselt määratud, s. t. tema määramise ebatäpsus on viidud nullini, siis teise suuruse, antud juhul kiiruse määramise ebatäpsus osutub võrdseks lõpmatussega (ainult nulli korrutis lõpmatussega saab olla lõplik arv). See tähendab, et osakese kiirus võib olla ükskõik missugune — vahemikus nullist kuni lõpmatuseni, kõik väärtused on täiesti võrdõiguslikud.

Millise püsiva suurusega võrdub siis määramatuste (ebatäpsuste) korrutis? Tuleb välja, et selleks konstandiks on Plancki konstandi ja osakese massi jagatis. Jälle Plancki konstant! Muide, nüüd on ka selge, miks määramatuste seos ei mängi makromaailmas praktilist osa: suure massi korral on määramatuste korrutis väga väike, tulemusena saab mõlemat suurust — nii asendit kui ka kiirust — üsnagi täpselt kindlaks teha.

Määramatuste seos lahendas paljudki mikromaailma mõistatused. Toome näiteks ühe neist. Füüsikud teadsid, et mõningate aatomituumade radioaktiivsel lagunemisel kiiratakse elektrone (niisugust protsessi nimetatakse beetalagunemiseks). Kas see tähendab, et tuumas on elektrone, et tuuma koostisse kuulub ka elektrone? Oli aeg, kus seda tõepoolest arvati. Kuid määramatuste seos näitab, et niisugune asi on võimatu.

Tõepoolest, elektroni sulgemine tuuma sisse tähendab tema asukoha fikseerimist täpsusega, mille määravad aatomituumade mõõtmed. Kuid siis osutub määramatus elektroni kiiruses sedavõrd suureks, et elektron lendab vältimatult tuumast välja, püsida ta seal enam ei saa. Seepärast ohkasid füüsikud kergendatult, kui avastati neutron. Just neutronid, nagu esimesena oletas nõukogude füüsik D. Ivanenko, moodustasid koos prootonitega tuuma

«ehitusmaterjali», elektronid tekivad aga alles radioaktiivse lagunemise protsessis.

Aga veel üks määramatuste seosest tulenev võib-olla veidi ootamatu järeldus.

Kõik on kuulnud kaasaegsete aatomifüüsika laboratooriumide tarbeks ehitatud elementaarosakeste kiirendajate hiiglamõõtmetest. Uutes seda tüüpi seadmetes, mida ehitatakse Nõukogude Liidus<sup>1</sup> ja raja taga, mõõtab ringkanali pikkus, kus elementaarosakesi valguse kiiruseni kiirendatakse (ehk samasuguse sirge kanali pikkus nn. lineaarkiirendites) mitte enam meetrite, vaid kilomeetritega. Kerge on ette kujutada nii taoliste seadmete keerukust kui ka maksumust (magnetite kaal ulatub kümnete tuhandete tonnideni!). Pole midagi imestada, et nende ehitamine on jõukohane vaid kõige rohkem arenenud tööstusriikidele või isegi tervele riikide rühmitusele. Kuid ilma hiiglaslike mõõtmeteta seni veel läbi saada ei õnnestu (ehkki niisugust ülesannet katsutakse lahendada), teisiti ei osata kiirendatavatele osakestele anda vajalikke koltsaalseid kiirusi.

Kuid milleks on niisugune ennenägematu ja kulukas kiirus vajalik? Miks teadlased võitlevad visalt selle eest, et üha rohkem läheneda valguse kiirusele?

Vastuse annab määramatuste seos, just see on vahetult süüdi kiirendite vältimatult hiiglaslikes mõõtmetes (kui jätta muidugi arvestamata tõeline algpõhjus — teadlaste taltsutamatu soov tungida kõige varjatumatesse saladustesse).

Nagu teada on kiirendite abil õnnestunud avastada juba palju aatomituumade ja elementaarosakeste saladusi. Kiirendid on muutunud teaduse hindamatu väärtusega relvaks — nende abil loodavad ultratillukeste «mürskude»

<sup>1</sup> Serpuhhovi sünkrofasotron (NSVL Riikliku Aatomienergia Kasutamise Komitee Suurte Energiate Instituudis), mis lasti käiku 1967. a. lõpus, on praegu maailmas töötavatest elementaarosakeste kiirenditest suurim. Kiirendatud prootonite energia ulatub 76 GeV. Käikulaskmisel kiirendati sellise energiani 2,5 s jooksul korraga  $10^9$  prootonit, edaspidi loodetakse kiirendatavate prootonite arvu tõsta  $10^{12}$ -ni ja energiat 80—90 GeV-ni ( $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$ , 1 eV on energia, mille saavutab ühiklaeng, läbides potentsiaalide vahe 1 V). Kiirendi on juba eksperimentaatorite käsutuses, kõrvuti Nõukogude Liidu ja teiste sotsialismimaade teadlastega töötavad selle juures ka Euroopa Tuumaurimise Keskuse (CERN) spetsialistid. Plaanis ja teoksil on katsed, mis peavad andma vastuse paljudele küsimustele, näit. vastasmõjude iseloom ja olemus väga suurte energiatega, kvarkide probleem (vt. lk. 117), jne.

vood tungivad materia sisemusse ja jutustavad selle saladustest. Kujutleda kaasaegset füüsikat ilma elementaarosakeste kiirenditeta pole lihtsalt võimalik. Sünkrotronid, tsüklotronid ja teised kiirendid on muutunud üheks meie aja tõeliseks maailmaimeks.

Kuid teel mikromaailma sügavusse kerkis nähtamatu takistusena ette määramatuste seos. Selle halastamatu otsus kõlab järgmiselt: kui on vaja tungida üha väiksemate aineosakeste maailma, kui on tarvis uurida ainet ikka väiksemates ja väiksemates ruumpiirkondades, kui tuleb uurida protsesse, mis toimuvad aina lühemate ajavahemike jooksul, siis peab ainet pommitavate «mürskude» elementaarosakeste kiirus järjest kasvama. Tõepoolest, on ju osakese kiirus ja tema asend ruumis omavahel rangelt seotud määramatuste suhte abil: kui on vaja tagada osakese täpne «tabamus», s. t. tema täpne orientatsioon ruumis, tuleb suurendada kiirust, selleks et mõlema suuruse määramatuse korrutis jääks endiseks.

Nii püstitab loodus universumi saladusi ründavale teadusele ühesuguse ja nimelt energeetilise tõkke isegi kahelt poolt — mikromaailmas ja kosmoses. Mida kaugemale kosmose sügavusse inimene tungib, seda võimsamad peavad olema kasutatavad kosmoseraketid, need maailma-ruumi avaruste sondid. Ja mida sügavamale mikromaailma põue, seda suurem peab olema sinna tungivate elementaarosakeste, isevärki tibatillukeste «uurimisrakettide» energia...

Muide omapärast analoogiat kaasaegse teaduse uurin-gute vahel mikromaailmas ja kosmoses võib veelgi jät-kata. Veidi ootamatult avaldub see analoogia ka kriitikas, mida vahel tehakse mõlemas mainitud suunas töötavate teadlaste arvel. Nii teadlaste hulgast, aga peaaugjalikult kitsarinnaliste inimeste seast kostab hääli, mis protestee-rivad nende üsna kulukate uurimiste intensiivsuse arenda-mise vastu. Taoliste kriitikute arvates on nii kosmose kui ka mikromaailma uurimiseks kulutatavad suured summad kasulikud suunata teiste kaasaja teaduse ja tehnika aktu-aalsete ülesannete lahendamisele, selliseid ülesandeid pole tõepoolest vähe. Milleks, väidavad nad, otsida visalt uut «kaugetest maadest» — subatomaarsest elementaarosakeste maailmast ja kosmose sügavustest, kui meid vahetult ümb-ritsevas tavalises makromaailmaski on veel nii palju täht-sat teha...

Vaevalt on mõtet kriitikutega vaielda. Niihästi kaasaja teaduse suurnimed kui ka kogu progressiivne inimkond kujutab hästi ette «vaieldavate» uurimiste fundamentaalset teaduslikku tähtsust ja nende kaheldamatult suurt potentsiaalset rakenduslikku ning praktilist väärtust. Füüsika ajaloos ei teata veel juhust, kus suurel teaduslikul avastusel poleks hiljem märkimisväärseid praktilisi tulemusi olnud. Seda enam käib öeldu kõnealuste uurimiste kohta — nende fundamentaalne iseloom töötab kaasa tuua erakordselt tähtsaid praktilisi tulemusi. Muidugi on neid tulemusi praegu raske kujutleda kogu nende ulatuses, kuid selliste ennustuste järele pole ka vajadust. Mida veel rääkida inimeste taltumatust soovist loodust sügavamalt tundma õppida, tema saladusi avada, tema stiihiaid allutada? Ilma niisuguse püüdet poleks inimene üldse inimene.

Ent pöördugem tagasi meie teistsuguste konstantide maailma, kus Plancki konstandi väärtus on 100 korda muutunud. Muutunud? Kuid nagu näeme määramatuste suhtest, on ka määramatuste korrutis niisama palju kordi muutunud. Tähendab, endise määramatuse korral osakese asendis muutub määramatus kiiruses 100 korda suuremaks, sest Plancki konstant on kasvanud?

Võib-olla nüüd ei suuda tuuma püsima jääda mitte ainult elektronid, vaid ka... nukleonid? Erinevus prootonite ja neutronite kiirustes muutub liiga suureks, selleks et nad võiksid olla suletud aatomituuma mõõtmetega piiratud ruumi. Kui niisugune asi aga juhtub, siis lagunevad kõik aatomituumad universumis! Ja võib-olla ainsa elemendina jääb alles vesinik, sest tema tuumas on vaid üks osake, üksainus prooton. Universumist saab vesiniku-universum!

Küll on ikka hea, et meid ei ähvarda selle konstandi mitte mingisugune muutus! Maailmakonstandid on niisama igavesed nagu mateeria isegi, nad on tema põhikarakteristikud.

KAHEKSAS NOVELL

## KÕIGE IMEPÄRASEM KIIRUS

*Liikumise maailm. Ekspresstähed. Vaieldamatu, kuid . . . ekslik tõde. Mitte millegagi sarnanev kiirus. Valguse kiirust ületav kiirus. Kuidas leida valguse kiirust, kui pole tegemist ei kiiruse ega valgusega. Imepärased massimuundumised. Ammendamatud energiavarud on luku taga. Mitte miski muundub mitte millekski. «Kaksikute paradoks» ja tähtedevaheline lend. Maailm «röntgenivalguses». Hukatav päkeseenergia. Tähed on kustunud.*

Universum ei tunne paigalseisu. Ta on igavesti elav ja muutuv. Kõik temas liigub, levib, areneb. Pole midagi imestada, et selles igavese liikumise kuningriigis on üheks tähtsaimaks füüsikaliseks mõisteks kiirus.

Ent täpselt niisamuti, nagu on ääretult mitmekesised liikumisvormid looduses, nii on kvalitatiivselt erinevad ka nendega ühendatud kiiruse mõisted. Me räägime: kivi lan gemiskiirus, lille kasvamiskiirus, keemilise reaktsiooni kiirus . . . Igal pool kiirused, aga kui erineva sisuga! On ole mas nii füüsikaline, näiteks mehaanilise liikumise kiirus, keemiliste, bioloogiliste, ühiskondlike protsesside kiiru sed . . .

Kõige lihtsam on tegemist teha just füüsikalise kiiru sega. Tormas mööda auto — kui suur on ta kiirus? Millise kiirusega levib heli õhus? Planeetidevaheline laev oman das kosmilise kiiruse — kui suur see on? Enamikul juhtu del pole sellistele küsimustele raske vastata. Iga koolipoiss teab, et kiirus on sekundis läbitud tee. Tähendab, selleks et kiiruse suurust teada saada, tuleb käes hoida kahte

mõõteriista: meetrit ja kella. Muidugi, kui kiirus ei ole jääv suurus, on asi mõnevõrra keerulisem, kuid ka siis pole raske määrata keskmist kiirust antud ajavahemikus või antud teelõigul.

Täpselt niisamuti lahendatakse muidugi ülesanne, kus on vaja määrata iseenda liikumise kiirus. Arvatavasti on paljudel tulnud jälgida, kuidas kergejõustiklased või kiirusutajad treenivad, stopper käes. Start! Stopper pandi tööle. Finiš! Stopper seisatati. Nii mitu meetrit läbiti nii mitme sekundi jooksul — ongi kiirus käes!

Mida aga teha siis, kui rada ise... liigub? On olemas näiteks kergejõustiklaste liikuvad treeningupolügoonid, on ka spetsiaalsed jalgratturite treeningupingid. Kuid sellised seadmed on ikkagi küllalt haruldased, aga rongis on näiteks igaüks sõitnud. Ja muidugi oskavad kõik määrata oma kiirust liikumisel piki vaguni koridori. Ent loomulikult tuleb siin tegemist kahe kiirusega: kiirus vaguni enese ja kiirus raudtee suhtes. Võib oletada, et kedagi ei üllata see, kui reisija kiirus vaguni suhtes on näiteks 6 km/h, aga raudtee suhtes liigub ta tunduvalt suurema kiirusega, näiteks 60 km/h. Tähendab, ühe ja sama minuti jooksul läbib reisija vagunis 100 m, aga tee ääres paiknevad kilomeetripostid tunnistavad, et ei läbitud mitte 100, vaid 1000 m.

Kui suur on siis reisija tõeline kiirus — 100 m/min. või 1000 m/min. Muidugi on mõlemad väärtused võrdsel määral tõelised ja õiged, sest kiirus on suhteline mõiste. Ja seni kui ei näidata, mille suhtes seda mõõdetakse, pole mitte mingit mõtet rääkida kiiruse suurusest.

Soovi korral võiks piki vagunit kõndiva reisija kiiruse arvutada välja nihästi lipukesega tee kõrval seisva raudtevhahki kui ka... Päikese suhtes, aga siis tuleks reisija kiirus Maa (s. t. liikumatu pöõrmeseadja) suhtes liita Maa kiirusega ümber Päikese tiirlemisel.

Muidugi pole ka see liitmine enam nii lihtne kui vagunis käiva reisija kiiruse liitmine vaguni enese kiirusega tee suhtes. Nüüd tuleb kasutada juba nn. geomeetrilist liitmist koolikursusest hästi tuntud rööpküliku reegli järgi, sest liidetavate kiiruste suunad pole üldjuhul ühesugused. Muuseas, võib läbi ajada ka liitmiseta — kiiruste väärtused on juba liiga erinevad. Mis on meie «viletsad» 60 km/h, kui Maa tiirlemiskiirus Päikese ümber on «kõigest»... 1700 korda suurem! Ilmselt praktiliselt me ei eksi, kui väi-

dame, et meiegi kiirus Päikese suhtes on täpselt võrdne Maa orbitaalkiirusega, s. t. ületab 100 000 km/h.

Iseasi, kui tahaksime teada saada oma kiirust «liikumate» tähtede suhtes: siin tuleks juba tõepoolest Maa orbitaalkiirus liikumisel ümber Päikese liita geomeetriliselt kiirusega, mis on Päikesel tähtede suhtes. Viimane kiirus on suunatud meie taeva kõige heledama tähe Siiriuse poole ja võrdne ligikaudu 20 km/s, s. t.  $\frac{2}{3}$ -ga Maa orbitaalkiirusest.

Muide, ehkki tähtede kohta öeldakse, et nad on liikumatud, pole asi tegelikult sugugi nii. Päike on «aeglaseimate» tähtede hulgast. Näiteks üks üsna lähedal asuv täht, mille avastas astronoom Barnard, liigub 7 korda kiiremini kui Päike; tema kiirus on 140 km/s. Mis seal imestada, et suure kiiruse tõttu nimetatakse teda vahel Barnardi «lendavaks» täheks. Kuid seegi kiirus pole tähtede maailmas kaugeltki kõige suurem. Kiireim täht teadaolevaist (see asub Cepheuse tähtkujus) liigub kiirusega üle 1000 km/s! Omapärane rekordimees tähemaailmas.

Kuid öeldu on õige ainult meie Galaktika kohta. Mis puutub teistesse galaktikatesse kuuluvatesse tähtedesse, siis tuleb välja, et neil on vahel Päikese suhtes vägagi suur kiirus, ja seejuures mitte ühelainsal tähel, vaid kõigil sellesse galaktikasse kuuluvatel tähtedel. Kõige kaugemad galaktikad tormavad kiirustega üle 100 000 ja isegi üle 150 000 km/s! Tõeliste hiiglakiiruste kuningriik!

Aga kuidas lugu ka ei oleks, pole vähimatki kahtlust, et iga kiirust, olgu siis kõige suuremat või kõige väiksemat, saab mõõta. Taolisel mõõtmisel on mõtet vaid siis, kui täpselt kindlaks määrata, mille suhtes (füüsikud ütlevad: missuguse koordinaatide süsteemi suhtes) mõõdetakse. Kõik kiirused on suhtelised.

Seda ilmset tõde, mille rohkem kui kolm aastasada tagasi sõnastas esimesena teaduslikult Galilei, teadsid inimesed praktiliselt juba kauges minevikus. Kuid ainult pool sajandit lahutab meid päevast, mil teadus tegi kindlaks, et ehkki see tõde on vaieldamatu, on ta siiski... ekslik.

Mis mõttetu sõnade mäng see on, siin paistab peituvat ilmne vastuolu?

Ometi pole mitte miski antud väites vastuolus tegelikkusega. Muidugi oli Galileil õigus: kõik kiirused on suhtelised ja teistsugused lihtsalt olla ei saagi. See on

õige kõigil juhtudel, välja arvatud üksainus. Selgub, et looduses on olemas kiirus, mille puhul see üldine vaieldamatu tõde ei pea paika. Võib-olla erand just kinnitabki üldist reeglit, on ta ju ainuke! Ainuke mitte juhuslikult, vaid printsiipsiaalselt — teisiti ei saakski olla.

Mis imepärane kiirus see on, mis pole mitte suhteline, vaid absoluutne? Ja mis mõte on üldse mõistel «absoluutne kiirus»?

Sellest kõigest, samuti neist ootamatutest ja üllatavatest järeldustest, millele üheainsa absoluutse kiiruse eksisteerimine viib, teemegi nüüd juttu.

Unikaalne absoluutne kiirus, mis teiste ülitähtsate füüsikakonstantide seas võtab õigusega enda alla täiesti erilise koha, on valguse kiirus, see kiirus, millega valgus levib vaakuumis. Just nimelt niisuguse kiirusega tormavad vaakuumis «valguseosakesed» — kvandid ehk footonid, millest räägiti eelmises novellis. Footonid on materiaalsed osakesed nagu kõik teised nn. elementaarosakesed, millest koosneb universum. Ent enamikust elementaarosakestest erineb footon selle poolest, et ta ei saa paigal olla. Footon kas liigub või pole teda üldse olemas. See on tõepoolest nagu mingi «liikumise aatom».

Kuid selle tähelepanuväärse omadusega pole footoni tähtsaimad iseärasused veel ammendatud. Vähe sellest, et footon alati liigub, tuleb välja, et tema kiirus vaakuumis on alati ühesugune. Nagu me juba teame (ehkki seni veel tõenäoliselt eriti hästi ei mõista), pole see suhteline, vaid absoluutne kiirus. Ja lõpuks, mainitud, alati jääva suurusega absoluutne kiirus on kõige suurem võimalik kiirus looduses, niisugune kiirus saab olla üksnes footonil ja ainult temal üksi; kõik muu looduses liigub aeglasemalt.

Tõepoolest, kas pole imestamisväärne see ebatavaline füüsikakonstant — valguse kiirus vaakuumis?

Juba ainuüksi see fakt, et valguse kiirus on kõige suurem võimalik kiirus looduses, näitab, et ta peab ilmselt väga suur olema. Rääkisime hiiglaslikest tähekogumest, mis liiguvad kiirusega suurusjärgus 150 000 km/s. Nagu võiski oodata, kohtume pisimate osakeste maailmas, mikro-maailmas veel palju suuremate kiirustega.

Tõepoolest, tuumafüüsika laboratooriumides õnnestub spetsiaalsete seadmete, nn. kiirendite abil (nagu näitab juba nimetuski, kasutatakse neid pisimatele aineosakestele suurte kiiruste andmiseks) saavutada hiiglaslikke

liikumiskiirusi. Elektrone, prootoneid, alfaosakesi (s. t. heeliumi aatomite tuumi) ja teisi mikroosakesi viiakse vahel valguse kiirusele lähedaste kiirusteni. Veel kiiremini liiguvad mõned osakesed, mis sünnivad kusagil kosmose sügavustes, kaugetes galaktikates, ja tungivad haruharva Maa atmosfääri. Need ülikiired osakesed, mis kuuluvad kosmiliste kiirte nn. primaarkomponendi hulka, signaliseerivad teadlastele mingitest grandioosse ulatusega kosmilistest kataklüsmidest — nad on selle järelekaljad. Niisuguste osakeste kiirus on veel lähemal valguse kiirusele, mõnikord erineb see viimasest vaid suhteliselt tühise väärtuse — protsendi murdosa võrra.

Ja ikkagi ilmtingimata erineb. Veel kordagi pole esinenud juhust, et mingi osakese kiirus osutunuks võrdseks valguse kiirusega vaakuumis või veel enam — ületanuks seda. Praegu on teadusele selge, et niisugust asja ei saagi olla.

Kuid vahel võib teaduslikus kirjanduses kohata terminit «valguse kiirust ületav kiirus»<sup>1</sup>. Tuntakse isegi eri liiki kiirgust, mida väljastavad niisugused «ülevalgusekiirusega» liikuvad osakesed; kiirguse avastasid ja seda uurisid nõukogude füüsikud ning nimetuseks sai ta Tšerenkovi-Vavilovi kiirgus. Igaüks, kes kas või kordki on viibinud Moskvas Rahvamajanduse Saavutuste Näituse aatomienergia paviljonis, on võinud jälgida seda kiirgust aatomireaktori töötava mudeli sisemuses. Tähendab, valguse kiirust on ikkagi võimalik ületada? Mida siis uskuda?

Ka antud juhul ei esine mingit vastuolu. Tõepoolest, kui mõni osake, näiteks elektron, liigub valguse kiirusest suurema kiirusega (oodake, kohe selgub kõik), siis tekib kiirgus. Kuid kõik peab toimuma mingis keskkonnas, näiteks vees nagu aatomireaktori töötava mudeli puhulgi. Valgus aga levib eri keskkondades erineva kiirusega, kusjuures (ja see on muidugi väga oluline) tingimata väiksemaga kui vaakuumis (näiteks teemandis on valguse kiirus «kõigest» 125 000 km/s). Seepärast võibki juhtuda, et

<sup>1</sup> Ameerika füüsikateoreetiku G. Feinbergi poolt hiljuti, 1967. a. esitatud hüpoteesi kohaselt on võimalikud ka osakesed (ta nimetas neid tahhüonideks), mille kiirus ületab valguse kiiruse. Need osakesed peaksid aga oma tekkemomendist saadik kogu aeg liikuma sellise kiirusega  $v > c$ , et valguse kiirus  $c$  on neile alumiseks barjääriks. G. Feinberg näitas, et tema hüpotees pole vastuolus relatiivsusteooria põhiprintsiipidega. Eksperimentaalseid tõendeid hüpoteesi kinnituseks pole seni leitud ja tahhüonide olemasolu küsimus on praegu lahtine.

mingis aines, kas või vees, on osakese, näiteks elektroni kiirus suurem footoni kiirusest, s. t. valguse kiirusest selles aines.<sup>1</sup> Kuid valguse kiirus vaakuumis jääb alati saavutamatuks ideaaliks nagu igasugune tõeline ideaal.

Millega on võrdne valguse kiirus vaakuumis, see imepärane kiirus, mida millegagi võrrelda ei saa? Juba teadaoleva põhjal on täiesti selge, kui oluline on teada täpset valguse kiiruse väärtust. Pärast näeme, et selleks on teisi, sugugi mitte vähem tähtsaid põhjusi. Järelikult pole selles midagi ootamatut, et päevast, mil umbes 300 aastat tagasi saadi valguse kiiruse esimene<sup>2</sup>, ligikaudne väärtus, korraldavad teadlased üha uusi ja uusi katseid eesmärgiga määrata valguse kiirust veelgi täpsemalt.

