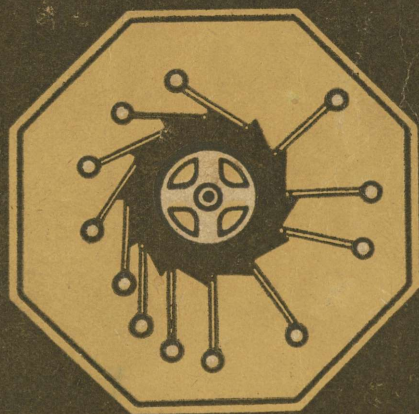


POPULAARTEADUSLIK SARI

J. I. PERELMAN

# HUYITAV FÜÜSIKA



I

RK · TEADUSLIK KIRJANDUS ·

A-16558

J. I. PERELMAN

# HUVITAV FÜÜSIKA

## I

PARADOKSID, „PÄHKLID“, ÜLESANDED,  
KATSED, KEERUKAD KÜSIMUSED  
JA JUTUSTUSED FÜÜSIKA ALALT

TOIMETANUD  
PROF. A. B. MLODZEJEVSKI

Kohustuslik kontrollseksemplar



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“

TARTU, 1948

Tõlgitud teose järgi: Я. И. Перельман, Занимательная физика, издание четырнадцатое. Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва / Ленинград 1947.

Tõlkinud V. Masing.

#### Аннотatsioon.

Raamat on kirjutatud tuntud popularisaatori ja pedagoogi poolt ning sisaldab „pähkleid“, ülesandeid, katseid ja jutustusi füüsika alalt. Esituse iseloomult ja lugejal eeldatavate teadmiste tasemelt on raamat määratud keskkooliõpilastele ja sama tasemega iseõppijaile.

Eestikeelne tõlge on tehtud 1947. a. ilmunud venekeelse väljaande 14. trüki järgi.



A-16558

18598

## Eessõnast kolmeteistkümnele trükile.

Selles raamatus püüab autor lugejale anda mitte niivõrd uusi teadmisi, kui aidata teda „tundma õppida seda, mida ta juba teab“, s. o. elustada ja süvendada neid põhiteadmisi füüsikast, mis tal on juba olemas, õpetada teadlikult nendesse suhtuma ja virgutada igaükselt nende rakendamist. See saavutatakse, kui füüsikast vaadatakse läbi kirju rida „pätkleid“, keerukaid küsimusi, huvitavaid jutustusi, lõbusaid ülesandeid, paradokse ja ootamatuid võrdlusi, mis kuuluvad igapäevaste nähtuste hulka või on võetud teaduslik-fantastilise belletristika üldtuntud teostest. Viimast liiki materjali kasutab autor iseäranis laialt, pidades seda kõige vastavamaks raamatu sihtidele: on toodud katkendeid Jules Verne'i, Wells'i, Mark Twain'i jt. romaani-dest ja jutustustest. Neis kirjeldatud fantastilised katsed ei oma mitte üksnes veetlust, vaid võivad õpetamisel elavate illustratsioonidena küllaltki tähtsat osa etendada.

Autor püüdis, niipalju kui ta seda suutis, esitusele anda ka välimuselt huvitavat kuju, anda ainestikule meeldivust. Teda juhtis psühholoogiline tõde, et huvi aine vastu suurendab tähelepanu, kergendab arusaamist ja järelikult soodustab teadlikumat ja kindlamat aine omandamist.

Vastupidi enamikus seda laadi raamatuis väljakujunenud tavale on „Huvitavas füüsikas“ üsna vähe ruumi antud naljakaslõbusate ja efektsete füüsikaliste kat-

sete kirjeldamisele. Sel raamatul on teine ülesanne kui neil, mis annavad materjali katsetamiseks.

„Huvitava füüsika“ peasihiks on ergutada teaduslikku kujutlusvõimet, õpetada lugejat mõtlema füüsika vaimus ja luua tema mälus arvukaid assotsiatsioone füüsikaliste teadmiste ja nähtuste, kõige selle vahel, millega ta tavaliselt kokku puutub. Eesmärk, millest autor püüdis kinni pidada raamatu ümbertöötamisel, on antud V. I. Lenini poolt järgmiste sõnadega: „Populaarne kirjanik lähen-dab lugejat sügavale mõttele, sügavale õpetusele, lähtu-des seejuures kõige lihtsamatest ja üldtuntud faktidest, näidates lihtsate arutluste ja hästivalitud näidete najal järeldusi neist andmeist, viies mõtlevat lugejat üha kaugemate küsimuste juurde. Populaarne kirjanik ei eelda lugejat, kes ei mõtle, kes ei soovi või ei oska mõtelda; vastupidi: ta eeldab ka arenematus lugejas tõsist kavatsust peaga töötada ja aitab teda selles raskes ja tõsisel töös, juhib teda, aidates tal teha esimesi samme ja õpetades iseseisvalt edasi minema“<sup>1</sup>.