Töenäoliselt parimaks, kõige täpsemaks valguse kiiruse väärtuseks on 299 792,5 km/s. Viga ei ületa sel juhul 400 m/s. Absoluutselt enamiku juhtude puhul on tavaks võetud eespool toodud suurust ümardada ja lugeda valguse kiirus vaakuumis võrdseks 300 000 km/s. See ongi too kuulus  $c$ , mis sisaldub paljudes kaasaja füüsika põhi-võrrandites.

Huvitav, et katses, kus eespool toodud kõige täpsem (või vähemalt üks täpsemaid) tulemusi saadi<sup>3</sup> ei määratud tegelikkuses mitte vahetult valguse kiirust ennast! Ootamatu, eks ole? Aga kuivõrd see pole ainult ootamatu, vaid üsnagi oluline tulemus, siis tasub täpsemalt rääkida nii katsest endast kui ka selle resultaatidest.

Eelkõige, millega oli teadlastel antud katses siis tegemist kui mitte valgusega? Tuleb välja, et raadiolainetega. Aga kas see on siis üks ja sama?

---

<sup>1</sup> Absoluutne on vaid valguse kiirus vaakuumis. Valguse kiirus mingis keskkonnas on juba vaatleja liikumisest. Muuseas, huvitav, et kooskõlas üldrelatiivsusteooriaga, millest räägitakse järgmises novellis, väheneb valguse kiirus õige veidi ka tugevas raskusväljas. Seda aeglustumist soovitatakse kasutada relatiivsusteooria katseliseks kontrollimiseks, mille järele tuntakse teravat vajadust.

<sup>2</sup> Selle katse korraldas 1675. a. taani astronoom Olaf Rømer, kes määras valguse kiiruse planeedi Jupiter kaaslaste varjutuste vaatluse põhjal (varjutuste vaheajad olid pikemad, kui Maa eemaldus Jupiterist, ja lühemad, kui ta lähenes sellele); Rømeri mõõtmiste järgi tuli valguse kiiruseks 215 000 km/s.

<sup>3</sup> Selle katse korraldasid 1958. a. Inglise Rahvuslikus Füüsikalaboratooriumis Teddington'is K. Froom ja tema kaastöötajad. Saadud tulemust on muuhulgas soovitanud kasutada ka Rahvusvaheline Raadioside-alane Teaduslik Liit oma XII peassambleel.

On ja ei ole ka. On, sest valgus- ja raadiolainete loomus on ühesugune: mõlemad kujutavad endast elektromagnetlaineid, elektromagnetvälja võnkumisi. Selle tegi kindlaks möödunud sajandi suur inglise teadlane Maxwell. Kuid samal ajal ei ole, sest valgus- ja raadiolainete sagedused on tugevasti erinevad — valguslaineid iseloomustab palju suurem sagedus kui raadiolaineid. Järelikult, nagu me eelmisest novellist teame, on nähtava valguse kvandi energia suurem kui raadiolaine kvandil.

Et katsetajate ees oli ülesanne valguse kiirust määrata, aga kõigi elektromagnetlainete levimise kiirus on ühesugune, siis loomulikult oli neil täielik õigus kasutada valguse asemel raadiolaineid. Nagu hiljem näeme, on see antud juhul tunduvalt mugavam.

Kas katse aga kinnitab Maxwelli teoreetilist ennustust valgus- ja raadiolainete levimiskiiruste võrdsusest? Niisugune võrdsus on saanud ju üheks kaasaegse füüsika hoone nurgakiviks, ja raske oleks isegi ette kujutada selle seisukoha ümberlükkamise katastroofilisi tagajärgi, Muuseas, teadlasi ei tee üldse rahutuks niisugune võimalus — liiga palju fakte kaasaegsest füüsikast kinnitab Maxwelli teooria põhialuste õigsust. Ja kui füüsikud kasutavadki iga juhust, et veel kord veenduda võrdsuse õigsuses, siis selline on juba tõeliste teadlaste iseloom. Kes ei vaevu liigne kord loodust «üle kuulama», selle koht ei ole teadlaste hulgas.

Maa peal tehtud rohkearvulised mõõtmised kinnitasid saavutatud täpsuse piirides, et erineva sagedusega elektromagnetlained levivad ühesuguse kiirusega. Üsna hiljuti õnnestus taoline katse korraldada esmakordselt ka n.-õ. kosmilises ulatuses. Katse sooritajateks olid astrofüüsikud, aga kasutatavaks «seadmeks» nn. süttivad tähed, mille nimetus ise avab juba nende «loomuse» iseärasused.

Nende omapäraste tähtede iga plahvatusega kasvab järsult, hüppeliselt niihästi tavaline heledus kui ka tähe raadioheledus, s. t. suureneb nii tema valgus- kui ka raadiokiirguse intensiivsus. Astronoomid Lowell (Inglismaa) ja Whipple (USA) tegid kindlaks, et ehkki kaugus jälgitava täheni oli umbes 50 valgusaastat (s. t. valgus läbis selle vahemaa 50 aasta jooksul), olid valgus- ja raadiosignaali «sähvatused» näha praktiliselt samal ajal. Selle põhjal tehti ümberlükkamatu järeldus, et mõlemat liiki elektromagnetlainete levimiskiirused ei saa erineda roh-

kem kui miljondiku võrra, tähendab, praktiliselt on nad igal juhul võrdsed.

Niisiis ei tehtud katsed valguse kiiruse määramiseks mitte valguse endaga, vaid raadiolainetega, kusjuures kasutati millimeetri diapasonis asuvaid ultraiühilaineid. Mida teadlased siis mõõtsid kui mitte laine levimiskiirust?

Siin kuluski marjaks ära katses kasutatud raadiolainete iseärasus, nimelt nende täpselt teadaolev sagedus. Kerge on näha, et igasuguste lainete sagedus ja nende levimiskiirus on lainepikkuse kaudu omavahel tihedalt seotud. Kui sekundis «sünnib» teatud arv laineid (sagedus) ja naaberlainete vaheline kaugus (lainepikkus) on teada, siis ilmselt ongi sageduse korrutis lainepikkusega tee, mille valgus läbib ühes sekundis, s. t. laine levimiskiirus<sup>1</sup>. Et sagedus oli teada, siis tuli kiiruse määramiseks mõõta täpselt üksnes lainepikkus. See oligi katse eesmärgiks. Lainepikkust mõõdeti riista abil, milles kasutati ära nn. interferentsinähtust (interferents — lainete liitumine).

Võimalik, et lugeja on juba ammu tähelepanu pööranud vastuolule: eespool räägiti valguse kiirusest kui osakeste — footonite ehk valguskvantide kiirusest, nüüd aga on sellest saanud juba lainete levimiskiirus. Mis siis valguse kiirus tegelikult on — osakeste liikumiskiirus või laine levimiskiirus?

Eelmisest novellist teame, et tegelikult mingit vastuolu siin pole, sest seda ei ole ka looduses eneses. Niisugune on kord juba elementaarosakeste kahene loomus, üks mikromaailma peamisi iseärasusi ja vastavalt ka selle «kummalise» maailma käitumist kirjeldava kvantmehaanika aluseid. Mitte ainult footon, vaid üldse iga mikroosake võib olenevalt tingimustest käituda erinevalt — kord osakese, kord lainena. Nagu teame, on mikroosake eriline osake, «laineosake».

Kuid praegu ei huvita meid mitte mikromaailma ebatavalised omadused, vaid valguse kiiruse iseärasused ja

---

<sup>1</sup> Raadioamatöörid kasutavad seda sõltuvust sageli üleminekuks sageduselt  $\nu$  lainepikkusele  $\lambda$  ja vastupidi. Kuid nad loevad raadiolainete kiiruse tuntuks ja võrdseks  $c=300\,000$  km/s, mille tulemusena  $\lambda\nu=300\,000$  km/s; näiteks sagedusel 300 MHz on lainepikkus  $\lambda=\frac{300\,000\,000}{300\,000\,000}=1$  m.

eelkõige tema imeväärne püsivus, mis muudabki valguse kiiruse üheks füüsika põhikonstandiks.

Pole midagi imestada, et teadlased püüavad paljude teravmeelsete katsete abil kindlaks teha kas või pisimaidki erinevusi valguse kiiruses eri tingimuste puhul. Kui niisugused erinevused avastatakse, siis tähendaks see revolutsiooni füüsikas. Kaasaegse füüsika harmoonilise hoone varemetele tuleks püstitada vundament, millele kerkiva ehituse kontuure ei oska praegu isegi kujutleda. Muide, seda pole vajagi, sest kaasaegne teadus loeb valguse kiiruse jäävust üheks vaieldamatuks ja ümberlükkamatuks tõeks. Ja kui sellele tõele aeg-ajalt siiski ägedalt kallale kiputakse, tuleb see talle vaid kasuks, sest kõigist taolistest lahingutest väljub ta veelgi tugevamana.

Täpselt niisamasugune tõde on ka see, et valguse kiirus on maksimaalne võimalik kiirus looduses, mida peale footoni ei suuda saavutada, ammugi siis veel ületada, ükski materiaalne keha.

Esimesel pilgul paistab niisuguses väites olevat sise-mine, kergesti kindlaks tehtav vastuolu. Tõepoolest, on ju teada (see tuleneb lihtsalt energia jäävuse seadusest), et iga keha kineetiline energia võib väljastpoolt juurdesaadava energia arvel piiramatult kasvada. Tähendab, siis peab ka kiirus piiramatult kasvama?

Ja näib ju täiesti ilmsena, et kui mõjuda liikuvale kehale mingi jõuga piiramatult pika aja jooksul, näiteks lõputu seeria korduvate tõugete abil, siis peab ka keha kiirus lõpude lõpuks kuitahes suureks kasvama. Niimoodi antakse ju kiigele hoogu. Just sellel nähtusel põhineb osakeste kiirendamine tuumalaboratooriumide kiirendites. Milles on siis asi?

Kuid ettekujutus «täielikust silmanähtavusest» osutub, nagu sageli, valeks. Et aru saada, mis liikuva keha kiirendamisel tegelikult juhtub, tuleb lähtuda just asjaolust, et valguse kiiruseni jõuda pole võimalik. Millistele järeldustele viib see vaieldamatu lähtenõue? Ja kuidas seda lõpuks energia jäävuse seadusega kooskõlastada?

Muidugi on esmakordselt Lomonossovi poolt sõnastatud energia jäävuse seadus rangelt õige kõigil juhtudel, igas olukorras. Kuid teaduse areng rikastas seda seadust, andis talle uue sisu. Niisugusele järeldusele jõudis esimesena Einstein rohkem kui pool sajandit tagasi. Aluseks oii

just väide, et valguse kiirus on jääv suurus, mida ei või saavutada ükski liikuv keha.<sup>1</sup>

Einsteini arutelu näis väliselt lihtsa ja selgena, kuid selle loogilistel järeldustel oli tõepoolest plahvatuslik iseloom — nad purustasid kildudeks vana füüsika klassikalised ettekujutused.

Einsteini mõttekäik oli umbes järgmine. Kui liikuvale kehale suuri energiakoguseid piiramatult juurde anda, siis seejuures kasvab piiramatult ka keha kineetiline energia.

Nagu teada, on see energia võrdne  $\frac{mv^2}{2}$ , kus  $m$  on keha mass,  $v$  aga tema kiirus. Kõigil aegadel on keha mass olnud füüsikute jaoks keha peamiseks iseloomustajaks, kehas oleva aine mõõduks. Loomulikult jääb see suurus liikuva keha jaoks muutumatuks (aine hulk kehas ei kahane ega kasva). Aga selle ilmse fakti järelduseks on keha kiiruse  $v$  piiramatu kasv, juhul kui kasvab tema kineetiline energia  $\frac{mv^2}{2}$ .

Mida aga teha, kui tegelikult on  $v$  kasv piiratud ja kiirus võib ainult läheneda valguse kiirusele  $c$ , kuid mitte kunagi sellega võrdsustada?

Niisuguse seisukoha õigeaks tunnistamisel tuleb lõpuni järjekindel olla ja nõustuda sellega, et siis ei jää keha mass sugugi muutumatuks, et kiiruse suurenedes peab ta vältimatult kasvama — kui ei kasva üks tegur, siis peab kasvama teine, selleks et nende korrutis suureneks. Seega, kui keha kineetiline energia kasvab, siis toimub see niihästi keha kiiruse  $v$  kui ka tema massi  $m$  kasvamise arvel. Väikestel kiirustel muutub mass vähe, sest ka energia on väike, kui aga kiirus muutub suureks, siis on ka energia suur ja neil tingimustel hakkab keha mass juba kiiresti kasvama.

Tuleb välja, et keha mass pole sugugi midagi kindlat, tardunut, püsivat — ta sõltub otseselt keha energiast. Mida suurem on energia, seda suurem on ka mass, kusjuures sõltuvus on niisugune, et suurtel, valguse kiirusele lähedastel kiirustel vastab isegi tühisele kiiruse juurdekasvule keha energia ja järelikult ka tema massi hiiglaslik suurenemine. Seepärast polegi võimalik jõuda valguse kiiruseni — Einsteini poolt tuletatud võrrandid näitavad, et

<sup>1</sup> Rangelt öeldes jõutakse järelduseni valguse kiiruse saavutamatast Einsteini arendatud teooria põhjal.

valguse kiirusega liikumisele vastavad lõpmata suured energia ja massi väärtused. See on muidugi võimatu.

Mis siis ikka, ehkki kõik öeldu on ülirevolutsiooniline, jääb see siiski üldiselt arusaadavaks, sellega võib veel kuidagi «leppida». Kuidas aga käsite talitada kehaga, mis üldse ei liigu? Tema kineetiline energia on ilmselt null, aga mass on ikkagi olemas, see pole sugugi null. Kuhu siis siin jääb see kurikuulus «ekvivalentsus», massi ja energia vastastikune seos?

Kujutleme näiteks kõnniteel käivaid ja rahulikult vestlevaid jalakäijaid. Kui nende kiirused on ühesugused, tähendab, siis tuleb välja, et massidki peavad võrdsed olema? Kuid lihtsalt silmagagi on näha, et üks nendest on väike ja kõhetu, aga teine tõeline gigant. Ei, ilmselt pole siin kõik korras.

Pole midagi imestada, et selle raskuse ületamiseks pidi Einstein tegema veel ühe loogilise sammu: oletama, et paigalseisus on igal kehal tema massiga võrdeline energia. Muidugi on see juba potentsiaalne, mitte kineetiline energia, ta on peidetud ainesse, aga nagu iga potentsiaalset energiat võib sedagi mõnel juhul eraldada ja kasutada.

Seepärast koosneb iga liikuva keha energia Einsteini järgi kahest osast: paigaloleva keha massiga (ehk nn. seisumassiga, nagu seda teaduses kombeks on nimetada) võrdelisest potentsiaalsest energiast ja kineetilisest energiast, millega on seotud kindel massi suurenemine, võrreldes seisumassiga. Loomulikult ei pea massi suurenemise põhjuseks olema ilmtingimata just kineetiline energia: iga energia suurendab keha massi. Nii on kuumutatud keha energia suurem kui külmal, elektriliselt laetud kehal suurem kui neutraalsel jne.

Nüüd juba jälgitakse energia jäävuse seadust vankumatu täpsusega. Muidugi ei kao valguse kiirusele lähedase kiirusega liikuva keha energia mitte kuhugi. Ehkki keha kiirus seejuures peaaegu ei suurene, kasvab see-eest tema mass. Tulemusena suureneb keha koguenergia just väljastpoolt juurdeantud energiahulga võrra.

Milline on siis Einsteini (tähen­dab, kaasaegse teaduse) järgi paigaloleva keha potentsiaalne energia? Kuidas on see arvuliselt seotud keha seisumassiga?

Mõnevõrra ootamatult on niisuguseks seoseks... valguse kiirus vaakuumis; s. t. kurikuulus suurus  $c$ . Seose määrab Einsteini kuulus võrrand:

$$E = mc^2,$$

kus, nagu kerge näha, on  $E$  keha energia, aga  $m$  tema seisumass.

Kaasaja füüsika põhivõrrand näib ootamatuna ainult esimesel pilgul. Tegelikult avab ta muidugi kõige sügavamad, materia põhiomadused.

Teadusel on juba tohutul hulgal katselisi tõendeid selle võrrandi absoluutsest õigsusest, nagu, muide, ka teiste Einsteini ideede õigsusest, need ideed on tema loodud nn. relatiivsusteooria aluseks. Täiesti loomulik, et relatiivsusteooria<sup>1</sup> sai üheks kaasaegse füüsikahoone nurgakiviks, seda kasutatakse praegu laialt nii teaduslikes kui ka insertehnilitest arvutustes.

Tõepoolest, mismoodi arvestada elektronide või prootonite liikumist nende kiirendamisel tsüklotronis või mõnes teises kiirendis, kui me ei tea, et suurtel, valguse kiirusele lähedastel kiirustel võib nende osakeste mass ületada tuhandeid kordi seisumassi? Nii näiteks saadakse elektronide kiirendites praegu ülikiireid ehk ultrarelativistlikke osakesi, mille mass kasvab kiirendamise tagajärjel 10 000... 20 000 korda!

Või kuidas koostada mingi tuumareaktsiooni energia-bilanssi, arvutada reaktori parameetreid või hinnata vesinikupommi plahvatusjõudu, kui me ei tea, milline on reaktsiooni massidefekt, s. t. kui palju väheneb tuumakütuse mass tema potentsiaalse energia eraldumise tagajärjel?

Nagu näha, on relatiivsusteooria juba ammu saanud vajalikuks nii teadlasele kui ka insenerile. Kuid meil on meeles, et tegelikult on selle teooria ilmumine ise seotud unikaalse füüsikakonstandi — valguse kiiruse ebatavaliste omadustega.

Einsteini leitud seos massi ja energia vahel näitab muide selgesti, miks inimesed kuni kõige viimase ajani võisid kõigil ettetulevatel juhtudel iga keha massi täie õigusega konstandiks pidada. Praktiliselt ei eksinud nad seejuures üldse: selles ei olnud midagi kummalist, et igapäevases elus nagu tehnikaski jäi kehade energia muutmisest tulenev massi muutumine lihtsalt märkamatuks. Et massi muutust täheldada, selleks on vaja tõepoolest kolos-

---

<sup>1</sup> Siin räägime Einsteini nn. erirelatiivsusteooriast, kus käsitletakse peamiselt liikumist valguse kiirusele lähedase kiirusega. Üldrelatiivsusteooriale on pühendatud raamatu järgmine novell.

saalset energiat — on see muutus ju võrdne energia ja valguse kiiruse ruudu jagatise! Valguse kiirus on aga nii suur, et massi muutus saab märgatavaks alles siis, kui energia on väga suur. Näiteks selliste hiiglaslike hüdroelektrijaamade, nagu Bratski või Kuibõševi aastane elektrienergia toodang «kaalub»... alla 1 kg! Kuidas siis saakski märgata hõõguva elektripliidi «raskemaks» muutumist, võrreldes külmaga, või jooksva inimese «kosumist» paigalseisva kõrval — erinevus moodustab siin nii tühised osad grammist, et seda ei märka mitte mingisuguste, ükskõik kui tundlike kaalude abil. Muide, kaasaja tehnika võimaldab ehitada kaalusid, mille abil saab avastada kilogrammise terasklotsi massi suurenemist tema soojendamisel 300° võrra; massi juurdekasv moodustab siin kõigest miljardiku grammi!

Aatomisajand muutis olukorda radikaalselt. Aatomi-  
tuuma sisemuses on peidus nii suur energiakogus, et selle vabastamine vähendab juba oluliselt tuuma massi; massidefekt muutub seejuures täiesti mõõdetavaks. Tõepoolest, tuumakütuse «põlemisproduktidel» reaktoris, s. t. uraani ja plutooniumi aatomituumade ahelreaktsiooni saadustel on kütuse algmassist umbes 0,1% võrra väiksem mass. Kõigest kümnendik protsenti, aga milline kolossaalne energia! Just see kümnendik protsenti paneb raskes arktikajääs liikuma jäälõhkuja «Lenin» ja annab elektrienergiat aatomielektrijaamade generaatoreilt. Aga Maa mass kasvab kümnendiku protsendi päikesekiirguse energia neelamise tagajärjel umbes 160 t võrra ööpäevas (üldse kaotab Päike igas minutis kiirguse näol 240 miljonit tonni massi).

Kerge on näha, et teadus alles läheneb ammendamatu-  
tele energialadudele, mida loodus seni kindlalt luku taga hoiab. Neis ladudes sisaldub tuhandeid kordi rohkem energiat, kui uraani aatomite tuumadest õnnestub vabastada. Ja mis peamine, niisamasugune, tuhandeid kordi suurem energiavaru on igal aatomil, kogu ainel looduses. Tavaline vesi, liiv, kivid — kõik on potentsiaalne ülikõrge kütteväärtusega «kütus», kõiges peitub energiat; igas grammis aines sisaldub seda niisama palju kui 2000 tonnis kõrgeväärtuslikus bensiinis! Kui me seda energiat hankima ja kasutama õpime, siis on nagu käega pühitud kõik inimkonnale vajaliku energia varudega seotud probleemid.

Kuid kahjuks silm näeb, aga hammas ei hakka peale...  
Esiailgu on lukk kindlalt ees, aine kogu potentsiaalse

energia (seda nimetatakse vahel ka Einsteini energiaks) kasutamise meetodid pole teadusele isegi printsiibilt selged.

Tõsi küll, praegu tuntakse juba looduslikke protsesse, mille käigus eraldub täielikult kogu energia. Nii juhtub elektroni pörkel temast vaid elektrilaengu märgi poolest erineva «kaksikvennaga» — positroniga. Sellise kokkupörke tagajärjel ammendatakse põhjani see energialadu, milleks on mõlemad kokkupörkavad elementaarosakesed. Energia viiakse ära kiirguskvantidena, võimsate gamma-kiirguse footonitena.

Mis juhtub aga kokkupörkavate osakeste enestega? Et kogu nende energia on ära kulutatud, siis ilmselt ka mass... muutub nulliks! Ja-jaa, osakesed kaovad kui viirastused. Pole midagi imestada, et protsessi ennast nime- tasid teadlased annihilatsiooniks, mis ladina keeles tähendab «muundumist mitte millekski».

Muidugi pole elektroni ja positroni, nii nagu iga teiseigi osakese ja antiosakese annihilatsioon mitte mingisugune muundumine mitte millekski. Jääb ju selliste pörkest osavõtivate osakeste kogumass muutumatuks, ainult algul oli see elektroni ja positroni, pärast aga niisama suur footonite mass (tõsi, nagu te mäletate, pole footonitel seisumassi ja nad tormavad igaveste ränduritena pidevalt valguse kiirusega edasi).<sup>1</sup> Ja loomulikult ei kao ka energia, ainult alguses oli see aineosakeste potentsiaalne energia, aga pärast niisama suur kiirgusenergia, elektromagnetvälja energia. Nii et mõlemad füüsika põhilised jäävusseadused — aine ja energia jäävuse seadused (ehk parem on öelda — üks üldine, ühtne seadus) — jäävad loomulikult kõigutamatuks.

Vähe sellest, et meie unikaalne füüsikakonstant — valguse kiirus — lükkas ümber ettekujutuse massist kui aine igavesti etteantud ja muutumatust karakteristikust; ta kukutas ka kaks teist klassikalise füüsika «absoluutset» ebajumalat — ruumi ja aja.

<sup>1</sup> Millega on võrdne footoni mass, seda näeme järgnevast. Nähtava valguse kõige väiksema, punase kvandi puhul, mille sagedus  $\nu = 4 \cdot 10^{14}$  hertsi, on energia Plancki võrrandi  $E = h\nu$  järgi võrdne  $26,5 \cdot 10^{-13}$  ergi, aga suurima, violetse footoni korral, mille sagedus on  $8 \cdot 10^{14}$  hertsi, on energia  $53 \cdot 10^{-13}$  ergi. Einsteini võrrandi  $E = mc^2$  järgi on nende kvantide massid vastavalt  $2,95 \cdot 10^{-39}$  g ja  $5,9 \cdot 10^{-33}$  g. Footonite mass põhjustab valguse rõhu takistustele, niisamuti nagu aatomite mass viib gaasi rõhu tekkimisele. Päike «rõhub» oma kiirgusega Maa valgustatud pinnale jõuga umbes 100 000 t.

Valguse kiiruse hämmastavate iseärasuste tundmaõppimine näitas vaieldamatult, et teadlaste hulgas sajandite vältel eksisteerinud kujutlused neist materia põhiomadustest kui millestki vankumatust, nagu mingist loodusnähtuste muutumatust «foonist» on sügavalt ekslikud. Relatiivsusteooria ei jätnud taolistest vaadetest kivi kivi peale. Kui paradoksaalsetena selle teooria järeldused ruumi ja aja kohta poleks ka tundunud (ja tunduvad veel praegugi), on nad vaieldamatud, sest tulenevad niisama oiselt valguse kiiruse ebatavalistest omadustest nagu juba tuntud revolutsiooniline järeldus massi muutumisestki.

Tõsi, praegu pole juttu enam sellest, et valguse kiiruseni ei või jõuda ükski liikuv keha peale footoni, et valguse kiirusest suuremat kiirust pole olemas. Ligipääsmatute kindlustena tundunud aja ja ruumi pani vankuma valguse kiiruse teine unikaalne omadus: see, et ta on ainukesena kõigi kiiruste seas absoluutne, et tema väärtus jääb igal juhul üheks ja samaks.

Aga mida siiski tähendab «absoluutne kiirus»? Meie kõigi kogemused, kogu inimkonna sajanditepikkune kogemus näitab, et kõik kiirused on alati suhtelised. Tegelikult on suhtelisus mõiste «kiirus» enese kõige olulisemaks osaks. Ja äkki...

Kas mäletate, et liikuvast vagunis olid meie kiirused vaguni enese ja kilomeetripostide suhtes erinevad? Seda oleksid meelsasti kinnitanud vaatlejadki — nii kupeenaaber kui ka pöörmeseadja, kes, lipp käes, pööranguputka juures seisis.

Kui meie asemel oleksid vaguni koridoris liikunud mõned muud esemed ja kehad, kas midagi oleks sellest muutunud? Oletame, et sundisime mingeid elementaarsakesi, olgu siis neidsamu elektrone või näiteks prootoneid, kihutame neile omase ühitsuure, valguse kiirusele lähedase kiirusega. Loomulikult oleksid kupeenaaber ja pöörmeseadja selgi korral registreerinud erinevaid kiirusi. Noh aga kui sellisteks «katsejänesteks» oleksid valguskvandid, footonid?

Sel juhul on tõepoolest kõik teisiti. Footonid ei liigu ju valguse kiirusele lähedase kiirusega, vaid nende kiirus on sellega täpselt võrdne. Siin aga nalja teha ei tohi, sest valguse kiirus ei sarnane omadustelt millegi muuga.

Tuleb välja, et kus vaatleja-ajamõõtja ka ei asuks, kus ta ka ei määraks footonite kiirust vagunis, olgu siis vagu-

nis endas (nagu kupeenaaber), raudtee ääres seistes (nagu pöormeseadja) või isegi vastutuleva rongi vagunist, ikkagi jääks katse tulemus ühesuguseks! Kõigil juhtudel oleks footonite mõõdetav kiirus täpselt võrdne  $c$ -ga.

Mainitud uskumatuna näiv tulemus saadi esmakordselt ameerika füüsikute Albert Michelsoni ja Eduard Morley tuntud, ajalooliseks muutunud katses.<sup>1</sup> Sellest ajast peale on taolisi katseid, mille eesmärgiks oli püüd teha valguse kiiruse mõõtmise abil vahet liikumise ja paigalseisu vahel, korranud loendamatul hulgal teised teadlased ja alati on tulemus sama: kõigil juhtudel jäi valguse kiirus ühesuguseks, sõltumata sellest, kas valgusallikas oli paigal või liikus ükskõik millise kiirusega. Valguse kiiruse absoluutne iseloom leidis muutumatult kinnitust. Isegi juhul, kui teineteisele tormavad vastu kaks footonit, on nende suhteline kiirus ikkagi  $c$ , mitte aga  $2c$ , nagu peaks olema klassikalise mehaanika seaduste põhjal!

Katsetega kindlaks tehtud valguse kiiruse absoluutsuse<sup>2</sup> vaieldamatu fakt näib muidugi hämmastavana, aga algul kohe ei jää sellest tõenäoliselt muljet kui «aluste vapustajast», milleks ta tegelikult on. Siinkohal on mõtet tuua kas või mõned ilmsed järeldused mainitud faktist.<sup>3</sup>

Tuleb välja, et vaatleja, kes asub selles süsteemis, s. t.

---

<sup>1</sup> Katse näitas, et kuidas Maa ka Päikeselt tuleva valguskiire suhtes poleks liikunud, kas kiire suunas, sellele vastu või mingi nurga all, alati jäi valguse kiirus samaks.

<sup>2</sup> Huvitav, et teadus tunneb vähemalt üht juhust, kus vaadeldavale nähtusele saab rahuldava seletuse leida vaid oletusega, et valguse kiirus on suhteline. Jutt on nn. muutliku heledusega ehk «saatanlikest» tähtedest, mis avastati juba keskajal (esimesena avastati neist Algol). On kindlaks tehtud, et kõik nad on kaksiktähed, kuid miks nad «vilguvad»? Kõige lihtsam on «vilkumist» seletada Ritzi ammugi kõlbmatuks tunnistatud hüpoteesiga, et valguse kiirus on absoluutne vaid valgusallika, mitte aga liikuva vaatleja suhtes. Sel juhul, nagu märkis nõukogude teadlane professor V. Seleznjov, seletaks «vilkumist» asjaolu, et ühelt tähelt, sellelt, mis meie poole liigub, tulevad footonid jõuaksid ette teiselt tähelt tulevatest footonitest, mille tulemusena ilmuks tõelise tähe kõrvale näiv kujutis. Kuidas niisugune probleem kord laheneb?

<sup>3</sup> Lugejatele, kes erirelatiivsusteooriaga lähemalt tutvuda tahavad, võib soovitada mitmeid populaarteaduslikke teoseid, nagu eesti keeles ilmunud M. Gardneri «Relatiivsusteooria miljonitele» (1968), H. Oigläse «Vestlusi relatiivsusteooriast» (1965) või venekeelseid teoseid: Ландау и Румер, «Что такое теория относительности», изд. «Советская Россия», 1959; Кузнецов, «Беседы о теории относительности», изд. «Наука», 1965; Соколовский, «Начала теории относительности с графическими доказательствами», изд. «Просвещение», 1964 jt. — *Tõlk.*

on selle süsteemi suhtes paigal, ja teine, kes asub süsteemis, mis liigub esimese suhtes mingi jääva kiirusega, et need vaatlejad tajuvad liikuvast süsteemis toimuvaid nähtusi erinevalt. Oletame näiteks, et esimeseks süsteemiks on Maa, teiseks aga kosmoses kihutav raket, kusjuures raketi sirgjoonelise ja ühtlase liikumise kiirus Maa suhtes on  $v$ . Kui kiirus  $v$  on valguse kiirusega  $c$  võrreldes väike, siis vahe selles, mida registreerivad mõlemad vaatlejad — üks Maal, teine raketis — ei ole praktiliselt märgatav. Kõik aja ja pikkuse mõõtmised annavad sama tulemuse, sõltumata sellest, milline vaatleja (kas Maal või raketis) mõõdab ja kus (kas Maal või raketis) ta nimelt seda teeb.

Teine asi on aga siis, kui raketi kiirus  $v$  on väga suur, lähedane valguse kiirusele; siisuguseid kiirusi nimetatakse relativistlikeks<sup>1</sup>, aga taoliste kiirustega toimuvaid liikumisi uurivat mehaanikat relativistlikuks mehaanikaks. Sel juhul ei näi ühes süsteemis (kas Maal või raketis) samaaegsed sündmused enam samaaegsetena vaatleja jaoks teises süsteemis. Aja kulg «omas» ja «võõras» süsteemis on samuti erinev — «omas» süsteemis on see kiirem kui «võõras». Et mingi teise süsteemi liikumine ei saa loomulikult mõju avaldada «oma» süsteemi kella käigule, siis tuleneb siit ilmselt järeldus, et teise süsteemi kell käib aeglasemalt, jääb maha «õigest» kellast, s. t. sellest, mis on «oma» süsteemis. Niisugusele järeldusele jõuavad mõlemad vaatlejad, kumbki «oma» süsteemis.

Esimesel hetkel tundub, et siin pole kõik korras. Tõepoolest, kuidas saavad mõlemad vaatlejad «võõrast» kella üheaegselt taha jäävaks pidada? Kui üks neist väidab, et teise kell jääb taha, siis see teine peaks esimese kella kindlasti etteruttavaks pidama, sest nii ja just nimelt nii on lugu siin, Maa peal. Kuid selline analoogia ei pea paika. Kui kahe vaatleja kellade näidud Maa peal erinevad, siis saab õige olla ainult üks kell, aga teine käib tingimata valesti. Teisiti on asi kelladega, millest ühe omanik asub raketil, teine aga Maal; sel juhul käivad mõlemad kellad õigesti, ehkki kumbki vaatleja arvab (ja tal on õigus!), et teise kell jääb taha. Niisugused on objektiivsed, tegelikkuses eksisteerivad ja vaatlejate tahtest sõltumatud

<sup>1</sup> Ladina keeles tähendab see sõna suhtelisust. Kaasaja teaduses on kombeks võetud kõigil juhtudel, kus nähtusi saab uurida ainult relatiivsusteooria abil, sisse tuua liide «relativistlik» (näiteks relativistlik mehaanika, relativistlik astrofüüsika jne.).

aja arvestamise tingimused kummagi vaatleja puhul. Need tingimused on täielikult ja kõiges võrdõiguslikud.

Mida suurem on raketi kiirus  $v$ , s. t. mõlema vaatleja suhteline kiirus, seda suurem on aja aeglustumine; relatiivistlikul raketil võib see üsnagi tunduvaks muutuda. Näiteks maapealsele vaatlejale võib raketi sekund paista ... aastana, või kui soovite, isegi sajandina. Kuid ka raketil asuv vaatleja peab Maale jäänud kelli siis praktiliselt seisvateks: nende osutid liiguvad aasta jooksul ju kõigest ühe sekundi võrra edasi. Loomulikult ei käi öeldu ainult kellade kohta, vaid on õige kõigi kindla kiirusega toimivate protsesside korral: vaatlejate kõigi eluavalduste, aatomite võnkumise, taimede kasvu, lühidalt, kõige kohta ilma erandita, välja arvatud valguse kiirus, mis jääb alati ja kõikjal muutumatuks.

Relativistlik aja aeglustumine on vaieldamatu teaduslik järeldus. Kas saab seda aga ka katsega kontrollida?

Muidugi saab. Õigupoolest on selliseid katseid juba tehtud, kuid esialgu ainult elementaarosakestega, ainult need liiguvad seni küllalt ruttu, valguse kiirusele lähedaste kiirustega. Nii näiteks on loodus ise püüdnud teadlastele jätta ilmeka tõendi, et aja kulu aeglustumist määravad relatiivsusteooria valemid on absoluutselt õiged. Selliseks tõendiks on üks teadusele tuntud elementaarosakestest, nn. müoon ehk müümeson. Müoonid tekivad kosmiliste kiirte koosseisu kuuluvate ülikiirete osakeste kokkupõrkel Maa atmosfääri ülakihtide aatomitega. Kahjuks on müoonide eluiga väga väike — nad lagunevad peaaegu kohe pärast tekkimist (kahe miljondiku sekundi jooksul). Maapinnale ei peaks nad jõudma, sest isegi hiiglakiirusele vaatamata suudavad nad oma «elu» jooksul läbida vaid veidi üle poole kilomeetri. Ja siiski nad jõuavad maale! Kust leida niisugusele salapärasele faktile seletust? See peitub aja relativistlikus aeglustumises. Kell kiiresti liikuv müoonil<sup>1</sup> käib palju aeglasemalt (maapealse vaatleja

<sup>1</sup> Analoogilist nähtust on mitmeid kordi õnnestunud registreerida tuumafüüsikalaboratoriumides teistegi elementaarosakeste, nn. piimesonite ehk pionide puhul. Näiteks Dubna kiirendis saavad piimesonid kiiruse umbes 290 000 km/s, aga nende eluiga (poolestusaeg) on 17 nanosekundit (s. t. sekundi miljardikud osad). Kuid pooled kõigist pionidest ei lagune mitte 5 m pikkusel teosal, nagu selle kiiruse põhjal võib järeldada, vaid 20 m pikkusel teel, see vahemik on 4 korda pikem. Nagu näitab relatiivsusteooria, peab aeg niisuguse kiirusega liikuv pionil aeglustuma täpselt neli korda.

seisukohalt), niivõrd aeglaselt, et müoon jõuab enne hukumist maapinnani tormata. Kvantitatiivne vastavus relatiivsusteooriaga tuleb sel juhul täielik: müoonil viibiva vaateleja kell näitaks ikka sedasama kahte mikrosekundit, sellal kui maapealne vaateleja registreerib oma kellal tuhat korda pikemat ajavahemikku — selle aja jooksul võib müoon läbida üle 500 km!<sup>1</sup>

Kuid skeptikud võivad väita: asi pole sugugi nii, tunneme juba neid elementaarosakesi, nende puhul pole miski nii nagu «inimestel», kõik on omamoodi. Ja millisest kellest saab müoonil juttu olla? Vaat kui kell tõepoolest kiiresti kihutavale raketile panna ja siis võrrelda!... Siis oleks hoopis iseasi.

Kahjuks jääb raketite kiirus veel palju väiksemaks relativistlikust. Raketitehnikas ja kosmonautikas saavutatud kiiruste korral on aja kulu aeglustumine tühiselt väike (näiteks kosmoselaeva «Vostok 5» jaoks koos kosmonaudi Valeri Bõkovskiga moodustas aja aeglustumine 119 lennutunni jooksul umbes 0,0002 sekundit). Ja ikkagi võimaldab aja mõõtmise täpsuse erakordne tõus (selle on kaasaja füüsika saavutanud aatomikellade, kvantmehaaniliste seadmete — laserite ja maserite — ning nn. Mössbaueri efekti<sup>2</sup> kasutamise abil) juba praegu korraldada katset ka raketiga. Selleks on vaja niisugune ülitäpne aatomikell paigutada Maa tehiskaaslasele ja võrrelda tema käiku samasuguse maapealse kella käiguga. Katset pole just lihtne teha, tuleb arvestada paljusid lisategureid, mis mõjutavad aja mõõtmist, kuid kahtlemata pole see päev enam mägede taga, vaid teadlased valmistuvadki juba katseks.

Aga mis siis, kui kosmoserakett sooritab ringlennu, s. t. stardib Maalt ja pöördub sinna tagasi, saavutades lennu ajal valguse kiirusele lähedase kiiruse? Siis avaneb ka õnnelik võimalus Maale jäänud ja kosmosest tagasi pöördunud kellade näite vahetult võrrelda. Mida niisugune

---

<sup>1</sup> Müoonil olevat vaateajat ei imesta see, et ta jõuab kahe mikrosekundi jooksul maapinnani lennata; tema jaoks lüheneb sadade kilomeetrite pikkune vahemaa sadade meetriteni, kauguse lühenemine on täpselt niisama suur, nagu aja kulu aeglustumine maapealse vaateleja jaoks. Sellisest mõõtmete lühenemisest, mis samuti järeldub relatiivsusteooriast, tuleb hiljem veel juttu.

<sup>2</sup> Mössbaueri efekti kohta võib lugeda järgmisi raamatuid: Смородинский, «Частицы и волны», изд. «Знание», 1964; Новожилов, «Исследование недоступного», изд. «Знание», 1965 jt.

võrdlus annab? Kas kellad näitavad ühesugust või erinevat aega? Ja kui erinevat, siis milles see erinevus on?

Kahjuks pole selline lend kaasaja kosmosetehnikale veel jõukohane, seepärast tuleb esitatud küsimustele anda vastus loogiliste arutluste teel, katsega neid kontrollida seni ei saa. Peab märkima, et ehkki vastused on erinevad, sest veel pole maailmast kadunud kahtlejad, asub enamik teadlasi juba relatiivsusteooria poolel. See aga tähendab, et nende arust näitavad kellad erinevat aega — see kell, mis kosmoselaevaga kaasa lendas, jääb taha ja seda rohkem, mida pikemat aega kestis relativistlik lend. Just niisugune on relatiivsusteooria järeldus, mida tuntakse kel-laparadoksi nime all (pardoks, sest esimese mulje põhjal peaks liikumise suhtelisusest järelduma maapealse kella tahajäämine raketil asuva vaatleja jaoks. Kuid siin on otsustav osa raketi kiirendus- ja pidurdusprotsesside iseärasustel, Maal neid perioode ei esine.

Seda paradoksi nimetatakse mõnikord ka kaksikute paradoksiks, sest kui on tegemist «elavate» kelladega, näiteks kaksikvendadega, kellest üks jääb Maale, aga teine sooritab relativistliku ringlennu, siis osutub «kosmiline» kaksikvend nooremaks «maapealsest». Tuleb aeg, ja kosmoselaevad pöörduvad tagasi ekspeditsioonidelt kaugete tähtede juurde. Vähe sellest, et kosmoselaevade meeskonnad ei leia elavate hulgast enam oma eakaaslasi: lennuks kulunud aja jooksul võivad Maal olla «mööda libisenud» paljude põlvkondade elupäevad. Niimoodi avaldub aja aeglustumine kiiresti lendaval kosmoselaeval.

Just aja aeglustumine ongi too ainuke šanss, mille loodus jätab teiste tsiviliseeritud maailmade juurde lendamisest unistavale inimesele. Et oma kaugetele mõistusega vendadele kätt ulatada, tuleb lennata võib-olla kümnete ja sadade valgusaastate kaugusele. Täheleava ekipaazi ühele põlvkonnale poleks niisugune lend jõukohane, kui ei esineks aja aeglustumist.

Kuidas aga tähtedevahelise laeva meeskond ise oma lendu relatiivsusteooria seisukohalt selgitab? Nende jaoks näib kell ju endistviisi käivat ja tuleb välja, et nad liiguvad kiiremini... valgusest? Muidugi mitte. Vastavalt relatiivsusteooriale muudab valguse kiiruse lähedane kiirus niihästi aja kulgu kui ka laeva lennusuunalisi joonmõõtmeid. Relativistlikul raketil asuva vaatleja jaoks muutuvad kõik vahemaad lennu suunas lühemaks ja täpselt

niipalju, kuipalju aeglustub raketi aja kulg maapealse vaateleja jaoks. (Loomulikult lühenevad maapealse vaateleja jaoks niipalju laeva enese mõõtmed.) Seepärast osutubki kaugel tähtedevaheline lend kunagi võimalikuks.

Muidugi pole lõivuks sellise lennu eest üksnes igavene lahusolek omastest — igavene, sest tagasipöörduv meeskond võib eest leida vaid oma lähedaste kaugaid järeltulijaid. Võib-olla mõõtnatult suuremaks takistuseks teel tähtede juurde on kolossaalne energiakulu lennul, mida on isegi raske ette kujutada. Aidata võib siin vahest ainult seesama relatiivsusteooria, mis näitab, et printsiipsaalselt on võimalik aine potentsiaalset energiat täielikult ära kasutada. Seepärast peab tähelaev tingimata kvant- ehk footonlaev olema, sest kui reaktiivjuga ei koosne footoneist, siis, tähendab, osa aine potentsiaalsest energiast ei eraldu, vaid läheb koos raketist väljavoolavate osakestega kaduma.

Noh, nüüd võime suunduda «kaugele» ekspeditsioonile teistsuguste konstantide maailma, kus, nii kummaline kui see ka pole, valguse kiirusel on teistsugune väärtus kui tegelikult.

Niisiis, üks kõige põhilisemaid füüsikakonstante — valguse kiirus — on 10 korda kasvanud. Nüüd ei võrdu ta enam mitte 300 000, vaid 3 miljoni kilomeetriga sekundis. Mis on selle tõttu maailmas muutunud?

Päikesekiir ei jõua Maale mitte enam kaheksa ja poole minutiga, vaid vähem kui ühe minuti jooksul. Noh ja siis? Kas me kunagi igapäevases elus mõtleme «päikesefootonite» lennu kestusest kuni kohtumiseni Maaga? Kas pole see ükskõik?

Ebatavaliseks muutub valgusvõnkumise sageduse (mäletate, seda märgiti tähega  $\nu$ ) ja valguslainepikkus  $\lambda$  seos. Ilmselt on korrutis  $\nu\lambda$  võrdne valguse kiirusega  $c$  ja nüüd on see korrutis 10 korda kasvanud. Tähendab, endisele sagedusele vastab 10 korda suurem lainepikkus. Nähtavasti tuleb raadiovastuvõtjate skaalad ümber gradeerida, aga see pole eriti keeruline — praegused lühilained muutuvad kesklaineteks, ja ongi kõik. Tuleb ümber ehitada niihästi raadiolokaatorid, elementaarosakeste kiirendid kui ka paljud raadioelektronika seadmed, kuid see on ikkagi tühi asi.

Aga kas see mõjub ka ümbritseva maailma värvigamale, seda ei kujuta algul kohe ette. Miks me näeme tae-

vast sinisena, aga lehti rohelisena? Kas värvusetaju ole-  
neb vastava valguse lainepikkusest või selle sagedusest?  
Tegelikult pole niisugusel küsimusel mõtet, sest sagedus  
ja lainepikkus on valguse kiiruse abil üheselt seotud. Kui  
see kiirus aga 10 korda kasvab? Millele meie silma rakud  
tegelikult reageerivad — vastuvõetavate valguslainete  
sagedusele, s. t. lainete arvule sekundis, või nende pikku-  
sele? Kui sagedusele, siis jääb praegune «sinine» kvant  
siniseks ja punane punaseks. Kui aga lainepikkusele, siis  
tajume sinist kvanti teistsuguste konstantide maailmas  
juba nagu punast, ei, isegi nagu infrapunast. Sel juhul  
muutub nähtava maailma välimus põhjalikult — nähtavast  
maailmast saab nähtamatu ja me näeme ainult esemeid,  
mis kiirgavad... röntgenikiiri. Nähtavaks muutub elekt-  
romagnetlainete spektri röntgenipiirkond — see muu-  
dab nähtava universumi täiesti teistsuguseks.

Kas Päike aga endist viisi valgust kiirgab? Arvatavasti  
mitte. Kui Päikese sisemuses toimuv termotuumareakt-  
sioon, mis on päikesekiirguse allikaks ja järelikult elu  
aluseks Maal, säilib muutumatuna, siis säilib ka selle  
reaktsiooni massidefekt. Järelikult väheneb reaktsioonist  
osavõtvate aatomite mass endisel hulgal, kuid see-eest  
kasvab eralduv energia 100 korda, sest Einsteini võrrandi  
järgi on see energia võrdne massidefekti ja valguse kii-  
ruse ruudu korrutisega, valguse kiirus on aga 10 korda  
suurem.

Vabaneva termotuumaaenergia kasv põhjustab Päikese  
kiire kuumenemise. Kui Päikesel toimuvate tuumareakt-  
sioonide iseloom seejuures ei muutugi, siis ometi kasvab 100  
korda Maale lähetatav energia. Vaevalt on vaja selgitada,  
miks see muudab maapealse elu võimatuks, miks maa-  
kerast saab hõõguv, surnud planeet. See-eest kasvab palju  
kordi maakera sisemuse tektooniline aktiivsus seoses suu-  
reneva soojuse eraldumisega uraani, raadiumi, kaaliumi  
ja teiste elementide radioaktiivsel lagunemisel — planeet  
vappub võimsate maavärisemiste ja vulkaanipursete taga-  
järjel.