Silmas pidades lugejate huvi selle raamatu ajaloo vastu, toon üksikud bibliograafilised andmed.

„Huvitav füüsika“ sündis veerand sajandit tagasi ja oli esiklapseks autori arvukas raamatute peres, milles praegu on mitukümmend liiget.

Käesoleval momendil läheneb kahekõitelise „Huvitava füüsika“ üldine eksemplaride arv vene keeles kahesajale tuhandele. Et suurem osa raamatuist on paigutatud raamatukogudesse, kus iga eksemplar läbib kümneid käsi, siis tuleb raamatu lugejaid tõenäoliselt

<sup>1</sup> V. I. Lenini avaldamata dokumentidest. Retsensioon ajakirja „Svoboda“ kohta. Tsiteeritud ajakirjast „Bolševik“ nr. 2, 1936. a., lk. 73.

arvestada miljoneid. „Huvitaval füüsikal“ on õnnestunud tungida, nagu lugejate kirjad tunnistavad, NSV Liidu kõige kaugematesse kolgastesse.

1925. a. ilmus „Huvitava füüsika“ tõlge ukraina keeles, 1931. a. saksa ja uusjuudi keeles; lühendatud tõlge saksa keeles ilmus ka Saksamaal. Katkendeid raamatust trükiti prantsuse keeles (Šveitsis ja Belgias) ja ka vanajuudi keeles (Palestiinas).

Raamatu tähelepanuväärne levik, mis annab tunnistust laiade ringkondade elavast huvist teadmiste vastu füüsika alalt, nõuab ka autorilt tõsist vastutust materjali headuse eest. Teadlikkusega vastutusest on seletatavad ka arvukad muudatused ja täiendused „Huvitava füüsika“ korduvates trükkides. Võib öelda, et raamat on kirjutatud kogu oma olemasolu 25 aasta jooksul. Viimases trükis on esimese trüki tekstist säilinud vaevalt pool, illustatsioonidest aga ei ole säilinud pea-aegu ühtegi.

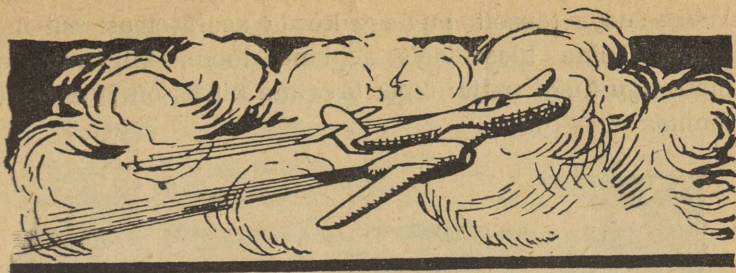
Üksikutelt lugejatelt on tulnud autorile kirju palvega teksti mitte ümber töötada, et ei tekiks „kümne uue lehekülje pärast tarvet uut trükki muretseda“. Niisugused kaalutlused ei või autorit muidugi vabastada kohustusest oma tööd igati parandada. „Huvitav füüsika“ pole kunstitoode, vaid teaduslik teos, kuigi populaarne. Tema aineks on füüsika, mis isegi oma põhialuste poolst üha rikastub värske materjaliga, ja raamat peab kõike seda oma teksti lisandama.

Teiselt poolt on sageli tehtud etteheiteid, mispärast „Huvitav füüsika“ ei anna ruumi niisugustele teemadele nagu raadiotehnika, aatomi tuuma purustamine, moodsad füüsikateooriad jne. Seda laadi etteheited on arusaamatuse viili. „Huvitaval füüsikal“ on täiesti kindel ees-

märk; mainitud küsimuste arutus on teiste teoste ülesandeks.

„Huvitava füüsikaga“ liitub peale II köite veel mitu sama autori tööd. Üks neist on ette nähtud võrdlemisi vähe ettevalmistatud lugejale, kes pole veel asunud füüsika süstemaatilisele õppimisele, ja kannab pealkirja „Füüsika igal sammul“ („Detizdat'i“ väljaanne). Kaks teist aga on määratud neile, kes on juba lõpetanud keskkooli füüsikakursuse. Need on „Huvitav mehhaanika“ ja „Kas tunnete füüsikat?“. Viimane on „Huvitava füüsika“ täiendavaks lõpplüliks.

*J. Perelman.*



Esimene peatükk.

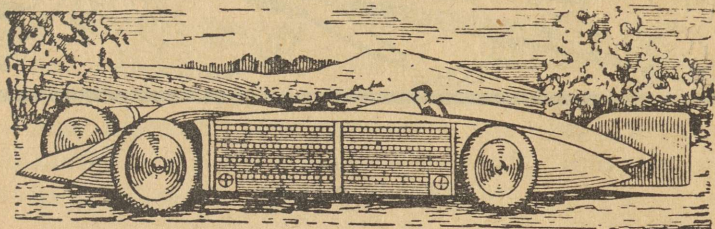
## Kiirus. Kiiruste liitmine.