Talumatult kuumaks ei muutu Maal mitte ainult selle-  
pärast, et Päike kiirgab ruumi tunduvalt rohkem energiat.  
Valguse kiiruse kasv rikub tasakaalu tähe ainet kooshoid-  
vate gravitatsioonijõudude ja seda igasse suunda laiali  
tõukava valguse rõhu vahel. Päike hakkab kiiresti pai-  
suma, tema mõõtmed suurenevad, ta tuleb Maale «lähe-

male». Päikese sisemusest purskavad välja hiiglaslikud tulefontäänid. Paljud tähed tõenäoliselt «plahvatavad», niisuguste kosmosekatastroofide hulk kasvab.

Kõik aatomielektriijaamad tuleb kiiresti ümber ehitada — nende võimsus on ju 100 korda suuremaks muutunud. Sellega oleks arvatavasti võrdlemisi lihtne hakkama saada — piisab, kui reaktoris vastavalt vähem tuumakütust «põletada». Tunduvalt kasvaksid eelised, mis on aatomienergia rakendamisel kosmonautikas, ehkki realiseerida neid suuremaid võimalusi poleks kaugeltki lihtne. Üldised tuumaenergiavarud, mida inimkond võiks Maal leiduvatest tuumakütuse ressurssidest ammutada, kasvaksid 100 korda, kuid jääksidki vist kasutamata.

Ent relativistlik lend tähtede juurde, kus kasutatakse ära aja aeglustumist, muutuks tõenäoliselt täiesti teostatavaks unistuseks — pole ju võimalik isegi mõelda lähenedemisest niisugusele kolossaalsele valguse kiirusele!...

Kuid võib-olla osutub kõitvamaks selline teistsuguste konstantide maailm, kus valguse kiirus mitte ei kasva, vaid kahaneb 10 korda, saades võrdseks 30 000 km/s?

Kui mass säilib, siis energia väheneb kooskõlas Einsteini võrrandiga 100 korda — Päike praktiliselt kustub, vähemalt kõige elava jaoks Maa peal, sest elu maakeral muutub võimatuks. Tähtede järsu kokkutõmbumise tulemusena nende kiirgusrõhu vähenemise tõttu võib osa tähti «plahvatada», aga osast kujunevad neutrontähed — jällegi loendamatu hulk tähekatastroofe. Mikromaailm muutub tunduvalt aeglasemaks: praegu on ju paljude elementaariosakeste kiirus üle 30 000 km/s, kuid siis osutuvad sellised kiirused võimatuks. Et osakeste energia säiliks ka väiksema kiiruse korral, selleks peab järsult suurenema nende mass — see muudab põhjalikult paljusid mikromaailmas toimuvaid protsesse. Muuseas, mitte ainult mikromaailmas — tuletage meelde galaktikaid, mis «jooksid laiali» kiirustega 100 000 ja isegi 150 000 km/s! Nendegi mass suureneb tohutult.

See-eest muutub tunduvalt reaalsemaks tähtedevaheline lend! On ju nüüd relativistlikku, valguse kiirusele lähedast kiirust tunduvalt kergem saavutada. Vahest võimaldavad kosmonautika edusammud inimestel lahkuda ebasõbralikult Maalt ja lennata Marsile, võib-olla aga veelgi kaugemale?

Ei, parem juba jääda meie tõelisele Maale...

DHEKSAS NOVELL

## TUNNEVAD KÕIK JA MITTE KEEGI

*Jõu sünd. Planeedid «tekivad» paberil. Merkuur liigub spiraali mööda. Kahekeelne täht. Pendel valgel kääbusel. Kell torni otsas. Looduslik «tähelaev». Kustutada hetkeks Päike. Einsteini julged mõtted. Raskusjõud kodus. Ruum on kõverdatud. Jumal, saatan ja Einstein. Pilvelõhkuja kanajalgadel. Maailma suurim ime — ülitäht. Plahvatavad galaktikad. Läbitungimatu «gravitatsioonikera». Raskusjõu lahendamata saladused.*

Sedamööda, kuidas teadus arenes, õppis inimene tundma ja uuris üha uusi looduses mõjuvaid jõude. Kuid kahtlemata oli raskusjõud<sup>1</sup> esimeseks jõuks, mida inimene märkas ja mis tema kujutlusvõimet rabas. Saatis see jõud inimest ju muutumatult tema esimestest elupäevadest peale neil kaugetel aegadel, mil ta alles kujunes inimeseks, kui ka kõigil järgnevatel sajanditel. Kes meist poleks selle jõu mõjul maha kukkunud, kel poleks selle jõuga iga päev, iga hetk tegemist olnud? Raskusjõuta pole maapealset elu võimalik ette kujutada.

Ehkki inimesed tundsid raskusjõu toimet juba nii kaua, kui nad ise eksisteerivad, avastas teadus selle jõu alles üsna hiljuti, umbes 300 aasta eest, 1687. aastal, kui ilmus suure inglise teadlase Isaac Newtoni<sup>2</sup> ajalooline teos «Natuurfilosoofia matemaatilised printsiibid» (natuurfilosoofiaks nimetati sel ajal teadust loodusest, mida praegu

<sup>1</sup> Ehk gravitatsioonijõud (ladina keeles tähendab «gravitos» raskust).

<sup>2</sup> Isaac Newton uuris gravitatsiooniprobleemi alates 1665. aastast.

tuntakse füüsika nime all). Õigupoolest just sellest aastast algabki kaasaegse füüsika ajaarvamine.

Muidugi polnud Newtoni avastus juhuslik, seda valmistasid ette paljude tema tähelepanuväärsete eelkäijate tööd.

Peaaegu poolteistsada aastat enne Newtonit tõestas suur poola astronoom Mikolaj Kopernik, et kreeka õpetlase Claudius Ptolemaiose poolt esitatud ja peaaegu pool tuhat aastat jagamatult valitsenud geotsentriline maailmasüsteem, mille keskpunktiks on Maa, pole õige. Kopernikule kuulub au päikesesüsteemi ehituse kaasaegse pildi loomise eest.

Kolmveerand sajandit hiljem viis saksa astronoom Johann Kepler Koperniku töö lõpule. Ta oskas ära mõistatada orbiitide saladused, mida mööda liiguvad planeedid Päikese ümber või nende kaaslased planeetide eneste ümber<sup>1</sup>. Need orbiidid polnud mitte ringid, nagu arvas Kopernik, vaid ellipsid.

Suur itaalia teadlane Galileo Galilei arendas hiilgavalt edasi Koperniku õpetust<sup>2</sup>, rajas liikumisõpetuse — mehaanika alused (mehaanika harmoonilise hoone püstitas hiljem Newton), valmistas esimesena teleskoobi ja suunas selle taevasse. Muidugi ei vähenda kõik see mingil määral Newtoni geniaalse avastuse ülevust, kui ta oskas näha ühte looduse kõige varjatumat saladust.

Newton tõestas, et gravitatsioon ei ilmne üksnes meid vahetult ümbritsevas maailmas. Maa peal kutsub see jõud esile kehade langemise. Kuid seesama jõud sunnib Maad ja teisi planeete Päikese ümber liikuma, ta on päikesesüsteemi vedruks, üleskeeravaks mehhanismiks ja avaldub kõikjal looduses. Newton «tõstis» raskusjõu maa pealt taevasse, näitas selle jõu mõju ülemaailmset iseloomu. Eelkõige gravitatsioonile on universum tänu võlgu valitseva harmoonia ning korrapära eest.

Newtoni avastatud ülemaailmne gravitatsiooniseadus on üldtuntud. Selle seaduse järgi tõmbuvad kaks keha maailmaruumis, kui nende massid on  $M_1$  ja  $M_2$  ning nad asuvad teineteisest kaugusel  $R$ , jõuga

$$R = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

<sup>1</sup> Koperniku ajalooline töö «Taevafäärade pöörlemisest» ilmus 1543. a., Kepleril — 1618. a.

<sup>2</sup> Galilei kuulus teos «Dialog kahest maailmasüsteemist» ilmus 1632. a. Järgmisel aastal mõistis inkvisitsioonikohus Galilei selle raamatu eest hukka.

Gravitatsioonijõud on võrdeline tõmbuvate kehade massidega ja pöördvõrdeline kehadevahelise kauguse ruuduga. Gravitatsioonijõu valemis sisalduv suurus  $G$  on nn. gravitatsioonikonstant.

Kõik taevakehad tõmbavad üksteist. Isegi 4 miljardi kilomeetri kaugusel olev Neptuun mõjub Maale jõuga 18 miljonit tonni. Gravitatsioonijõud on nii päikesesüsteemi kui ka loendamatu hulga teiste taoliste süsteemide ehituse aluseks, ta juhib planeetide kaaslaste ning komeetide, kak-siktähtede ja galaktikate liikumist. Kui raskusjõudu ei oleks, siis lakkaks Kuu Maa ümber tiirlemast ja hakkaks temast inertsil mõjul eemalduma, liikuma nn. vabalt, sirg-jooneliselt ja ühtlaselt kiirusega, mis tal on Maad ümb-ritseval orbiidil (s. t. umbes 1 km/s). Sama saatust tabaks ka Maad ja teisi planeete — nemadki lahkuksid oma põlis-telt orbiitidelt ja «jookseksid» igas suunas Päikese juu-  
rest minema, alustaksid peatusteta vaba liikumist. Päikesesüsteem laguneks, lakkaks olemast.

Lakkaksime olemast meie teiega, sest miski ei hoiaks meid enam maapinnal. Inimesed, autod, rongid — kõik, mis pole kõvasti-kõvasti maa külge kinnitatud, lendaks siit igaveseks minema, sest pöörleval Maal püsida enam ei saaks. Kõik me hakkaksime samuti täiesti vabalt kosmoses liikuma (tore «vabadus» küll!), muutuksime tema igaveseks vangideks. Universumi harmooniline struktuur asenduks üldise kaosega.

Newtoni loodud gravitatsiooniteooria saavutas ühe hiilgava võidu teise järel. Ta seletas suure täpsusega Kepleri leitud planeetide orbiitide iseärasusi — ilma selleta poleks muidugi ükski gravitatsiooniteooria eluõigust saanud. Teooria põhjal õnnestus arvutada planeetide masse, avastada komeetide liikumise ja loodete saladused, dešif-reerida palju «valgeid laiike» universumi kaardil. Kuid suurimaks võiduks oli uute avastuste ennustamine — Halley komeedi ilmumine teooria poolt näidatud ajal ja astronoomidele tundmatute planeetide avastamine.

Vaatame, kuidas Newtoni teooria võimaldas uusi planeete «avastada». Planeedi Uraan liikumise täpsed vaatlused näitasid, et see liikumine ei allu rangelt Newtoni seadusele. Kahelda seaduse õigsuses? Oo ei, astronoomidel oli juba ohtrasti tõendeid selle laitmatust õigsusest. Tähen-dab, on olemas mingi senitundmatu põhjus, mis kutsub esile planeedi kõrvalekaldumise teooria poolt tema jaoks

ettejoonistatud teest. Edasi oli asi vaid arvutuste taga, kusjuures need tuginesid täielikult Newtoni seadusele. Prantsuse teadlase Leverrier' arvutused olid küll töömahukad, kuid see-eest viljakad: tuli välja, et kuskil kosmose sügavuses, Uraanist kaugemal, peab leiduma veel üks planeet. Just nimelt see peaks arvutuste põhjal «rahusegajaks» osutama. Ja pruukis vaid teleskoop arvutustega näidatud punkti suunata (see juhtus 1846. a.), kui kohe helkis astronoomi otsiva pilgu ees ihaldatud täheke! Nii avastati Neptuun, seejärel aga Pluuto.

Niisama efektne oli ka Siiriuse mõistatuse lahendamine. See probleem oli astronoomide ammugi vaevanud. Siirius on meie taeva heledaim täht, ta asub Suure Jahipeni tähtkujus 8,8 valgusaasta kaugusel Maast. Nagu eranditult kõik nn. kinnistähed, liigub ka Siirius taevavõlvil — seda liikumist võib märgata vaid pikaajaliste vaatluste põhjal. Lähemal uurimisel näeme (esmakordselt täheldati seda umbes 100 aasta eest), et Siirius ei liigu mitte mööda sirget, nagu peaaegu kõik teised tähed, vaid kuidagi imelikult, mööda lainelist joont.

Paistis, et seda saladust lahendada ei õnnestu — Siirius on ju nii kaugel. Kuid Newtoni gravitatsiooniteooria põhjal tehti kindlaks: Siiriuse liikumise «saladuse» põhjuseks on asjaolu, et ta pole mitte tavaline, vaid kaksiktäht. Niisuguseid tihedaid tähepaare on kosmoses väga palju, iga täheke paarist (vahel isegi tähtede kolmikust) liigub ühise masskeskme ümber mööda elliptilist orbiiti, nagu see Newtoni teooria järgi peabki olema. Siiriusel aga ei paistnud tähtkaaslast olevat, ehkki selle eksisteerimine oleks täielikult seletanud Siiriuse ebatavalist trajektoori. Tõepoolest, sel juhul oleks mõlema tähe masskese liikunud, nagu peabki, mööda sirget, aga Siirius oleks selle keskme ümber tiirlemise tõttu kaldunud kord ühele, kord teisele poole sirget, kujutadeski jälgitava lainelise kõvera. Kus aga on see Siiriuse kaaslane, mis teooria järgi peaks tal olema? Alles 18 aastat pärast teoreetilist ennustust avastati teleskoobis tähtkaaslane, mis sai nimeks Siirius-B. See toimus üle 100 aasta tagasi, 1862. a.

Aga viimastel aastatel on Newtoni teooria võimaldanud jõuda veelgi tähelepanuväärsemate tulemusteni: kaugetel tähtedel avastati meie Maaga sarnanevad planeetkaaslased, terved uued «päikesesüsteemid». Muidugi pole mittehelenduvaid tibatillukesi planeete ka kõige tugevamate

teleskoopide abil võimalik nii kaugelt avastada. Nad on «avastatud» teoreetiliselt, ikka nende tühiste kõrvalekaldu-  
miste põhjal tähe enese liikumises. Niisuguste nähtamatute  
planeetide olemasolu on kindlaks tehtud juba rohkem kui  
ühe tähe juures.<sup>1</sup>

Nii näiteks teatas ameerika astronoom Van der Kamp  
veel ühe taolise planeedi avastamisest väljaspool päikesesüsteemi, seekord Barnardi tähel, mille kaugus on 5,9 valgusaastat. (Kas mäletate seda ülikiiret «lendavat» tähte? Sellest oli juttu eelmises novellis.) Selleks tuli astronoomil läbi uurida 2400 tähe fotot aastatest 1916—1919 ja 1938—1962. Newtoni teooria põhjal sooritatud täpsed mõõtmised näitasid, et suurel kaugusel tähest, umbes 4,4 korda kaugemal kui Maa ja Päikese vahemaa, liigub kaaslane, mille mass on 1,5 korda suurem Jupiteri, tolle päikesesüsteemi tõelise gigantplaneedi massist. Muidugi võib sel tähel olla ka väiksema massiga kaaslasi.

Näis, et sajandid ei tee Newtoni teooriale midagi. Kuidas üldse mõelda selle asendamisest, kui ta nii hiilgavalt oma õigsust ilmutab? Isegi praegu, mil teadus on alustanud kosmose ründamist, arvutatakse inimese loodud taevakehade — Maa tehiskaaslaste, kosmoserakettide — liikumist suure täpsusega just Newtoni teooria järgi.

Ja ometi oli selles teorias endas peidus tema põhilised puudused. Kui täpne teooria ka ei oleks, ei suuda ta anda vastust saatuslikule küsimusele: kust on pärit gravitatsioonijõud, milline on selle olemus? Ja miks on ülemaailmne gravitatsiooniseadus just niisuguse, mitte aga teistsuguse kujuga?

Selle suurepärase teooria looja Isaac Newton ise tunnistab oma jõuetust. Ta sõnas: «Raskusjõu põhjust ma nähtustest tuletada ei oska, hüpoteese ma aga ei püstita.» Ja ikkagi jäi seniks, kuni raskusjõu olemust ei tuntud, selle jõu olemasolu ise ka ainult hüpoteesiks.

See, mis Newtonil korda ei läinud, õnnestus peaaegu kaks ja pool sajandit hiljem teisel suurel teadlasel Albert Einsteinil. 1916. a. avaldas ta oma kuulsa üldrelatiivsusteooria, kus sisaldasid täiesti uued ideed gravitatsioonijõu olemusest. Tegelikult ongi üldrelatiivsusteoorias peamine

---

<sup>1</sup> 1951. a. «avastas» nõukogude astronoom A. Deitš planeetkaaslaste tähel 61 Cygni; praeguseks on nähtamatuid kaaslasti avastatud juba umbes kümnel Päikesele lähemal asuval tähel.

just uus raskusjõu teooria. Selle alusel lõi Einstein uue pildi ka universumist, mille kaasaegne teadus on üldjoontes vastu võtnud, ehkki tuleb tunnistada, et seniajani on gravitatsioon jäänud üheks kõige ebaselgemaks ja salapärasemaks nähtuseks, omapäraseks «valgeks laiguks» füüsikas.

Einsteinil oli täielik õigus sajandite pärast pöörduda Newtoni poole kuulsaks saanud sõnadega: «Andesta mulle, Newton! Sinu loodud mõisted juhivad ka praegu meie füüsikalist mõtlemist. Kuid nüüd me juba teame, et maailmas valitsevate seoste veelgi sügavamaks tunnetamiseks tuleb meil sinu mõisted asendada uutega.»

Kuidas aga Einsteinil õnnestus «ümber muuta» Newtoni seadust, mis palju kordi on tõestanud oma laitmatut õigsust?

Selles asi ongi, et ta ei «muutnud» seda seadust ümber. Einsteini teooria lihtsalt «võttis endasse» Newtoni seaduse, osates minna sealt mõõtmatault kaugemale. Einstein näitas, et tema teooria annab Newtoni seadusega täielikult kooskõlas olevad tulemused kõigil juhtudel, kui selle seaduse järeldused on õiged. Õiged pole nad aga ei Einsteini ega kogu kaasaja teaduse arvates kaugeltki mitte alati. Teadlastel pole seni lihtsalt praktikas olnud tegemist niisuguste juhtudega, kus Newtoni seadus annab ebatäpsed, ligikaudsed tulemused, nimelt väga tugevate gravitatsiooniväljade puhul. Niimoodi muutus Newtoni seadus nagu lihtsaks lähenduseks Einsteini teooriale suurema osa praktikas oluliste juhtude puhul, kui raskusväli on suhteliselt nõrk.

Muide, juba praegu on Newtoni seaduses ühel teadusele hästi tuntud juhul nagu «tõrge» sees. See saatuslik juhus on seotud planeet Merkuuriga, ja nimelt just temaga, sest ta on Päikesele kõige lähemal.

Newtoni seadus võimaldab Merkuuri orbiiti väga täpselt välja arvutada, kuid ainult ühe erandiga. Tuleb välja, et Merkuuri tavalise ellipsikujulise orbiidi asend ei säili ruumis muutumatuna nagu teiste planeetide orbiidid. Merkuuri orbiit pöörleb vahetpidamata ja aeglaselt iseene tasandis. Niisugust pöörlemist hakkasid teadlased orbiidi periheeli nihkeks nimetama, sest periheel — Päikese lähim punkt orbiidil — muudab pidevalt oma asendit, nihkudes mööda ringjoont (sama käib ka afeeli — orbiidi Päikesest

kaugeima punkti — ja kõigi teistegi orbiidi punktide kohta).

Merkuuri orbiidi periheeli nihke tulemusena ei liigu see planeet mitte mööda kinnist ellipsit nagu teised planeedid, vaid omapärast lõpmatut lahtist spiraali mööda, mille kujundab pöörlev ellips. Mis siis kutsub esile Merkuuri nii kummalise käitumise? Newtoni gravitatsiooniseadus sellele küsimusele vastata ei suutnud.

Täpsemalt öeldes, Newtoni seaduse põhjal õnnestus selgitada põhiosa Merkuuri periheeli nihkest. Nihkumise nurkkiirus on 573 nurgasekundit sajandis. Newtoni seadus seletas 530 nurgasekundi tekkimist (see on seotud teiste planeetide mõjuga), kuid jäid veel riuklikud 43 nurgasekundit. Tühine kiirus — 43 sekundit sajandis (see tähendab, et täispööre tehakse 3 miljoni aasta jooksul!), kuid kaasaegne astronoomia suudab isegi nii väikest suurust väga täpselt mõõta. Kuidas astronoomid ka ei püüdnud, nende lisasekundite päritolu nad seletada ei suutnud.

Einsteini gravitatsiooniteooria andis kauaoodatud seletuse.<sup>1</sup> Teooria arvuline kokkulangevus katsega osutus suurepäraseks. Tuleb välja, et kogu asi on planeedi Päikese ümber tiirlemise nurkkiiruses — Merkuuri jaoks on see teiste planeetidega võrreldes kõige suurem (nagu teada, kestab aasta Merkuuril kõigest 88 maa-ööpäeva). Veenuse puhul on see kiirus 5, aga Maa jaoks 10 korda väiksem ega ületa 4 nurgasekundit sajandis. Ja ikkagi oskas kaasaaja teadus oma rabavalt täpsete riistade abil mõõta sedagi kaduvväikest suurust — üldiselt osutus see vastavaks teooriale. Teiste, Päikesest veelgi kaugemate planeetide puhul on seda praktiliselt juba võimatu teha.

<sup>1</sup> Siinkohal oleks ehk asjakohane märkida, et Merkuuri periheeli nihe võimaldab isegi vahet teha gravitatsiooniteooria kahe erineva variandi vahel. Einsteini poolt formuleeritud teooria on Merkuuri periheeli tegeliku nihkega (43 kaaresekundit sajandis) täpselt kooskõlas, kuid nendes arvutustes ei ole arvestatud päikese lapikust (tollal polnud see üldse teada, R. Dicke ja M. Goldenbergi mõõtmised teostati alles 1967. a.), viimane aga mõjutab Merkuuri periheeli liikumist ja teeb Einsteini teooria erakordse klappimise veidi halvemaks (umbes 3,4 kaaresekundi võrra sajandi kohta).

C. Brans'i ja R. Dicke'i poolt 1961. a. esitatud üldrelatiivsusteooria variant erineb mõnel määral Einsteini esialgsest teooriast, kuid viib teooria uuesti kooskõlla periheeli nihkega. Üldrelatiivsusteooria ülejäänud kahe proovikivi kohta võib öelda vaid niipalju, et punanihe on olemas mõlemas teorias, valguse gravitatiivne kõrvalekalle on aga sellisel seisukohalt veel läbi uurimata.

Nagu näitas nõukogude füüsik V. Ginzburg, on huvitav see asjaolu, et Maa tehiskaaslaste orbiidi periheeli nihe on veel ligi kümme korda suurem kui Merkuuril. Põhjuseks on nii kaaslaste suurem liikumiskiirus kui ka võimalus nende orbiite tunduvalt «välja venitada». See avab suurepärase (muide, kaugeltki mitte ainsa) võimaluse kasutada tehiskaaslaste relatiivsusteooria kontrollimiseks. Muidugi realiseeritakse need võimalused, ehkki sellega on seotud ka tõsised raskused.

Kuid Einsteinini gravitatsiooniteooria ehk täpsemalt üldrelatiivsusteooria sai vähemalt kaks teist hiilgavat katsetlikult kinnitust peale Merkuuri periheeli nihke. Ühel neist pole esimesel pilgul üldse mingit seost gravitatsiooniga, vähemalt mitte niisugusel kujul, nagu seda mõistis Newton. Relatiivsusteooria järgi muutub tugevas raskusväljas, näiteks niisuguses, mille loovad massiivsed tähed, ... aja kulg.

Eelmisest novellist teame juba aja aeglustumise efekti liikumisel valguse kiirusele lähedase kiirusega. Seda nn. aja relativistlikku aeglustumist uurib erirelatiivsusteooria, mille Einstein lõi 1905. a. Aga 11 aastat hiljem avaldas Einstein üldrelatiivsusteooria, mis «tungis» jälle kallale varem nii kõigutamatu ja absoluutsele ajale.

Nüüd ei osutunud aja kulg enam sõltuvaks keha kiirusest, vaid sellest, millises raskusväljas see keha asub. Mida võimsam on gravitatsiooniväli, seda aeglasemalt voolab aeg, seda aeglasemalt toimuvad kõik protsessid — füüsikalised, keemilised, bioloogilised, üldse igasugused protsessid.

Kuidas aga kontrollida seda teooria ebatavalist väidet? Kõige parem oleks muidugi vahetult võrrelda kella- pendli võnkumist siin, Maa peal, ja kuskil massiivse tähe pinnal. Noh, mis siis, mille taha asi seisma jäi? Ei, loomulikult pole meil plaanis saata pendel tähelaevaga kuhugi Centaurile. Ja kui me ta sinna saadaksimegi, poleks sellest ikkagi mingit kasu — milline pendel jääks terveks hõõguvkuumal tähel?

Ja siiski korraldasid teadlased just niisuguse katse, ainult loomulikult mitte tähele viidud pendli abil — «pendel» õnnestus avastada tähel endal. Ilmselt on lugejal juba selge, millisest pendlist on juttu — selle osas esinevad tähe aine aatomid. On ju teada, et aatomid võivad kiirata rangelt kindla sagedusega valgust, s. t. teatava ener-

giaga kvante; sellest räägiti seitsmendas novellis. Aatomid muutuvad nagu sageduse etalooniks, tähendab, võivad olla ka suurepärasteks kelladeks; niisugusest aatomkellast oli esimeses novellis samuti juttu. Aatomkell käib võrratult täpsemini parimatest pendelkelladest.

Selgubki katse skeem, mille abil saab kontrollida üldrelatiivsusteooria järeldust aja aeglustumisest gravitatsiooni mõjul: on vaja võrrelda teatavate aatomite kiirgusagedust mingil tähel ja meie juures Maal. Kui teooria peab paika, siis on tähel olevate aatomite poolt kiiratud kvantide sagedus väiksem. Aatomid annavad needsamad spektrijooned, ainult nagu väiksemate sageduste, s. t. punaste kiirte poole nihutatuna. Kui niisugune punanihe (nagu praegu seda nimetatakse) ka tegelikkuses eksisteerib, siis on teooria õige.

Kahjuks pole isegi sellist katset lihtne korraldada. Meid huvitav punanihe osutub suhteliselt üsna väikeseks, punanihel on ka teisi võimalikke seletusi peale gravitatsiooni.

Eelkõige peab siin arvestama asjaolu, et tähe kiirgav pind pole mingi peegel, mitte mingisugune kõva pind. Tähegaas keeb, liigub pidevalt kiiresti. Peale selle on teada, et kui kiirgusallikas liigub valguskiire suunas, siis valguse sagedus muutub — vaatleja võtab vastu rohkem või vähem valguslaineid kui liikumatult valgusallikalt. Niisugust võnkesageduse muutumist nimetatakse Doppleri efektiks, ehkki rangelt võttes avastas Doppler selle helilainete puhul, aga valguslainetele laiendas seda vene astronoom A. Belopolski.

Juba ainuüksi keevate gaasimasside poolt põhjustatud nihe tähe spektris on niivõrd suur, et gravitatsioonilist punanihet mõõta osutub praktiliselt võimatuks. Tõepoolest, gravitatsiooniline punanihe vastab tavaliselt Doppleri efektile juhul, kui kiire kiirus on suurusjärgus 10—20 km/s, kiirus, mis igal tähel võib vabalt esineda.

Kui kahju! Tuleb välja, et vajalikku katset korraldada ei õnnestu? Ei, katse siiski tehti ja see andis soovitava tulemuse. Kuid selleks tuli astronoomidel vaeva näha ja leida miljardite tähtede seast sobiv uurimisobjekt, sest katse pidi andma kõige usutavamad ja veenvamad tulemused. Niisuguseks «katsejäneseks» sai juba tuttav Siiriuse tähtkaaslane, s. o. Siirius-B. Mäletate, et selle tähega oli seotud Newtoni gravitatsiooniteooria triumf? Algul avastati see täht teoreetiliselt, pärast aga juba teleskoobi abil

ka taevas. Ja nüüd andis salakaval täht otsustava löögi Newtoni teooriale, mille abil ta avastati — Siirius-B kin-nitas hiilgavalt Einsteini teooriat. Muide, Siirius-B sala-dused pole veel kaugeltki lõpuni lahendatud, sellelt tähelt võib oodata veel uusi «altvedamisi».

Kuid miks langes astronoomide valik just Siiriusse kaas-lasele? Muidugi mitte sellepärast, et tõestamine «ajaloo-lise» tähe varal näis neile efektsamana. Seletus peitub tähe ebatavalistes omadustes.

Siiriusse kaaslane kuulub tähtede hulka, mida astronoo-mias nimetatakse valgeteks kääbusteks; õieti öelda oligi ta esimeseks avastatud valgeks kääbuseks. Tähtede maa-ilmas on nad tõepoolest kääbused — Siirius-B ise on mõõt-metelt lähedane... Maale. Sealjuures on need kääbused ka tõepoolest valged, sest nad on väga kuumad tähed, näiteks Siirius-B pinnatemperatuur on  $8000^{\circ}\text{C}$ , s. t.  $2000^{\circ}$  kõrgem kui Päikesel. Ent vaatamata kääbuste mõõtmete-le, pole nende mass sugugi väike, sest täheaine tihedus on ebatavaliselt suur, ulatudes paljude sadade kilogrammide ja isegi tonnideni kuupsentimeetri kohta.<sup>1</sup> Tavaline tee-kannutäis niisugust täheainet kaaluks Maal nagu sadade tonnide raskune laev.

On arusaadav, miks kääbustähtede omadused köitsid nende teadlaste tähelepanu, kes püüdsid punanihet katse-liselt avastada. Kerge on märgata, et nende tähtede gravi-tatsiooniväli on väga tugev: Newtoni seaduse järgi kas-vab külgetõmme raskuskeskmele lähenemisel kiiresti (on pöördvõrdeline kauguse ruuduga sellest). Raskusjõud kää-

<sup>1</sup> Näiteks üks valgetest kääbustest, nn. Kuiperi täht, on poolteist korda Maast väiksem, kuid tema tihedus on umbes  $2,4\text{ t/cm}^3$ . Kääbus-tähel Ross-627 on veel suurem tihedus — ligi  $10\text{ t/cm}^3$ ; see täht on Maast kaks korda väiksem, kuid tema mass on võrdne Päikese massiga. Aga alles üsna hiljuti avastas astronoom Leyten Mount Palomari obser-vatooriumis USA-s rekordiliselt väikeste mõõtmetega valge kääbuse — selle diameeter on umbkaudu võrdne  $1/10$ -ga Maa diameetrist. Tuleb välja, et see väikseim kõigist tuntud tähtedest ületab mõõtmetelt ainult kaks korda kõige suurema teisest kääbuste perest. Jutt on asteroididest. Maa tibatillukestest «õdedest» päikeselähedases ruumis; Cerera — suu-rima asteroidi diameeter on ligi 770 km. Kuid see-eest on uue valge kääbuse tihedus samuti rekordiline — umbes  $1000\text{ t/cm}^3$ .

Siiriusse kaaslane pole nii tihe: kuupsentimeetris sisaldub «kõigest» 100 kg ainet, s. t. see aine on 100 000 korda raskem veest. Valgeid kää-buseid leidub tähtede hulgas väga palju — ainuüksi meie Galaktikas pole neid nähtavasti vähem kui miljard. Teadlased arvavad, et valge kääbus on surev täht, viimane etapp paljude tähtede arengus.

buse pinnal on väga suur; näiteks Kuiperi tähel on see 3,5 miljonit korda suurem kui Maal. Inimene kaaluks seal veerand miljonit tonni! Siirius-B-1 on see 50 000 korda suurem kui Maal. Tähendab, ka aja aeglustumine peab seal üsna tunduv olema, aga see omakorda peab viima tähe spektri suurema punanihkeni.

Katse kinnitas teooriat hiilgavalt. Valge kääbuse, Siiriusse kaaslaste spektri punanihe avastati tõepoolest ja see osutus väga lähedaseks teooria poolt ennustatule.

Loomulikult oleks põhimõtteliselt võimalik olnud gravitatsiooni mõju ajale kontrollida katseliselt ka igas maa-pealses laboratooriumis. Näiteks toa lae juurde paigutatud kell peab ilmselt veidi kiiremini käima kui põrandal asuv kell: mida kõrgemal, seda nõrgem on Maa külgetõmbejõud, sest kaugus Maa keskpunktist on suurem. Kuid see erinevus on nii tühiselt väike, et näis, nagu mõõta seda ei saaks. Ja ikkagi seda mõõdeti, esmakordselt 1960. a., aga seejärel mitu korda hiljemgi. Appi tulid füüsika uusimad saavutused, mis võimaldasid mõõta kaduvväikesi ajavahe- mikke; teadlased kasutasid sel eesmärgil ära Mössbaueri efekti, mida mainisime juba eelmises novellis.

Toodud katse puhul asus kell (muidugi oli see eriline, laboratooriumi-aatomkell, mis kiirgas väga väikese pikkusega elektromagnetlaineid) kord laboratooriumiks muudetud 22 m kõrguse vana torni tipus, kord selle jalamil. Kella käiku jälgiti hoolikalt. Katse tulemusi ei saanud ümber lükata! Üleval käis kell õige veidi kiiremini kui all. Spektri gravitatsiooniline punanihe oli tühine (suurusjär- gus  $10^{-14}$ ), kuid täpselt võrdne teoreetilisega. Nagu võiski oodata, oli nihe juhul, kui kiir liikus alt üles, gravitatiooniväljaga «västassuunas», «punane»; kui aga lainete allikas asus üleval ja kiir suunati alla, muutus nihe «vio- letseks», s. t. kiirataivate lainete sagedus oli suurem kui allpool asuva allika korral. Teadlased selgitavad seda fakti mõnikord ka nii: kui kvant liigub gravitatsiooniväl- jas alt üles, siis tema energia kahaneb, sest ta ületab raskusjõudu, tähendab, ka kvandi sagedus väheneb (tule- tage meelde Plancki võrrandit); kui kvant aga raskusväl- jas «langeb», siis tema energia ja järelikult ka sagedus kasvavad.

Kuid kõige tähelepanuväärsem oli Einsteini üldrelatiiv- susteooria õigsuse teine katseline tõestus (mäletate, me rääkisime kahest tõestusest?). Asi on selles, et Einsteini

teooria läks lahku Newtoni seadusest selle hindamisel, mil määral peab vabalt lendav kosmoselaev kõrvale kalduma sirgjoonelisest teest, kui ta möödub tähe naabrusest, s. t. on tähe võimsa gravitatsioonivälja mõju all. Einsteini järgi peab kõrvalekaldumine olema täpselt kaks korda suurem kui Newtoni teooria põhjal. Aga kuidas katsega kontrollida, kellel on õigus? Täheleava pole seni ju loodud...

Ja siin, ning mitte esmakordselt, tuli teadlastele appi loodus. Selgus, et katse korraldamiseks pole vajadust läkitada Maalt teele täheleava — võib kasutada ühte looduslike, loomulike «täheleavade» loendamatu hulga. Muidugi ei saa see olla just eriti lihtne täheleav, sest Maa teadlased peavad märkama tema kõrvalekaldumist tähest möödalendamisel ja selle kalde suuruse täpselt ära mõõtma. Kõike tuleb teha kujuteldamatult suurel kaugusel — palju miljoneid ning isegi miljardeid kilomeetreid. Kui täheleav oleks mehitatud, siis võiksid inimesed ise teha kõik mõõtmised ja anda signaalid edasi Maale. Aga otsida looduslikku mehitatud täheleava...

Ja ometigi leiti vajalikud «täheleavad». Need signaaliseerisid Maa teadlastele kõrvalekalde suuruselt tähe raskusväljas, kuid üsnagi ebatavaliselt: nad tulid ise Maa peale! Ärgem ärritagem enam lugejat, vaid teatagem kõnealuste «täheleavade» nimi: niisugusteks «täheleavadeks» olid meile hästi tuntud footonid — valguskvandid.

Nagu teada, liigub igas suunas läbi kosmose loendamatu hulk tähtede poolt kiiratud footoneid. Möödalennul mingist massiivsest taevakehast, kas või tähest, lakkab footon liikumast sirgjooneliselt nagu vabas maailmaruumis ja tema trajektoor kõverdub. Footonite tee kõverdumine, mida vaatleja märkab kui valguskiire kõrvalekaldumist sirgjoonest, on kohustuslik ilming iga gravitatsiooni-teooria järgi — footon on ju materiaalne keha nagu kõik teisedki ja seepärast tõmbab täht teda enda poole. Aga nagu öeldud, ennustas Einsteini teooria kaks korda suuremat kõrvalekaldumist kui Newtoni seadus. Asja tuli kontrollida.

Kontrollimise põhimõte näib üldiselt väga lihtne olevat. Ainuke taevakeha, mis on meile küllalt lähedal ja millel on piisavalt suur mass, selleks et valguskiirt märgatavalt kõrvale kallutada, on Päike. Tähendab, tuleb varitseda momenti, mil mingilt tähelt lähtunud valguskiir möödub

Maa poole liikumisel Päikese vahetust lähedusest (tähendab, täht peaks nagu Päikese taga asuma). Seejuures peab kiir kõrvale kalduma. Kõrvalekalde suurus tuleb ära mõõta, ja katse ongi tehtud.

Vajalikku hetke, mil tähelt tulev kiir möödub Päikese lähedalt, on kerge leida: meie päevane valgusallikas liigub ju pidevalt liikumatute tähtede foonil. Tähendab, piisab, kui leida sobiv silmapilk, mil mingi täht asub just päikeseketta serva juures. Siis peab ka tähelt lähtunud kiir «tundma» Päikese mõju.

Kõik on hea, aga kuidas küll märgata nõrka tähekiirekest Päikese pimestavas kiirtejoas? Vaevalt on see üldse võimalik. Noh, aga siis on kogu katse võimatu. Küll on nukker!

Kuid loodus tuleb veel kord appi teadlase juurdlevale mõistusele. Ta korraldab asja nii, et kõige vajalikumal hetkel, mil tähekiir möödub Päikese ligidalt, «lülitub» see ülivõimas valgusallikas välja. Muidugi ei saa Päikest kustutada nagu elektrilampi, kuid selle järgi pole ka vajadust. On küllalt, kui varjuda tema eest mingi katte, kas või peopesa taha. Selliseks gigantseks katteks sai... Kuu!

Kui Kuu asub täpselt Maad ja Päikest ühendaval joonel ja tõkestab päikesekiirte tee meie planeedini, siis saabub teadupärast päikesevarjutus. See ongi too kauaoodatud hetk, kui võib katsuda kinni püüda nõrka kiirekest, mis tunneb Päikese võimast mõju.

Otsustav katse tehti 30. mail 1919; tol päeval toimunud päikesevarjutus läks igaveseks teaduse ajalukku. Sel korral ei erutanud teadlasi ei suurepärase varjutuspilt, Päikese kroon ega protuberantsid — neid huvitas hoopis muu. Nad tegid ühe foto teise järel, püüdes täpsemalt jäädvustada tähesädemeid tumenenud taeval Päikese lähedal.

Lõpuks olid fotod valmis. Nüüd jäi veel õige vähe teha — võrrelda neid fotosid täpselt samast tähistaeva osast tehtud fotodega, mis on saadud tavalisel ööl, mitte varjutushetkel. Kui Päike ei mõju tähelt Maale jõudvale peenele valguskiirele, siis on kõigi tähtede asend mõlemal fotol ühesugune. Saaks juba rutem võrrelda!

Astronoomidel on käes mõlemad fotoplaadid. Need paigutatakse teineteise peale ja vaadatakse siis vastu valgust. Kõik tähepunktid langevad ideaalselt kokku ja see ei üllata kedagi, ainult Päikesele lähim täht on nagu nihkunud,

tema asend pole plaatidel ühesugune. Tähendab, kiir on kõrvale kaldunud, Päike on oma sõna öelnud. Täht näib nüüd asuvat kiire kõrvalekaldunud osa pikendusel, s. t. teises\* taeva punktis, Päikesest kaugemal. Ehk teisiti, me näeme tähte, kuigi tegelikult on ta juba Päikese taha peitunud.

Ent oodake, ärge rutake relatiivsusteooriat õigeks tunnistama. Peame ju veel kindlaks tegema tähe nihke suuruse varjutushetkel võetud fotol. Mäletate, Newtoni teooria ennustas samuti nihet, ainult kaks korda väiksemat.

Ja alles pärast seda kui nihe osutus võrdseks Einsteini poolt ennustatuga,<sup>1</sup> ohkasid Einsteini pooldajad kergendatult — relatiivsusteooria saavutas kindla, ehkki verevalamiseta võidu. Tol päeval ei närveerinud vaid üksainus tuline relatiivsusteooria pooldaja — selle teooria looja ise. Einstein oli veendunud maailma uut moodi seletava teooria õigsuses.

Kuidas selgitas see teooria maailma ehitust? Milles on teooria olemus?

Oma raamatu lehekülgedel saame sellest vaid õige põgusalt rääkida.<sup>2</sup> Juba noorena (kui mitte lapsepõlves) hakkas Einstein mõtisklema asjade üle, millest me tavaliselt mööda läheme, pidades neid enesestmõistetavaks (näiteks nelja-aastast Einsteini hämmastas kompassinõel, mis pöördus ilma mingi nähtava vahelesegamiseta). Kas just see omadus «imestada» ei eristagi tõelist geenius tavalisest inimesest? Einstein küsis endalt korduvalt: Miks kõik kehad Maal langevad ühesuguse kiirendusega?

Tõepoolest, kui õhutakistus kõrvaldada (näiteks paigutada keha vaakuumi), siis ei mõju tema langemiskiirusele ei mass, elektrilaeng, keemiline koostis, füüsikaline ehitus, geomeetriline kuju, mõõtmed ega teised keha iseärasused. Alati, kõigil juhtudel, kasvab langemiskiirus igas sekundis umbes 10 m/s võrra. Miks? Einsteinile tuli pähe julge

<sup>1</sup> Einsteini järgi on kiire kõrvalekaldumine 1,75 kaaresekundit, see on nurk, mille alt kopikane münt paistab umbes 1800 m kauguselt! Vähe, aga enam kui küllalt, selleks et seda mõõta ja et see osutunuks just niisuguseks, mitte aga kaks korda väiksemaks. Rangelt öeldes osutus katsest saadud nurga väärtus isegi umbes 20% võrra suuremaks teoreetilisest ja seda pole seni veel seletada suudetud.

<sup>2</sup> Nende jaoks, kes on huvitatud üldrelatiivsusteooriast, võib soovitada populaarteaduslikke raamatuid: M. Gardner «Relatiivsusteooria miljonitele», «Valgus» 1968 ja H. Öiglane «Vestlus relatiivsusteooriast», Eesti Riiklik Kirjastus 1958 ja 1965.

mõte: võib-olla sellepärast, et külgetõmbejõud ei olene üldse keha enese, vaid ainult ruumi omadustest, kus keha langeb?

Või veel: füüsikas on tegu kahe täiesti erineva massi mõistega. Ühel juhul on mass keha inertsiooni mõõduks, ta määrab, millise kiirenduse saab keha antud jõu mõjul.<sup>1</sup> See on nn. inertne mass. Teisel juhul määrab mass jõu, millega keha Maa (või üldse mõne teise keha) poole tõmmatakse; tuletage meelde Newtoni seadust. See on nn. gravitatsiooniline ehk raske mass. Mõisted on täiesti erinevad; õigupoolest on ajalooliselt nii kujunenud, et mõlemal juhul kasutatakse sama terminit «mass», kuid võinuks ka teisiti olla. Miks aga mõlemad massi väärtused ideaalselt võrdsed on? Kui palju teadlased ka ei katsetanud, selleks et nende suuruste vahel kas või pisimatki erinevust leida, jäi tulemus alati samaks — massid on ühesugused (viimase aja katsetes ei saa viga olla üle sajamiljardiku). Miks? Einstein arutles: võib-olla tegelikult polegi kahesugust massi olemas, vaid on üksainus mass? Kuid siis peavad ka erinevad nähtused — gravitatsioon ja inerts — sisuliselt üks ja sama olema, ainult avaldumisvormid on erinevad.

Ja lõpuks, kas just sel põhjusel ei saa jõu mõju välist ilmingut — kiirendust — kuidagi eristada raskusjõu mõjust. Kui inimene asub lendavas raketis (või kui soovite, ka tavalises liftis), siis ei saa ta kuidagi kindlaks teha, mis on juhtunud: kas kadunud raskusjõud põhjustas kaalutu oleku tekke või lendab rakett vabalt, nii et mootorid ei tööta (lifti tross katkes), ja kaaluta olek tekkis just sellepärast. Sama käib ka üleslennu aja, s. t. ülekoormuse kohta, kui kaal kasvab mitmekordselt. See periood on seotud raketi kiirendamisega (õeldu kehtib ka lifti puhul), kuid just sama tajuks kosmonaut ka näiteks Jupiteril, kus gravitatsioon on tunduvalt suurem. Ja Einsteinil tugevnes veendumus, et õigupoolest on raskus ja inerts üks ning sama nähtus, mis ei olene mitte keha enese omadustest, vaid mingist ruumi iseärasusest, kus keha asub.

Nii sündis üldrelatiivsusteooria juhtidee, mis ei selgitanud gravitatsiooni mitte mingisuguse massiivsete kehade — Päikese, Maa jt. poolt mõjuva erilise jõuga, vaid ruumi

---

<sup>1</sup> Newtoni teise seaduse järgi on jõud võrdne kiirenduse ja massi korrutisega.

iseärasustega selliste kehade lähedal. Esmakordselt suutis teadus seletada raskuse olemust, päritolu. Absoluutne enamik teadlasi kaldub niisugust selgitust vaieldamatuks teaduslikuks tõeks, loodusetunnetamise läbitud etapiks pidama.

Mis siis juhtub ruumiga massiivsete kehade lähedal, milline ruumi omadus avaldub gravitatsioonina?

Detailselt sellest siinkohal rääkida ei saa — üldrelatiivsusteooriat iseloomustab erakordselt keeruline matemaatiline aparatuur. Asja olemus on aga järgmises. Nagu teada, arvasid Galilei ja Newton, et kui keha liigub vabalt, inertsil mõjul, siis on liikumine ühtlane ja sirgjooneline. Loomulikult on vaba liikumine teoreetiliselt saavutamatu — pole ju universumis piirkonda, kuhu ei tungiks gravitatsioon; selle mõju levib igas suunas tõkestamatult. Täheleatava liikumist kosmoses hiiglasuurel kaugusel tähtedest võib ainult ligilähedaselt vabaks pidada (seepärast nimetaski Tsiolkovski niisugust kosmilist ruumi vabaks): gravitatsioon on seal sedavõrd nõrk, et teda ei pruugi praktiliselt arvestada.

Einsteini järgi on ühtlane ja sirgjooneline vaba liikumine teoreetiliselt teostamatu just samal põhjusel — kõikjal mõjub gravitatsioon. Muidugi ei seo Einstein gravitatsiooni mõju mitte mingi erilise jõu ilmnemisega, vaid ruumi omaduste muutumisega, kuid vabas ruumis on niisugune omaduste muutumine tühiselt väike. Newton aga eeldas, et on olemas abstraktne, teoreetiline võimalus selleks, et eksisteerib ruum, kus pole üldse materiat ja gravitatsioon puudub isegi teoreetiliselt, seal oleks inertsiaalne liikumine tõepoolest ühtlane ja sirgjooneline. Einstein pidas seda printsiipiaalselt võimatuks. Tema teooria järgi ei saa materia ilma ruumi ja ajata üldse eksisteerida. Seepärast vastaski Einstein kord ühe reporteri küsimusele, milline on relatiivsusteooria olemus kõige lühemalt väljendudes, järgmiselt: «Varem oletati, et kui universumist kaoks kogu materia, siis aeg ja ruum säiliks. Relatiivsusteooria väidab, et koos materiaga kaoks ka ruum ja aeg.»

Loomulikult on vaba liikumine vabas ruumis, tähtedest kaugel, praktiliselt eristamatu liikumisest Newtoni järgi, s. t. sirgjoonelisest ja ühtlasest liikumisest. Kuid massiivsetele kehadele lähenemine muudab ruumi omadusi selliselt, et vaba liikumine ei toimu mitte enam sirget mööda

ja muutumatu kiirusega, ehkki kehale endist viisi ei mõju mingid jõud. Lihtsalt ruumi omadused on teistsugused, raskusväljas on ruum Einsteini sõnade järgi kõverdatud, õigupoolest see kõverdumine ongi gravitatsiooni avaldumine, gravitatsioon ise.

Ruumi kõverdumist piltlikult ette kujutada on võimatu — saab kõverdada pinda, aga... ruumi?! Ja siiski kirjeldavad relatiivsusteooria võrrandid täpselt niisugust ruumi omaduste muutumist. Kui lihtsana tundub sellega võrreldes Newtoni ülemaailmne gravitatsiooniseadus!

Muidugi pole asi mitte teooria väljamõeldud keerukuses, vaid looduse seaduspärasuste tõelises komplitseerituses.

Võimalustest, et on olemas kõverdatud ruum, sellest, et reaalse füüsikalise ruumi omadused on just niisugused, mõtles juba ammu enne Einsteini suur vene teadlane N. Lobatševski. 1826. a. töötas ta isegi välja niisuguse ruumi geomeetria, mis põhalikult erineb tavalisest, kooliõpikuis esitatavast Eukleidese geomeetriast, viimane sobib vaid Newtoni «ideaalse» ruumi kirjeldamiseks. Kuid kõik Lobatševski püüded reaalse ruumi «mitte-eukleidilisust» selle kõverdatust katseliselt näidata ebaõnnestusid; tema päevil ei saanudki niisugustel katsetel edu olla. See jäi Einsteini hooleks.

Kui vabalt liikuv keha — kosmoselaev, meteor, footon (kas mäletate ajaloolist päikesevarjutust?) — läheneb mõnele massiivsele taevakehale, näiteks tähele, siis hakkab ta liikuma selle keha raskusvälja üha rohkem kõverdatud ruumis. Tema tee lakkab olemast sirgjoon ja kiirus ei jää enam muutumatuks: liikumistee kõverdub ning sellest saab Kepleri trajektoor — ellips, parabool või hüperbool, olenevalt keha kiirusest ja liikumissuunast tähe ümber. Vastavalt muutub ka kiirus ja sugugi mitte sellepärast, et keha liikumine ei ole enam vaba, et talle hakkab mõjuma jõud, nimelt raskusjõud. Ei, sellist jõudu pole olemas; kõverdatud ruumis toimub vaba liikumine lihtsalt teisiti, sirged uues geomeetrias ei sarnane enam endiste sirgetega — niisugused on selle geomeetria iseärasused.

Maa liigub Päikese gravitatsioonivälja poolt kõverdatud ruumis vabalt, inertsil mõjul; Kuu liigub niisamasuguses kõverdatud ruumis ümber Maa jne. Mida lähemal massiivsele kehale, seda rohkem kõverdatud on ruum, seda tugevam on raskusväli. Einsteini võrrandid viivad prakti-

liselt samadele Kepleri orbiitidele ja liikumiskiirustele nagu Newtoni seaduski, niisugune tingimus on loomulikult kohustuslik igale gravitatsiooniteooriale.

Tõsi, kokkulangemine pole täielik. Ühe erinevuse saime teada siis, kui oli juttu Merkuuri periheeli pöörlemisest. Sel juhul osutus Einsteini teooria täpsemaks. On teisigi ebaolulisi lahkuminekuid, aga neid on just väiksuse tõttu väga raske katseliselt kontrollida. Relatiivsusteooria järgi oleneb mingi keha gravitatsiooniväli ka tema enese liikumisest, näiteks pöörlemisest. Seni pole katsega õnnestunud kindlaks teha, kas Einsteini teooria on selles osas õige — mainitud «teisejärguline» efekt on liiga väike.

Seepärast on tänapäeva gravitatsiooniõpetuses kujunenud vägagi omapärane situatsioon. Einsteini teooria, millel on tohutu suur printsiipiaalne tähtsus, mis tunnetab maailma uut moodi ja sügavamalt, mis kujutab endast õigupoolest erakordselt ranges vormis ülesehitatud hiiglaslikku teaduslikku hoonet, toetub väga väikesele eksperimentaalsete kinnituste baasile. Tuleb välja nagu teaduse pilvelõhkuja kanajalgadel.

Ümbritsev maailm ei anna teadlastele võimalust teha otsustavaid katseid: tegelikult ammendavad eespool toodud andmed selles suhtes kõik teaduse saavutused. Pole midagi imestada, et teadlased otsivad energiliselt uusi võimalusi ja uurivad hoolikalt läbi iga vastava seda laadi ettepaneku.

Mõningad lootused on seotud kosmonautika tormiliste edusammudega: kosmoselaevade pardalt võib saada üsna hinnatavaid andmeid ka relatiivsusteooria kontrollimise seisukohalt.

Vaevalt lugeja pärast kõike öeldut veel imestab, et kui üsna hiljuti, 1963. a., avastasid astronoomid täiesti uut tüüpi taevakehad, mis lubavad eredat valgust heita üldrelatiivsusteooriale, siis tekitas see hiiglasuurt huvi kogu maailma teaduses. Üldise arvamuse järgi oli see suurima teadusliku tähtsusega avastus mitme viimase aasta jooksul.

«Triumfi» süüdlaseks osutus raadioastronoomia, mille tormiline areng viimase kahe aastakümne jooksul on vanima teaduse — astronoomia — sõna otseses mõttes täiesti ümber kujundanud.

Kui astronoomid hakkasid universumit uurima taevakehade kiirguse põhjal niihästi elektromagnetlainete

spektri kitsas nähtavas osas kui ka tunduvalt laiemas raadiodiapasoonis, siis muutus universumi pale nende jaoks täiesti teiseks. Kõrge tundlikkusega raadioteleskoobid, mille mõõtmed ületasid võrreldamatult tavaliste optiliste teleskoopide mõõtmeid, suutsid pilku heita tunduvalt sügavamale kosmosesse, avastada kosmoseavarustes palju uusi, ebatavaliste omadustega vaatlusobjekte.

Kuid kindlasti kõige kummalisemad ja salapärasemad olid 1963. a. avastatud raadiokiirguse allikad, mis said nimeks ülitähed ehk kvasarid. Avastuse algus kuulub õieti 1960. aastasse, kui radioastronoomid hakkasid täpsustama mõningate kosmilise raadiokiirguse punktallikate (s. t. väga väikeste nurkmõõtmetega kehade) asukohti. Need allikad olid kantud vastavasse registrisse.<sup>1</sup>

Asendi täpsustamine on erakordselt vajalik just seetõttu, et katsuda kindlaks teha, milline taevastest objektidest on nimelt raadiokiirguse allikaks. Kahjuks pole niisugune raadiokiirguse allikate samastamine (nagu ütlevad astronoomid) optiliselt nähtavate objektidega sugugi lihtne asi. Raadioteleskoobid ei võimalda määrata kosmilise raadiokiirguse allika asukohta vajaliku täpsusega, aga nähtavaid objekte on iga raadiokiirguse allika läheduses nii palju, et võib kergesti eksida ja raadiokiirguse hoopis «süütu» tähe või galaktika arvele panna. Seejuures ainult täpne samastamine võimaldab objekti olemust ja iseärasusi uurida tavalise ning radioastronoomia ühiste meetoditega.

Kui nelja allikat (need kuulsaks saanud numbrid on 3C-48, 3C-286, 3C-147 ja 3C-273) õnnestus samastada üsna nõrkade tähekestega, siis otsustasid teadlased kohe — oli see ju iseenesest tekkiv ja kõige loomulikum oletus —, et neil on tegemist mingi nelja tähega meie Galaktikast, kuhu kuulub üldkokkuvõttes 120 miljardit tähte. Kuid siis tulid ilmsiks veidrad asjaolud. Ilmnes, et nende tähtede optiline spekter — võimas uurimisvahend astronoomi kätes — on kuidagi arusaamatu. See ei sisaldanud üldse näiteks tähtede kohustuslikke vesinikujooni, aga olemasolevaid jooni teadlased ei tundnud — need ei vastanud ühegi tuntud aatomi «normaalsele» spektrile.

<sup>1</sup> See on kosmilise raadiokiirguse nn. kolmas Cambridge'i kataloog. Kõiki kiirgusallikaid tähistatakse seal järgmiselt: algul number 3 ja täht C (s. t. 3. Cambridge'i), aga sellele järgneb sidekriips koos allika järjekorranumbriga, näiteks 3C-48.

Ja alles 1963. a. õnnestus mõistatada saladuslike spektrite olemust. Seda tegi noor hollandi astronoom M. Schmidt. Tuli välja, et need on . . . kõige tavalisemad spektrid, ainult kiirgusallikad eemalduvad Maast nii kiiresti, et kõik kiirussagedused on Doppleri efekti tõttu tugevasti vähenenud, s. t. spekter on nihutatud punase osa poole. Kiirgusallikate «põgenemiskiirused» osutusid kolossaalseteks: alates 50 000 km/s (3C-273) kuni 180 000 km/s (3C-286).

Avastus sõna otseses mõttes vapustas teadlasi, selles oli niipalju ootamatut. Hästi tunti «põgenevaid» galaktikaid, aga siin polnud tegu ju galaktikate, vaid tähtedega — midagi niisugust polnud veel märgatud. Kui tähtede kiirus allub neilesamadele seadustele mis galaktikate kiirusele, s. t. kasvab võrdeliselt kaugusega Maast, siis annab tähtede kolossaalne kiirus (60% valguse kiirusest!) tunnistust niisama kolossaalsest kaugusest, kus need tähed asuvad. Arvutused näitasid, et see vahemaa ulatub 6—7 miljardi valgusaastani, mõnede andmete järgi isegi 10 miljardi valgusaastani<sup>1</sup>, s. t. saladuslikud radiokiirgusega tähed on tuntud objektide seast üldse kõige kaugemal.

Kuid siitpeale «veidrused» alles algasid. Millised peaksid välja nägema need ebatavalised tähed, selleks et nende optiline ja radiokiirgus Maale jõuaks, et astronoomid neid näha ja «kuulda» võiksid? Arvutused näitasid, et sellised tähed peaksid helendama nagu triljonid ja kümned triljonid Päikesed korraga, nad on 100 korda heledamad kogu meie hiiglaslikust Galaktikast! Missugune enneolematult suur täht . . . Teadlased aga arvasid varem, et looduses ei leidu tähti, mille mass ületaks 100 Päikese massi, nad pidasid taoliste tähtede olemasolu isegi teoreetiliselt võimatuks!

Kuid võib-olla kõige vapustavam oli nõukogude ja ameerika teadlaste avastus (teated sellest avastusest ilmusid juhusliku kokkulangemise tõttu mõlemad ühel ja samal

---

<sup>1</sup> Nõukogude teadlase I. Sklovski arvates eemalduvad kiirgusallikad 3C-196 kiirusega, mis on võrdne  $\frac{2}{3}$ -ga valguse kiirusest (s. t. 200 000 km/s), võib-olla veelgi suurem, kuni 85% valguse kiirusest. Viimaste andmete järgi ulatub allika 3C-9 eemaldumiskiirus kuni 80 protsendini valguse kiirusest ehk 240 000 km/s; niisugusel juhul muudab spektri punanihe nähtavaks juba ultravioletse kiirguse. Selliste kiirustega liikuvate allikate kaugus peab olema 10—12 miljardit valgusaastat. Kättesaadava universumiosa piirid laienevad järjest.

päeval — 9. aprillil 1963 — nii Nõukogude Liidus kui ka Ameerika Ühendriikides). Tuli välja, et mõned saladuslikest tähtedest... vilguvad! Muidugi polnud see tavaline tähtede vilkumine, mille põhjuseks on kiirte läbimine k Maa atmosfäärist: tähed on tõepoolest kord heledamad, kord nõrgemad, kusjuures need heleduse muutused osutusid küllalt korrapärasteks ja üsnagi tugevateks. Nii näiteks oli tähe 3C-273 tugeva vilkumise periood 13 aastat, aga sellega liitusid nõrgemad ja sagedamad vilkumised perioodiga mõni ööpäev.

Kuid miks kutsus see vilkumine astronoomidel esile tõsise šoki? Seletus on lihtne. Kui täht vilgub, muudab oma heledust, siis järelikult on kiirgusallikaks tõepoolest täht — ei saa ju miljardid Galaktika tähed vilkuda ühel ajal, unisoonis? Tähe mõõtmed ei saa ka eriti suured olla, sest ükski tähe sisemuses toimuv protsess, mis viib tema heleduse muutumisele, ei saa levida valguse kiirusest suurema kiirusega — selline on erirelatiivsusteooria kõigutamatu järeldus.

Et heleduse kõikumise periood on teada, siis on sellega määratud ka niisuguseid kõikumisi esilekutsuva protsessi levimise kestus, järelikult ka tähe maksimaalsed mõõtmed. Tuleb välja, et tähe läbimõõt ei saa ületada ühte valgusnädalat, s. t. umbes 120 miljardit kilomeetrit. Muidugi on see vahemaa mõõtmatuli väiksem galaktikate mõõtmetest (näiteks meie Galaktika läbimõõt on peaaegu 100 000 valgusaastat), kuid tähtede jaoks ikkagi tohutult suur. On ju selline täht 100 000 korda suurem Päikesest, tema mõõtmed ületavad mitmekordselt päikesesüsteemi omad! Mis siis imestada, et ilmus termin «ülitäht», sageli aga öeldakse «kvasar» ehk «kvaasitäht», kriipsutades sellega alla, et vaatlusalune objekt erineb juba vägagi palju loendamast hulgast tavalistest tähtedest.<sup>1</sup>

Nüüd saigi teadlastele selgeks, et kui kvasarid kujutavad endast suhteliselt väiksesse ruumiossa suletud hiiglaslike ainekogumeid massiga kümneid ja sadu miljoneid Päikesi, siis peavad nad looma ka ebatavaliselt intensiivse

---

<sup>1</sup> 1965. a. avastas ameerika astronoom Allan Sandidge uued kummalised moodustised taevas, mida ta nimetas «kvasarite galaktikateks». Need erinevad kvasaritest selle poolest, et on võimsateks kiirgusallikateks nähtavas spektriosas, kuid raadiokiirgust registreeritud ei ole. Niisugused moodustised on omapärased «raadiovaiksed kvasarid».

gravitatsioonivälja. Ruum kvasarite lähedal peab olema erakordselt tugevasti kõverdatud. See aga ongi just too kauaoodatud juhus, mil Newtoni seadus ei kõlba ja astub jõusse üldrelatiivsusteooria. Lõpuks leiti universumis koht sellelegi teooriale — teooria lakkas avaldumast igasugustes tühistes sekundaarsetes efektides ja astus tema jaoks sobivale esiplaanile. Õppida tundma kvasareid — nende sündi, neis toimuvaid protsesse, kogu nende evolutsiooni — pole tavaliste, klassikaliste teaduslike ettekujutuste põhjal võimalik. Kvasarite ebatavaliselt tugev gravitatsiooniväli loob kvalitatiivselt uued füüsikalised tingimused ja tugevat aegruumi kõverdumist arvestamata siin enam läbi ei saa. Gravitatsioon annab enda olemasolust teada nii ebatavaliselt valju häälega, et teadlase uurimisvahendiks võib olla ainult üldrelatiivsusteooria, mis käsitleb just niisuguseid juhte.

Eelkõige puudutab see küsimust, kust ammutavad kvasarid oma kolossaalse energia, mida nad kiirgavad? Seda probleemi pole teadus seni veel lahendada suutnud — hüpoteese on ohtrasti, kuid kõik nad on sedavõrd ebatavalised, et ühtki neist ei juleta eelistada. Muide, pole midagi imestada, et püstitatakse aina eksootilisemaid hüpoteese — niisugune on õigupoolest juba probleem, mida nad peavad lahendama.

Otsustage ise. Ülitähel, mis helendab nagu 100 galaktikat korraga, on koguenergia ligikaudu  $10^{60}$  ergi. Sellist energiat pole ühelgi teisel teadusele tuntud taevakehal. Päikese energiavaru on teadlastele hinnangute järgi kõigest  $10^{33}$  ergi — kogu tolle gigantse «tuumareaktori» energia on kvasari energiast väiksem  $10^{27}$ , s. t. miljard miljard miljardit korda! Isegi kogu meie hiiglasuure Galaktika energia on  $10^{16}$  korda väiksem kui ühelainsal kvasaril. Selle energia on võrdne miljoni Päikese aine kogu potentsiaalse energiaga (kas mäletate,  $E=mc^2$ ?). Miljon Päikest peab tervenisti annihileerima, selleks et tekiks vajalik energiakogus! Kuid kvasaril annihilatsiooni ei toimu. Kust võtab ta siis oma energia, mis on suurem isegi aine kogu potentsiaalsest energiast?

Muide, mitte ainult kvasarid ei seadnud teadlaste ette probleemi, millistest tundmatutest allikatest pärineb kiirataav hiiglaslik energia. Veidi varem tekkis seesama küsimus 1952. a. avastatud nn. raadiogalaktikate puhul ega ole praeguseni lõplikult lahendatud. Mõningatel juhtudel

ületab nende galaktikate raadiokiirgus suuruselt isegi kõigi galaktikasse kuuluvate tähtede optilise kiirguse.

Nõukogude teadlased V. Ginzburg ja I. Šklovski püstitasid hüpoteesi, et raadiokiirguse põhjuseks on ülikiired, nn. relativistlikud elektronid. Kui sellised elektronid võimsasse magnetvälja satuvad, siis saavad nad kiirenduse, nagu see juhtub võimsates kiirendites — tuumafüüsika laboratooriumide sünkrotronides; galaktika muutub omapäraseks kosmiliseks osakeste kiirendiks. Seejärel kiirgavad elektronid mingisuguse sagedusega kvandi — olgu siis radio-, nähtava valguse või gammakiirte kvandi, see oleneb elektroni ja välja energiast — ning pidurduvad: osakeste kiirus väheneb jälle. Niisugust kiirgust nimetatakse magnetpidurduslikuks ehk sünkrotronikiirguseks. See hüpotees on kaasaja teaduses üldise tunnustuse leidnud. Tõenäoliselt on ka kvasari raadiokiirguse tekkemehhanism samasugune. Aga see, kust ilmuvad relativistlikud elektronid, mis viib neid meeletu, valguse kiirusele lähedase kiiruseni, on seni veel ebaselge.

Üks hüpoteesidest põhineb kuulsa nõukogude astronoomi V. Ambartsumjani teoreetilistel kaalutlustel. Selle järgi vabaneb vajalik energia hiiglaslike kosmiliste katastroofide — galaktika tuuma, s. t. galaktika keskosas asuva ülimalt tiheduse keha plahvatuste tulemusena. Plahvatus võibki olla raadiogalaktika enese alguseks. On ju kindlalt tõestatud, et intensiivse raadiokiirguse allikateks on nn. supernoovad. Üliuue tähe ehk supernoova süttimisel, mis kujutab endast ebatavalise jõuga plahvatust, kasvab tähe heledus kiiresti sadu miljoneid kordi, nagu juhtus näiteks 1054. a. supernoovaga Sõnni tähakujus (selle fikseerisid kaks astronoomi — hiinlane ja jaapanlane). Pärast plahvatust tekkinud Krabikujuline udukogu — purunenud tähe jääk — on üks kõige võimsamaid teada olevaid kosmilise raadiokiirguse allikad. Võib-olla toimub sama protsess ka raadiogalaktikates, ainult tunduvalt suuremas ulatuses?

Ja tõepoolest, tolsamal «saagirikkal» 1963. a. fotografeerisid astronoomid nähtust, mille nad nimetasid galaktika M-82<sup>1</sup> plahvatuseks. See oli suurim plahvatus, mida kunagi on teleskoobis jälgitud. Galaktika M-82 asub meist 10 miljoni valgusaasta kaugusel. Saadud fotol on selgesti näha plahvatus, mis toimus galaktika keskosas: igasse

<sup>1</sup> Täht M näitab, et galaktika asub nn. Messier' kataloogis numbril 82 all.

külge paiskuvad gaasijoad, mille kiirus ulatus sadade kilomeetriteni sekundis ja pikkus tuhandettesse valgusaastatesse, ning uskumatult võimsa plahvatuse poolt tekitatud keerised. Laiali lendavate masside kiiruste mõõtmise näitas, et foto on tehtud umbes poolteist miljonit aastat pärast plahvatust, nii et ilmselt toimus plahvatus 11,5 miljoni aasta eest. Plahvatuse jõud oli kohutav — see vastab 6...8 miljoni supernoova üheaegsele purskele. Korraga plahvatasid miljonid päikesed galaktika tsentris? Kas poleks siis õigem oletada, et plahvatas galaktika tuum, kus V. Ambartsumjani oletuse järgi on aine erilises ülitihedas, «tähe-eelses» olekus?

Võib-olla pole ka kvasar mitte midagi muud kui kaugel galaktika tuuma plahvatus? Võib-olla see ongi esimene staadium raadiogalaktika moodustumises? Niisugust hüpoteesi toetavad mitmed teadlased.

Kuid veel rohkem on teadlasi, kes jagavad teist seisukohta (nende hulgas ka niisugused suured nõukogude füüsikud, nagu akadeemik J. Zeldovitš, Teaduste Akadeemia korrespondentliige V. Ginzburg jt.). Nemad oletavad, et kvasarid on senitundmatute erakordselt tormiliste gravitatsiooniprotsesside ilmingud universumis, et nende energiaallikaks on gravitatsioonienergia. Nende arvates pole ükski teine energiaallikas looduses küllalt võimas, selleks et kvasarite kiirgust seletada. Niisuguse kiirguse tekitamine on jõukohane ainult gravitatsioonienergiale, ehkki nüüd tuleb revideerida endisi vaateid gravitatsiooni osale universumis. Kuni viimase ajani arvati, et tegelikult on ainsaks tõeliseks kiirgusenergia allikaks maailmaruumis termotuumareaktsioonid.

Kuidas kujutlevad teadlased nii võimsate gravitatsiooniprotsesside kulgu? Nende arvates on selliste protsesside aluseks gravitatsiooniline kollaps, mida mainiti juba kuuendas novellis. See ebatavaline termin ilmus suhteliselt hiljuti ega lahku viimasel ajal enam erialaste teaduslike ajakirjade veergudelt. Kui gravitatsioonilise kollapsi teooria püstitati, siis näis, et jutt on mingist puhthüpoteetilisest, võib-olla üldse mitte tõenäolisest juhusest. Kuid seejärel avastati kvasarid nagu spetsiaalselt selleks, et loodud teooria saaks praktilise kehastuse. Muidugi pole gravitatsiooniline kollaps seni veel kaugeltki lõpuni läbi uuritud, see jääb endist viisi üheks looduse kõige põletavamaks mõistatuseks.

Gravitatsioonijõudu iseloomustab see, et anna talle vaid vaba voli, ära sea talle vastu teisi jõude, ja ta viib oma töö vältimatu loogilise lõpuni — kogub kõik graviteeruvad massid üheks tervikuks. Võtame näiteks elastsusjõu: kui see tööle hakkab, siis ta ilmtingimata nõrgeneb. Meenutagem kas või kõigile tuntud ragulkat: tarvitseb vaid kumm lahti lasta ja pingutav jõud langeb kiiresti nullini. Hoopis teine asi on gravitatsiooniga. Kui kivi mäetipult veerema pääseb ja raskusjõu mõjul kiiresti langema hakkab, siis mäestikujõe sāngi segava mõju puudumisel kihutaks ta otse Maa keskpunkti välja. Ja mida ligemale tee lõpp-punktile, seda tugevam (üldse mitte nõrgem!) on külge-tõmme, seda suurem on kivile mõjuv jõud.

Just raskusjõu mainitud omadus on tegelikult gravitatsioonilise kollapsi aluseks. Kui Päike ja teised tähed säilitavad üldjoontes hiiglasliku gaaskera kuju, siis ainult sellepärast, et raskusjõule mõjuvad tähe sees vastu teised jõud — gaaside rõhumine ja kiirgusrõhk. Kui neid ei oleks, siis toimuks piiramatu kokkutõmbumine — nähtus, mille teadlased ongi kollapsiks nimetanud. Protsess kulgeks väga kiiresti, näiteks algtihedusel  $1 \text{ g/cm}^3$  võtaks see aega kõigest ... pool tundi.

Kuuendas novellis oli juba juttu tähtede erinevast lõppsaatusest, mis oleneb nende massist. Teadlased arvutasid välja, et kui tähe mass (aga enne seda — hiiglasliku hõrendatud gaasipilve mass) on väga suur, suurusjärgus miljonid Päikese massid, siis ei suuda ükski siserõhk võidelda gravitatsiooniga. Ja algabki üha kiirenev kokkutõmbumine: hoogne, katastroofiline tähe langemine «iseendasse», omapärane «vastupidine plahvatus», sisemusse suunatud plahvatus.<sup>1</sup> Just niisugune plahvatus — kvasari kollaps — vabastabki hiiglasliku gravitatsioonienergia, mis miljardite valgusaastate kaugusel avaldub võimsa valgus- ja raadiolainete voona. Tõsi küll, kuidas just vabanev gravitatsioonienergia elektromagnetiliseks muundub, see pole teadlastele veel kaugeltki selge.

Kui Newton oleks teadnud kvasarite ja gravitatsiooni-lise kollapsi eksisteerimisest, siis oleks ta öelnud, et tähe niisugune piiramatu kokkutõmbumine suhteliselt lühikese

<sup>1</sup> Mõningate hüpoteeside järgi võib kollapsile eelneada supernoova plahvatus, kui tähe väliskest paiskub hiiglasliku kiirusega ruumi, sise-osa aga hakkab võimsaks impulsiks olnud plahvatusrõhu toimel kokku langema.

aja jooksul peab vaatleja jaoks avalduma seninägematu pildina täheaine massi kontsentreerumisest tema tsentrisse lõpmatu suure tihedusega ainekogumiks. Kuid Newton oleks eksinud, sest tema teooria ei ole suuteline mainitud protsessi õigesti tõlgitsema: gravitatsiooniväli on siin juba liiga tugev, selleks et ülemaailmne gravitatsiooniseadus õigeks jääks. Siin võib aidata ainult üldrelatiivsusteooria — lõpuks ometi ei saa enam temata läbi! Õigupoolest saab kaasaegse astronoomia päevaprobleeme, nagu kosmiliste kiirte ja keemiliste elementide päritolu, tähtede ning galaktikate evolutsiooni uurida üksnes relatiivsusteoorial põhineva relativistliku astrofüüsika abil.

See teooria viib erakordselt huvitavatele järeldustele, mis puudutavad ka kvasarite saatust. Kollapsi käigus muutub gravitatsiooniväli kokkulangeva tähe ümber üha võimsamaks, tunduvalt tugevamaks kui Newtoni ülemaailmse gravitatsiooniseaduse järgi, tähelähedane ruum kõverdub üha rohkem ja aeg voolab selles ruumis ikka aeglasemalt — me tunneme juba neid vaieldamatuid järeldusi teooriast. Kuid mitte ainult see pole aja aeglustumise põhjuseks.

Tõttikult kvasari sisemusse langevate hõõguvkuumade gaasimasside kiirus kasvab ja muutub relativistlikuks, ligineb valguse kiirusele. Nagu me aga teame, aeglustub seejuures aja kulg — kas mäletate kaksikute paradoksi? Nii näib kokkulangemine välisele vaatlejale üha aeglustuvat, aga tähe enese jaoks toimub pidevalt kiirenevalt. Sekundid tähel muutuvad vaatleja jaoks aastateks ja sajanditeks. Vastupidi, kokkulangeval tähel oleva vaatleja silmade eest mööduks meie vaatleja tulevik väheste sekundite jooksul.

Peagi omandab kokkulangev täht mingi nähtamatu kera kuju, mille suurust on täiesti täpselt ennustanud relatiivsusteooria. Kui tähe raadius saab võrdseks selle kera<sup>1</sup> ehk nn. gravitatsiooniraadiusega, siis kõverdub

<sup>1</sup> Seda nimetatakse Schwarzschildi sfääriks teadlase nime järgi, kes esimesena käsitles seda probleemi teoreetiliselt (1916). Sfääri raadius (gravitatsiooniraadius) on  $GM/c^2$  (siin  $G$  on gravitatsioonikontstant,  $M$  — tähe mass ja  $c$  — valguse kiirus). Maa puhul on gravitatsiooniraadius umbes 0,5 cm, Päikese jaoks 1,5 km, kümnete miljonite Päikeste massiga võrduva kvasari korral — Maa orbiidi raadius, s. t. umbes 100—150 miljonit kilomeetrit. Hüpotetiliste ülitihedate neutron-tähtede raadius, millest oli juttu kuuendas novellis, ületab 3 kuni 10 korda Schwarzschildi sfääri gravitatsiooniraadiuse. Definitsiooni järgi

raskusväli tähe ümber sedavõrd, et lakkab lihtsalt kerast mingeid signaale jätkuva kollapsi kohta välja laskmast. Ei raadiolaineid, valguskiir ega ükski fantastiline ülivõimas tähelaev ole suuteline kokkulangevast tähest välja tungima, läbi nähtamatu gravitatsioonikera välja jõudma — niisugune on raskusvälja surmahaare. Teine kosmiline kiirus, mida vajatakse raskusjõu ületamiseks ja mis Maa puhul on teatavasti 11,2 km/s, saab sel juhul võrdseks... valguse kiirusega. Valguse kiiruseni aga jõuda ei saa. Kokkulangeva tähe saatus muutub sõna otseses mõttes tema enda asjaks, sellest ei saa keegi enam mitte midagi teada.<sup>1</sup>

Välise vaatleja jaoks ei jõua kokkulangev täht kunagi gravitatsioonisfäärini. Aja kulg aeglustub üha rohkem ja vaatlejale näib, et tähe raadius ligineb gravitatsiooniraadiusele lõpmata kaua ja aeglaselt — täht nagu tarduks. Me ei saa näha täiesti kokkulangenud, «endasse tõmbunud», gravitatsioonisfääri sisemusse sulgunud tähti — juba enne seda muutuvad nad nähtamatuks. Võimalik, et selliseid nähtamatuid tähti pole universumis sugugi vähe. Ainult tähe hiiglaslik külgetõmbejõud ja teda ümbritsev võimas magnetväli võivad vaatlejale (tuleviku tähelaeva kaptenile) jutustada sellest, et ta kohtus «peitu pugunud», kokkulangenud kvasariga.

Teadlastel on teisigi hüpoteese kvasarite, nende suurejoonelistele ja uudishimulikeks tegevate loodusnähtuste olemuse kohta. Näiteks nõukogude teadlane K. Stanjukovitš ei välista võimalust, et kvasarid on kahe... elementaarosakese kokkupõrke tagajärg. Nähtamatud ultramikroskoopilised osakesed — ja üligigantne täht? Mis seos nende vahel võiks valitseda?

Kui aga needsamad ultramikroskoopilised osakesed liiguvad hiiglasuure, peaaegu valguse kiirusega, s. t. on samal ajal ka ultrarelativistlikud osakesed, siis peitub neis kolossaalne energia. Järelikult osutub ka osakeste mass fenomenaaalselt suureks — valguse kiirusele lähenemisel kasvab ju osakeste mass piiramatult (on teil meeles novell

on iga keha gravitatsiooniraadius selline, et vastavate mõõtmeteni kokkusurutud keha koguenergia  $Mc^2$  on võrdne tema gravitatsioonienergiaga  $\frac{GM^2}{R}$ .

<sup>1</sup> Huvitav, et mõningate oletuste kohaselt võivad samasugused aegruumi iseärasused valitseda ka elementaarosakeste sees! Raskusjõud seob pealtnäha niivõrd erinevaid tingimusi...

sellest imepärasest kiirusest?). Kui nüüd kaks niisugust osakest juhuslikult kokku põrkavad, siis, nagu väidab teooria (muide, selle seisukoha esitas nõukogude teadlane D. Blohhintsev), võib selle tagajärjeks olla tohutu hulga uute osakeste moodustumine, nende hulgaline «sünd» koos kokkupõrkavate osakeste energia eraldumisega. Kahe mingisuguse ultrarelativistliku prootoni kokkupõrge võib viia nii tähtede kui ka . . . tervete galaktikate tekkimisele! Võib-olla ongi kvasar ühe niisuguse fenomenaalse kokkupõrke tulemus? Aga võimalik, et kõik nähtavad «laiali-jooksvad» galaktikad, kogu meie Metagalaktika on sama-suguse kujuteldamatu kokkupõrke tagajärg?

Loomulikult on kõik need vaid teadlaste hüpoteesid ja kui nad eriliselt tähelepanu köidavad, siis sellepärast, et kõnealused looduslikud protsessid on juba liiga ebatavalised ja grandioossed. Ja veel sellepärast, et neid uurides tungib teadus üha sügavamalt gravitatsiooni saladusse, looduse ühte kõige varjatumasse mõistatusse.

Gravitatsioonis peitub aga veel ohrasti tundmatut. Võtame näiteks kas või gravitatsioonilainete probleemi, mis viimasel ajal on teadlaste tähelepanu köitnud. Sellest küsimusest oli juba juttu käesoleva raamatu teises novellis. Üheks järelduseks üldrelatiivsusteooriast on see, et kõik kehad peavad teatavates tingimustes, näiteks pöörlemisel, kiirgama energiat (ülinõrkade gravitatsioonilainete näol, mis levivad valguse kiirusega. Kas need lained on ka tegelikult olemas? Arvutuste järgi on nad väga väikese võimsusega — kogu päikesesüsteem kiirgab gravitatsioonilaineid üldvõimsusega alla kilovati. Ent mõningates grandioossetes kosmilistes protsessides, näiteks sellesama kvasarite kollapsi puhul, võivad gravitatsioonilained väga võimsaks muutuda. Kuidas neid avastada ning mõõta, selleks et oleks võimalik teooriaga võrrelda? Kuidas rakendada gravitatsioonilained inimese teenistusse näiteks suurepärase potentsiaalse sidevahendina? Kõik mainitud küsimused ootavad veel lahendamist.

Teadlased ei saa leppida ka asjaoluga, et gravitatsioonil on teiste loodusjõudude hulgas niivõrd eriline koht: see on ainus «geomeetrilise» päritoluga jõuväli. Muide, ka Einstein ei olnud sellega päri, viimased 30 aastat oma elust kulutas ta ühtse, harmoonilise maailmapildi loomisele, kus gravitatsioon oleks orgaaniliselt seotud teiste jõududega. Kahjuks ei järgnenud neile püüdlustele edu.

Vaevalt küll loobuvad teadlased jõupingutustest siduda üldrelatiivsusteooriat kvantmehaanikaga. Kas saabki siis leppida sellega, et need kaasaegse füüsika kaks «vaala» jäävad teineteisele võõraks? Õpetlased hellitavad lootust avastada katseliselt gravitatsioonivälja kvandid, nn. gravitonid, leida seni nende pilgu eest peidetud ülitihed seos (nad tahavad sellesse uskuda) mõlema teooria vahel, arvestades salamisi asjaolu, et see seos aitab ühtlasi üles chitada elementaarosakeste teooriat, mis kaasaja füüsikale on nii vajalik.

Pole midagi imestada, et teadlased püüavad visalt lahendada eespool mainitud ja paljusid seni lahendamata gravitatsiooniteooria probleeme, arutavad neid suurtel sümposiumidel ja konverentsidel.<sup>1</sup> Inimese loov geenius ei saa leppida sellega, et tema ettekujutused loodusest on ebaselged. Päevavalgust näevad üha uued ja uued teooriad, hüpoteesid, oletused — katsed seletada seni veel seletamatut.

Ühe niisuguse hüpoteesi püstitas tuntud inglise teadlane P. Dirac, kellest juba rääkisime. See suurepärane füüsik tegi 1938. a. katse seletada tõepoolest kummalist asjaolu.

Selgub, et kui väljendada põhilised füüsikakonstandid (mõnest neist rääkisime meiegi oma raamatus) mikro maailma iseloomustavates aja- ja pikkusühikutes, siis kõik nad jagunevad loomulikult viisil kindlateks dimensioonita rühmadeks, mis erinevad üksteisest kõik  $10^{40}$  korda. Miks? Mispärast on näiteks elektromagnetilise ja gravitatsioonilise vastastikuse mõju jõudude suhe  $10^{40}$  ja miks on samasuguse väärtusega võrdne ka universumi iga? Vaevalt saab seda pidada juhuslikuks kokkulangemiseks. Pole meie praegune epohh ju midagi rohkemat kui juhuslikkus, täiesti meelevaldne kuupäev universumi arengus. Miks siis põhikonstandid osutusid arvuliselt seotuks maailma-ruumi eaga?

Ja Dirac tegi oletuse: kui arvestada, et elektromagnetiline vastastikune mõju ei muutu ajas, siis tuleb teha järeldus, et gravitatsiooniline vastastikune mõju... kahaneb koos universumi eaga kasvuga! Muidu pole ju võimalik

---

<sup>1</sup> Viimane üleliiduline konverents gravitatsiooni alal toimus 1965. a. Tbilisis, samal aastal peeti Londonis IV rahvusvaheline konverents, järgmine aga toimus 1968. a. Nõukogude Liidus.

mõista, miks elektromagnetilise mõju suhe gravitatsioonilisse on  $10^{40}$ , s. t. võrdne maailmaruumi eaga. Niisiis, tuleb välja, et gravitatsioonikonstant muutub aja jooksul väiksemaks, gravitatsioon «vananeb»!

Kuid niisugune gravitatsioonikonstandi muutumine peaks viima tõenäoliselt tagajärgedeni, mida saab kindlaks teha otseste vaatluste abil. Kahjuks, nagu kerge on näha, muutus gravitatsioonikonstant kooskõlas Diraci hüpoteesiga kiiremini kauges minevikus ja hiljem osutus muutumine üha aeglasemaks. Praegu moodustab kahane mine vähem kui kümnemiljardiku aastas. Kas on kuidagi võimalik kindlaks teha niisuguse kahanemise otseseid tagajärgi?

Arvutused näitavad, et gravitatsioonikonstandi taolise kahanemise korral peab maakera diameeter iga aasta kasvama poole millimeetri võrra. Eks sa katsu seda mõõta... Tõsi, mõned geofüüsikud arvavad, et maakera diameeter tõepoolest kasvab pidevalt ja et kauges minevikus oli Maa läbimõõt kaks korda väiksem (teiste teadlaste arvutuste kohaselt on Maa ümbermõõt miljardi aasta jooksul suurenenud kõigest 300 kilomeetri võrra). Üllatav, et niisuguse oletuse korral sobivad kõigi mandrite piirjooned väga täpselt kokku, moodustavad ühtse kontinendi, omapärase «ürgmandri», mis on isegi omaette nime saanud — «panhea».

Võib-olla oli lugu tegelikult nii? Kahjuks saab paljusid tunnuseid, mis viitavad sellele, et maakera paisus veel hiljemgi (ookeanipõhja lõhenemine jne.), seletada ka teiste põhjustega. Sama kehtib Kuu oletatava paisumise kohta.

Vaevalt saab tõsiseks tõendiks pidada faktigi, et inimeste keskmine pikkus, nagu vaieldamatult näitab statistika, suureneb pidevalt — elanikkonna nõudmine suuremate riiete ja jalatsite järele üha kasvab. Nii näiteks on rootslased viimase kahe aastasaja jooksul kasvanud korraga 20 cm võrra, Nõukogude Liidu elanike keskmine pikkus on veerand sajandiga suurenenud 4,5 cm, aga Ameerika Ühendriikides — 3 cm võrra. Muidugi saab seda seletada (ja tõenäoliselt nii ongi õige) teiste põhjustega peale raskusjõu vähenemise.

Gravitatsioonikonstandi väärtuse suurenemine peaks esile kutsuma teisegi nähtuse — kõigi tähtede, sealhulgas ka Päikese heleduse kasvu. Tähtede kiirgus oleneb tuge-

vasti, umbes neljandas kuni seitsmendas astmes, gravitatsioonikonstandi väärtusest (sõltuvalt tähe temperatuurist; Päikese puhul arvatakse, et tuleb võtta seitsmes aste), sest gravitatsioonijõud määrab tähe kokkusurutuse ja seega tema põues toimuvate tuumareaktsioonide iseloomu ning intensiivsuse. Kuid siis pidanuks Päike minevikus talumatult kuum olema, helendama palju tugevamini kui praegu. Keelele kipub küsimus, kas näiteks mitte sellega ei seletu kivisöeajastu soe kliima, mille teadus on usaldusväärsetl kindlaks teinud? Kuid arvutuste järgi pidanuks ookeani temperatuur neil aegadel liiga kõrge olema, selleks et seal oleks saanud elu tekkida — mis elu võib olla keevas vees!...

Üldiselt pole teadlastel küllalt andmeid, selleks et otsustada, kas gravitatsioon oli minevikus tõepoolest tugevam. Nii et Diraci hüpoteesi praegu vahetult kontrollida pole võimalik, selle kontroll seisab veel ees.

Peale Diraci töötasid mitmed teisedki teadlased (ja töötavad ka praegu) välja hüpoteese, kus gravitatsioonikonstanti ei loeta muutumatuks; muide, mõnedes hüpoteesides pannakse kahtluse alla teistegi tähtsate füüsikakonstantide jäävus. Paljudel juhtudel on võimalik niisuguste hüpoteeside peen, kuid siiski realiseeritav katseline kontroll. Nii näiteks eeldab saksa teadlase Jordani hüpotees samuti gravitatsioonikonstandi muutumist, kusjuures vastavalt sellele hüpoteesile on näiteks Merkuuri orbiidi periheli nihe (kas mäletate relatiivsusteooria võidutsemist selle nähtuse seletamisel?) ainult õige veidi, mõne protsendi võrra erinev Einsteini poolt saadud väärtusest. Nihkumiskiiruse mõõtmistäpsuse suurenemine võiks mingil määral heita valgust Jordani hüpoteesi õigsusele.

Üsna hiljuti, 1964. a. tõmbas maailma teaduse tähelepanu endale kahe teadlase — inglise astronoomi F. Hoyle'i ja india matemaatiku D. Narlikari huvitav hüpotees. Säilitades üldrelatiivsusteooria põhiseisukohad (tänapäeval on vähe õpetlasi, kes julgeksid tõsta kätt selle üldtunnustatud teooria aluste vastu), sisaldab uus hüpotees vaieldavate elementide kõrval ka huvitavaid progressiivseid ideid. Sellegi hüpoteesi kohaselt ei jää gravitatsioonikonstant ajas muutumatuks, nagu mõned teised põhilised füüsikakonstandid, muuhulgas ka valguse kiirus. Peamine on uues hüpoteesis see, et massi ei loeta antud keha omadu-

seks, vaid selle määrab kõigi teiste universumi kehade mõju temale.

Idee ise pole uus, kuid uue hüpoteesi abil õnnestus saada võrrandid (mis viivad Einsteini võrranditeni täpselt niisamuti, nagu viimased viivad kindlatel tingimustel Newtoni seaduseni), kust saab välja arvutada gravitatsiooni-konstandi. Nagu teada, sisaldub see konstant nii Newtoni seaduses kui ka relatiivsusteooria võrrandites katses saadud, eksperimendist määratud suurusena. Loomulikult oleks gravitatsioonikonstandi väärtuse teoreetiline määramine väga tõsine edusamm.

Hüpotees võimaldab jõuda teistelegi olulistele teoreetilistele järeldustele; nii näiteks järeldub sellest otseselt, et gravitatsiooniline vastastikune mõju on nimelt tõmbumine — ei Newtonil ega Einsteinil õnnestunud selleni jõuda: nende teooriates on gravitatsioonijõu mõlemad märgid — külgetõmme ja tõukumine — võrdväärised ning -võimalikud. Et toonitada oma hüpoteesi erinevust Einsteini teooriast, tõid autorid niisuguse näite: kui pooled universumi tähtedest kaoksid järsku, siis Einsteini järgi ei juhtuks mitte midagi (ainult vahest kuuta ööd muutuksid pimedamaks), aga nende hüpoteesi järgi muutuks gravitatsioonijõud kaks korda suuremaks.

Mitmeid aastaid on uue gravitatsiooniteooria loomisel töötanud ka nõukogude füüsik professor K. Stanjukovitš. Tema ideed, üldrelatiivsusteooria edasiarendus, on esitatud 1965. a. ilmunud raamatus.<sup>1</sup> Selle hüpoteesi põhjal muutub aja jooksul niihästi gravitatsioonikonstant kui ka mõned teised põhikonstandid, sealhulgas ka need, millest jutustasime eelmistes novellides, nimelt: mass, elementaarosakeste laeng ja Plancki konstant. Põhjuseks on asjaolu, et hüpoteesi looja arvates kiirgavad elementaarosakesed ümbritsevasse ruumi pidevalt gravitatsioonikvante — gravitone, mille tulemusena kaotavad nad oma esialgse energia ja massi. Arvutuste põhjal läheb niisuguse kiirguse tagajärjel igas sekundis gravitatsiooniväljaks üle  $10^{-45}$  g ainet kuupsentimeetri ruumi kohta (gravitoni mass peab olema kaduvväike:  $5 \cdot 10^{-66}$  g).

K. Stanjukovitši poolt saadud võrrandid võimaldavad saada kõik katseliselt kindlaks tehtud üldrelatiivsusteooria efektid ja teha veel uusi, väga olulisi järeldusi. Eriti hin-

<sup>1</sup> Станюкович, «Гравитационное поле и элементарные частицы», изд. «Наука», 1965.

natav on vahest see, et uue hüpoteesi abil õnnestus esmakordselt ehitada sild gravitatsioonikonstandi (muide, nüüd pole see enam konstant) ja mikromaailma füüsikakonstandi vahel. On see ju teadlaste ammune palavaim soov! K. Stanjukovitši hüpoteesi saab katsega kontrollida, ja teadusemaailm ootab kannatamatult seda kontrolli.

Kuid meie ekskurss gravitatsiooniteaduse valdkonda on pikaks veninud ja meil on aeg asuda peaülesande juurde — retkele teistsuguste konstantide maailma, kus seekord on teine väärtus gravitatsioonikonstandil. Kaasajal on see konstant võetud võrdseks  $6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gsek}^2$ . Niisugune väärtus on leitud üsna täpsete katsete varal.<sup>1</sup> Kuid mis meil sellest: hüpoteetilises teistsuguste konstantide maailmas oleme juba harjunud konstantide üldtunnustatud väärtustega täiesti vabalt ringi käima.

Viibime niisiis mailmas, kus gravitatsioonikonstant on täpselt 10 korda suurem. See tähendab, et gravitatsioonikonstandi üldtunnustatud väärtuses on kümne astmenäitaja mitte  $-8$ , vaid  $-7$ . Ongi kõik...

Ongi kõik? Aga kümnekordselt kasvanud gravitatsioonikonstant tähendab, et niisama palju kordi on kasvanud ka kõik külgetõmbejõud looduses. Igaüks meist kaalub kümme korda rohkem. Mitmesajakilogrammiline raskus («raskekaallaste» puhul võib see olla tonn ja rohkemgi) pole jõukohane meie kontidele: liikuda ja isegi seista me ei saa, meie saatuseks on ainult lamada. Kuid isegi sel juhul pole kümnekordistunud ülekoormust võimalik taluda: hästi treenitud lenduritele ja kosmonautidelegi mõjuvad väiksemad ülekoormused ja sedagi vaid lühikese aja jooksul. Tähendab, inimese elu Maa peal osutub võimatuks. Muuseas, ei hävi mitte üksnes inimene, vaid enamik elus-

---

<sup>1</sup> Toodud suurus on standardne ja õigeaks tunnistatud kogu maailmas, see määrati katsetel pendliga Potsdamis aastail 1898—1904. Hiljaaegu tehti Princetoni ülikoolis (USA) katseid gravitatsioonikonstandi määramiseks kehade vaba langemise põhjal vaakuumis; selgus, et eespool toodud konstandi viga ei ületa tuhandikku protsenti. Veel umbes 50 korda täpsemad olid Leningradi füüsikute Agaletski jt. katseid. Konstandi dimensiooni on kerge saada Newtoni seadusest. Huvitav, et mõningates 1964. a. sooritatud katsetes osutus gravitatsioonikonstandi väärtus sõltuvaks... külgetõmbava keha elektrilaengust. Muidugi tuleb neid katseid veel korrata, aga juhul kui nad kinnitust leiavad, siis on neil tõepoolest revolutsiooniline tähtsus — annaksid nad siis ju tunnistust tihedast seosest gravitatsiooni- ja elektromagnetvälja vahel, mida füüsikateoreetikud on seni asjatult otsinud.

organisme — nii loomi kui taimi. Mürinal purunevad sajanditevanused puud, murduvad lindude tiivad. Jäävad ellu vahest lihtsaimad, ainuraksed olendid, ja needki tõenäoliselt pikaajalise evolutsiooni ning uute tingimustega kohanemise tõttu.

Kuid asi ei piirdu ainuüksi meie eneste kaaluga. Purunevad hooned, langevad rivist välja masinad. Maakera tugev kokkutõmbumine kutsub esile ähvardavaid tektoonilisi nähtusi — vulkaanipurskeid, maavärinaid.

Kõik taevakehad, sealhulgas muidugi nii Maa kui ka tema igavene kaaslane Kuu, muutuvad raskemaks. Nüüd ei piisa Kuu tiirlemiskiirusest (see on teadupärast 1 km/s) selleks, et säilitada endist, peaaegu ringorbiiti, mille kaugus Maast on 384 000 km.<sup>1</sup> Kuu hakkab elliptilist orbiiti mööda Maa poole langema ja mõlema taevakeha katastroofiline kokkupõrge osutub vältimatuks. Kuid Maad ei ähvarda üksnes see: meie planeet ise tormab vastu Päikesele, lahkub oma igipõliselt orbiidilt; kui ta ka ei tungi meie päevase valgusallika leegitsevasse sisimasse, siis möödub ta temast sedavõrd lähedalt, et kõik maakera pinnal leiduv aurustub või põleb ära.

Muide, süttimise põhjuseks pole ainuüksi viimane asjaolu. Kasvanud gravitatsioonijõud surub ka Päikese enese kokku, mis muudab järsult temas toimuvate tuumareaktsioonide iseloomu. Mainisime juba, et teadlaste arvutuste järgi peab Päikese kiirus olenema gravitatsioonikonstandi seitsmendast astmest. Teistsuguste konstantide maailmas, kus gravitatsioonikonstant on 10 korda suurem, peab Päikese kiirus kooskõlas mainitud seaduspärasusega kasvama 10<sup>7</sup> korda. Päike hakkab miljoneid kordi tugevamini kiirgama! Kerge on ette kujutada selle tagajärgi. Pole välistatud ka võimalus, et niivõrd järsk temperatuurimuutus Päikese sees teeb temast noova või supernoova, kutsub esile muutusi tuumareaktsioonides, mis omakorda viib kolossaalselt jõulise plahvatuseni. Sel juhul hukkub kogu päikesesüsteem.

Taolised kosmilised katastroofid toimuvad kõikjal universumis. Ja mitte need üksi. Palju kordi tugevnenud gravitatsioon surub halastamatult, raudse haardega üheks tervikuks hiiglaslikke gaasudukogusid, galaktikaid, tähti.

---

<sup>1</sup> Selleks oleks vaja  $\sqrt{10}$  korda suuremat kiirust, s. t. umbes 3,2 km/s.

Suureneb järsult mitmesuguste tähe- ja galaktikaplahvatuste hulk ning intensiivsus, kasvab kvasarite arv, gravitatsiooniline kollaps muutub paljude taevakehade tavali-seks saatuseks. Maailmaruumi läbib igas suunas mitmekordselt tugevnenud kosmiliste kiirte, neutriinode, röntgeni- ja gammakiirte surmatoov voog.

Näete, mis tähendab nullide arvu vähenemine gravitatsioonikonstandis kaheksalt seitsmele.

Nüüd aga kandume jälle teistsuguste konstantide maailma, kus gravitatsioonikonstant pole mitte kasvanud, vaid 10 korda kahanenud.

Muidugi on meeldiv, et saame end hästi kergesti liigutada (kaal on ikkagi 10 korda väiksem!), teha akrobaatilisi hüppeid, mis jätavad varju «kuupealsed» kaadrid teaduslik-fantastilisest filmist, püstitada ennenägematuid spordirekordeid. Kuid vaevalt küll tahaksime kõigi nende võimetega hiilata maailmas, mis neid meile pakub: igas muus osas pole see just eriti mugav maailm.

Gravitatsioonikonstandi vähenemise tõttu suurenevad maakera mõõtmed. tema pinda lõhestavad praod, algavad massilised maavärinad ning vulkaanipursked. Näete, mis välja tuleb: ükskõik kas gravitatsioonikonstant on suurem või väiksem, tulemus on ikka sama — tormiline tektooniline tegevus. Selles pole ka midagi imelikku, sest mõlemal juhul rikutakse maakoore püsivat tasakaalu ja algab tema kihtide ümberpaiknemine kõigi siit tulenevate järeldustega.

Tormilised mäestikujõed lakkavad olemast tormilised, aga laiades stepijõgedes jääb vesi peaaegu seisma. Isegi vihm ja lumi jäävad peaaegu liikumatu linikuna õhku ripuma, tuul kaob tegelikult hoopis. Suits paljudest ahjudest ja katelde küttekolletest ei lähe korstnasse, vaid laotub laiali maapinnale. Et vertikaalsed õhuvoolud muutuvad väga nõrgaks, siis maapinnalähedane õhukiht saastub, hingata on raske, hakkab võimutsema smog (mäletate neljandat novelli?).

Kuid see pole veel kõige kohutavam. Kümme korda nõrgemas raskusväljas muutub endine esimene kosmiline, s. t. ringkiirus juba hüperboolseks. See tähendab, et Maa jääb igavesti ilma mõlemast valgusallikast, nii päevasest kui ka öisest. Kui Kuu kaotamine jätab ilma endiste kuuvalgete ööde võlust, siis hoopis teine asi on Päikesega. Lõputule kosmoserännakule suunduv Maa muutub peagi

elutuks jääkõrbeks. Sama saatus tabab teisigi päikesesüsteemi planeete — päikesesüsteem lakkab olemast.

Muide, kui Päike hoiakski oma planeetide perekonna alles, siis oleks sellest vähe kasu. Gravitatsioonikonstandi kümnekordse vähenemise tõttu peaks Päikese heledus langema miljoneid kordi. Kõige tõenäolisem on see, et tuuma-reaktsioonid Päikesel lakkavad hoopiski ja Päike muutub kustunud täheks, hiiglasuureks (Päikese mõõtmed kasvavad ju samuti) külmaks gaaskeraks.

Kunagist tähistaevast asustab loendamatu hulk niisuguseid kustunud tähti. Kõikjal, kus teiste päikesesüsteemide planeetidel leidis elu, see hukkub. Võimutseb sünge, surnud kosmos...

## KONSTANDID, MIS SENI ON VEEL AVASTAMATA

Ja ongi lõpp meie retkedel teistsuguste konstantide maailma. Võib-olla lugejale näib, et matkasime mõneti meelevaldset marsruuti mööda, mille valis välja raamatu autor. Tõepoolest, pole välistatud võimalus, et on olemas huvitavamaidki marsruute, sest teadmisjanulise otsiva pilgu ees avaneb väga palju erinevaid teid. Ja kaasaegse teaduse füüsikakonstantide maailm on niivõrd avar ning mitmekesine, et loomulikult ei saa seda üheainsa raamatukesega ammendada. Siin jätkub marsruute rohkem kui üheks elueaks.

Ent kõige köitvamad võimalikest retkedest on tegelikult vist raamatust välja jäänud. Ja sugugi mitte sellepärast, et autor neist ei hoolinud. Kõige huvitavam oleks tõenäoliselt retk maailma, mida keegi veel ei tunne — veel avastamata konstantide maailma.

Et aga niisugune maailm eksisteerib, selles on vähe kahtlust, nii nagu pole kahtlust selleski, et ta kindlasti avastatakse. Arvatavasti pole tema avastamine mägede taga, ta sõna otseses mõttes hõljub meie päevade õhus.

Niisugune veendumus põhineb üldolukorra hinnangul kaasaegses füüsikas, mis teadlaste üksmeelse arvamusel järgi on äärmiselt ebasoodne. Füüsikute seisukohad lähivad lahku vaid oletuste poolest, mil viisil ja millal praegune füüsika «kriis» (teadlased ei karda seda sõna) ületatakse. Selles aga, et kriisist kindlasti jagu saadakse, lahkarvamusi pole.

Mis siin siis imelikku on, et üldine halb olukord füüsikas ilmneb ka füüsikakonstantide maailmas? Veel enam, just konstantidega on seotud mõned üsna olulised «korra-

tused» füüsikas üldse. See on ka loomulik — on ju konstantide osa erakordselt suur. Õigupoolest kehastavad konstandid endas kehade (ehk nagu teadlased täpsemalt väljenduvad — füüsikaliste objektide) vastastikust mõju, sisemisi seoseid erinevate jõudude, protsesside ja nähtuste vahel, seost mikromaailma, makromaailma ja isegi Suure Kosmose, ehk nagu seda veel mõnikord nimetatakse, megamaailma vahel.

Mis siis on korrast ära meie füüsikakonstantide maailmas?

Eelkõige võib juurdlev mõistus vaevalt küll leppida nii paljude mitmesuguste empiiriliste füüsikaliste põhikonstantidega (tutvusime neist ainult murdosaga). Mis põhikonstandid need on, kui neid leidub nii palju? See kipub vägisi meenutama kaasaegset füüsikat iseloomustavat nn. elementaarosakeste katastroofilist küllust. Niikaua kuni neid oli 2—3, võis tõesti oletada, et nad on omapärased «telliskivid», universumi koostisosad. Kuid 200!... See on juba kaks korda rohkem, kui leidub keemilisi elemente looduses. Ilmsed arhitektuurilised liialdused. Aga kas sama asi ei toimu ka fundamentaalsete ehk põhikonstantidega? Tore vundament, mis märkamatu jaguneb paljudeks mitmesugusteks «vundamendikesteks»! Kuidas saab siis mitte mõelda sellest, et ilmselt on vaja koondada konstantide suureks paisunud koosseise (hea oleks sedasama teha ka «elementaarosakestega») ja tuua sisse tõeliselt fundamentaalsed mõisted!

Noh, aga seegi asjaolu, et teooria pole seni suuteline teoreetiliselt tuletama ühtki põhikonstanti — kõik nad on saadud ju katse teel? Kes on nõus sellega, et teooria on «vajalikul kõrgusel», kui tal ei õnnestu kindlaks teha neid põhiseoseid, mis määravad tegelikult füüsikakonstantide suurusi? Ja füüsikud saavad üha selgemini aru, et nende teadus «muutub tõepoolest vördjalikuks koos oma loendamatu veidrate arvude ja konstantidega, mida ta leiutab teistegi kvantitatiivsete muutuste vastastikuse mõju iseloomustamiseks».<sup>1</sup>

Edasi. Tuleb välja, et mõnest tuntud, täiesti kindla dimensiooniga põhikonstandist (nendest dimensioonidest räägiti vastavates novellides) võib koostada uue kons-

<sup>1</sup> Need sõnad kuuluvad tuntud inglise astrofüüsikule F. Hoyle'ile ja on võetud tema artiklist, mis ilmus inglise ajakirjas «New Scientist» (aprill, 1964).

tandi, sedakorda juba dimensioonita. Jutt on elektroni laengust  $e$ , Plancki konstandist  $h$  ja valguse kiirusest  $c$ : selgub, et dimensioonita konstant  $hc/e^2$  on võrdne 137. Miks? Mis müstiline salapärane arv see on? Kõige järgi otsustades peaks tal teaduses üsnagi oluline osa olema, sest annab ta ju tunnistust mingist sisemisest seosest kõige tähtsamate füüsikakonstantide vahel. Tegelikult nii ka on, aga mispärast, mis seos see on, pole teadusele veel kaugeltki selge; hüpoteese on ohtrasti, kuid tõepärane puudub.

Igal juhul näitab niisugune seos vahetult, et kõigist kolmest konstandist, mis annavad arvu 137, on ainult kaks tõelised põhikonstandid, kuna kolmanda võib saada esimese kahe väärtuse põhjal. Aga kui üks kolmest põhikonstandist pole üldsegi konstant, siis võib sel asjaolul olla kaasaegse füüsika seisukohalt erakordselt kaugeleulatuvad tagajärjed.

Lõpuks kerkib teadlaste ette üha sagedamini küsimus, kas fundamentaalsed füüsikakonstandid on tõepoolest rangelt konstantsed või muutuvad ajas, nagu räägiti viimases novellis, ja nende praegused väärtused vastavad lihtsalt ajastule, kus elame.

Muidugi ei ole siin toodud kõiki ebakohti füüsikakonstantide maailmas; seda loetelu võiks jätkata, kuid vist niigi on selge, et uutest avastustest siin mööda ei pääse. Pole kahtlust, et need avastused on lahutamatu seotud tulevase teaduserevolutsiooniga.

Uue suure revolutsiooni vältimatust ja lähedust — loodusteaduses üldse, füüsikas aga eriti — tunnetavad kõik teadlased. Selle poolest erineb tulevane revolutsioon hämmastaval kombel esimesest, mis sai alguse just kahe sajandi — eelmise ja praeguse — piiril ning kestis meie sajandi kogu esimese veerandi, sellele on pühendatud Lenini suurepärase raamat «Materialism ja empiriokrititsism». Õieti öelda sai revolutsioon siis alguse juhusest (kas mäletate Becquereli ja radioaktiivsuse juhuslikku avastamist?) ning oli teadlastele täielikuks ootamatuseks.

Ega's ilmaasjata rääkinud suurimad füüsikud vahetult enne teaduserevolutsiooni, mille tulemuseks oli «vana» füüsikahoone täielik purustamine, rohkem kui üks kord selle hoone praktiliselt ideaalsest ehitusest, tema täiuslikkusest ja lõpetatusest. Kuulus inglise füüsik Kelvin tundis XX sajandi algusele pühendatud kõnes isegi kaasa

järgmiste põlvkondade füüsikutele, kelle osaks «pole jäänud midagi olulist». Aga seejuures osutas ta sellesamas kõnes läbinägelikult «kahele väikesele pilvekesele» füüsika pilvitul horisondil — raskustele, mis on seotud soojuskiirguse ja Michelsoni katse selgitamisega. Me teame juba, et esimene probleem viis pärast kvandi mõiste sissetoomist Plancki töödes kvantteooria loomiseni — üheni kahest «vaalast», millele toetub kaasaegne füüsika. Teine probleem leidis lahenduse Einsteini relatiivsusteoorias, mis sai füüsika teiseks «vaalaks». Kenad «pilvekesed» küll! . . .

Teistmoodi on lugu praegu. Praegu ei hellita füüsikud sugugi mõtet oma teaduse täiuslikkusest. Vastupidi, nad saavad suurepäraselt aru tema ebatäiuslikkusest ja otsivad pingeliselt teid uute teooriate loomiseks, mis on vabad kaasaegsete ettekujutuste puudustest. Nad saavad aru ka sellest, et parandamine pole niisama lihtne, vaid see tuleb revolutsioonilise plahvatusena, mis viib uue füüsika loomiseni, võimalik, et vana varemotel.

Teadus tunnetab juba selgesti läheneva teadusetormi hingust. Õpetlased teavad ette, mida nad sellelt tormilt ootavad, mille see peab maa palgelt minema pühkima. Ainult seda, milliseks tulevik täpselt osutub, ei tea keegi, ehkki teadlased püüavad uduses kauguses näha tulevikukontuure. Siin jääb sõna uuele Einsteinile . . .

Üks on tingimusteta selge: uus füüsika loob harmoonilise maailmapildi, mis vastab looduse enese harmooniale. Ilmub teooria, mis selgitab aja ja ruumi struktuuri selliselt, et see on ühtne nii mikroosakeste «sisemuse» kui ka lõpmatute kosmoseavaruste jaoks.

Teooria seob üheks tervikuks kõigi tuntud jõuväljade (sealhulgas muidugi ka praegu erakuks oleva gravitatsioonivälja) ning elementaarosakeste omadused.

Kaob niihästi nende osakeste kui ka empiiriliste füüsikakonstantide «suur mitmekesisus», tekivad uued, tõeliselt elementaarsed osakesed ja põhikonstandid.

Kvantteooria ja relatiivsusteooria ei hoiu enam teineteisest eemale, vaid sõlmivad ühise, üldise teooria raami des tiheda liidu.

Võib-olla tuleb selleks sisse tuua niisugused paljusid teadlasi «kohutavad» ja vähe arusaadavad uued «konstandid» nagu aja- ja ruumikvant? Niisugused omapärsed, jagamatud, elementaarsed aja- ja ruumi-«osakesed»? Võib-olla . . . Praegu tehaksegi juba katsed hinnata kvanti-

tatiivselt neid seninägemata kujutlematuid aegruumi-  
«kvante». Mis siis ikka, kõik on võimalik. Teadlased on  
üksmeelsel arvamusel, et tulevane teaduserevolutsioon toob  
endaga kaasa niisugused teooriad, mis osutuvad kõige  
«meeletumaks» — see tähendab, et nad erinevad põhjali-  
kult vanadest ettekujutustest. Mis revolutsioon see muidu  
ikka oleks? . . .

Seni ei tea keegi, milliseks too revolutsioon kujuneb,  
kuid ta toimub paratamatult, sest seda nõuab teaduse  
areng, viimast aga seisma panna ei saa. Tööd jätkub kõigi  
järgmiste põlvkondade teadlastele, sest loodusteaduse tõe-  
liselt põhiliseks ideeks on V. I. Lenini poolt formuleeritud  
printsip — materia on ammendamatu.

Maaailmas pole midagi kõitvamat, kui see mitte iialgi  
lakkav rünnak looduse varjatud saladustele.

## SISUKORD

essõna . . . . .	3
o s a. <b>Tuttavad tundmatud</b> . . . . .	7
<i>Esimene novell.</i> Kosmiline vurr . . . . .	9
<i>Teine novell.</i> Orbitaalkarussell . . . . .	27
<i>Kolmas novell.</i> Heli saladused . . . . .	40
<i>Neljas novell.</i> Elueliksiir . . . . .	56
o s a. <b>Sfinksitaolised konstandid</b> . . . . .	81
<i>Viies novell.</i> Ideaalne mateeria . . . . .	83
<i>Kuues novell.</i> Elektri saladused . . . . .	106
<i>Seitsmes novell.</i> Aatomi sisemuses . . . . .	129
<i>Kaheksas novell.</i> Kõige imepärasem kiirus . . . . .	151
<i>Üheksas novell.</i> Tunnevad kõik ja mitte keegi . . . . .	174
õ p p s õ n a a s e m e l. <b>Konstandid, mis seni on veel avastamata</b> . . . . .	210

Карл Гильзин. НОВЕЛЛЫ О МИРЕ ИНЫХ КОНСТАНТ. Художественное оформление А. Иьерс. На эстонском языке. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja P. Sarevet. Kunstiline toimetaja A. Säde. Tehniline toimetaja L. Krikmann. Korrektor E. Lepist. Laduda antud 6. V 1970. Trükkida antud 3. XI 1970. Kohila Paberivabriku trükipaber nr. 2, 54×84/16. Trükipoognaid 13,5. Tingtrükipoognaid 11,34. Arvestuspoognaid 12,61. Trükiarv 5000. Tellimuse nr. 2828. Hans Heidemanni nim. Trükikoda. Tartu, Ülikooli 17/19. I.

Hind 38 kop.



38 kop.

A-  
31053

78 030

TÜ RAAMATUKOGU



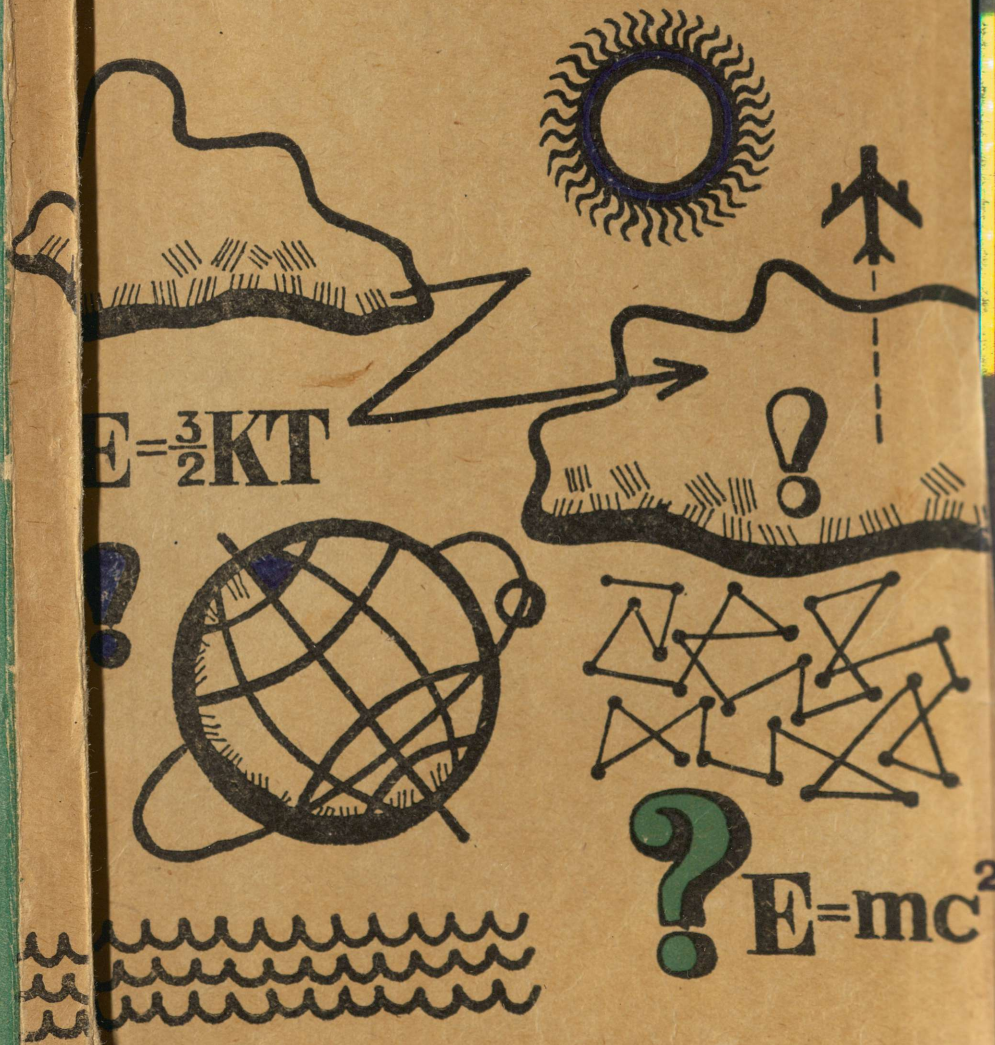
1 0300 00496709 9

38 kop.

A-  
31053  
78 030

A-31053

K. Gilzin **NOVELLID**  
**TEISTSUGUSTE**  
**KONSTANTIDE**  
**MAAILMAST**



TÜ RAAMATUKOGU  
  
1 0300 00496709 9