### Kui ruttu me liigume?

Prantsuse sportlane Jules Ladoumegue sai maailma-kuulsaks sellega, et jooksis ühekilomeetrise vahemaa 2 minuti 23,6 sekundiga. Võrdluseks hariliku jalakäija kiirusega —  $1\frac{1}{2}$  meetrit sekundis — tuleb teha väike arvutus; osutub, et Ladoumegue läbis 7 meetrit ühes sekundis. Muide, need kiirused pole täiesti võrreldavad: jalakäija võib käia kaua, tundide kaupa, läbides 5 kilomeetrit tunnis, sportlane aga võib säilitada tähelepanuväärset kiirust ainult paari minuti jooksul. Jalaväeüksus liigub edasi kiirsammul kolm korda aeglasmalt jooksjast; ta läbib 2 meetrit sekundis ehk umbes 7 kilomeetrit tunnis, tal on aga sportlasega võrreldes see eelis, et võib katta suured vahemaad.

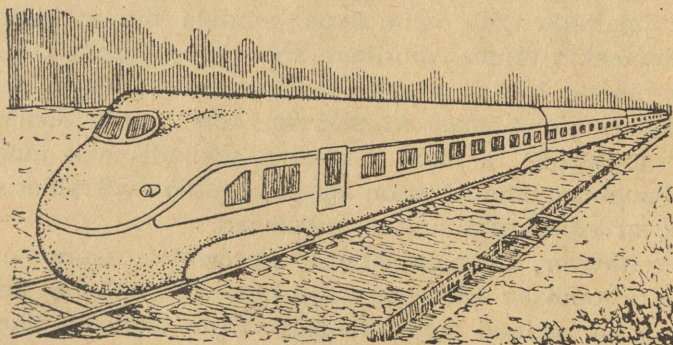
Huvitav on võrrelda inimese normaalset sammu niisuguste loomade kiirusega nagu tigu või kilpkonn, kelle aeglus on saanud kõnekäänuks. Tigu õigustab täiesti temale vanasõna poolt antud reputatsiooni: ta läbib  $1\frac{1}{2}$  millimeetrit sekundis ehk  $5\frac{1}{2}$  meetrit tunnis, lii-

kudes seega täpselt tuhat korda aeglasemalt kui inimele! Teine klassiliselt aeglane loom, kilpkonn, ei ületa tigu kuigi palju: tema tavaline kiirus on 70 meetrit tunnis.



Joonis 1. Auto „Kuldnool”, millega püstitati 1929. aastal Ameerikas kiiruse maailmarekord — 370 km tunnis. Selle rekordi ületas 1932. a. „Sinine tuvi” (435 km tunnis).

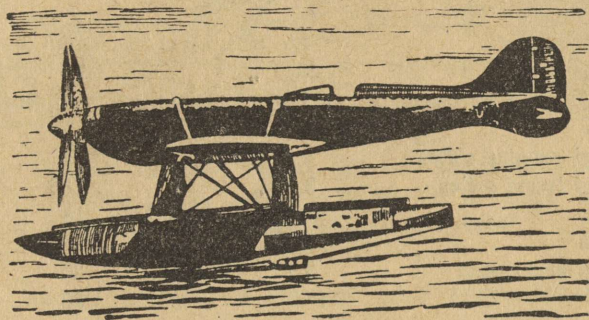
Inimene, olles teo ja kilpkonnaga võrreldes kiire, paistab meile hoopis teises valguses, kui tema kiirust võrrelda teiste, isegi mitte väga suurte kiirustega ümbritsevas looduses. Tõsi küll, ta on kiirem suurema



Joonis 2. Nõukogude ülikiirrong (ins. Polujani projekt).

osa lausikmaa-jõgede voolust ega jää palju maha keskmisest tuulest, kuid juba kärbsena, kes lendab 5 meetrit sekundis, võib inimene edukalt võistelda vaid suuskadel. Jänesele ja jahikoerale ei jõua inimene järele isegi mitte hobusel tuhatnelja kihutades. Kotkaga kiiruses võistelda võib inimene vaid lennukil.

Enda leiutatud masinad teevad inimese üheks kiiremaks olendiks maailmas. Kuival maal liigub inimene kiiremini kui vee peal. Kergeristleja liigub kiirusega 75 kilomeetrit tunnis. Samal ajal on aga elektrironge, mis



Joonis 3. Vesilennuk „Macchi Castaldi”, mille itaalia lennur Angelio püstitas 1934. a. maailmarekordi lennukiiruses — 709,2 km tunnis.

liiguvad rööbastel kiirusega 175 kilomeetrit tunnis; täiusliku konstruktsiooniga vagunid arendavad isegi kiirust kuni 206 km tunnis. Meil NSV Liidus on inseneride Polujani ja Ivanovi poolt konstrueeritud ülisuure kiirusega rong (automotriss), mis võimaldab rööbastel saavutada kiirust kuni 250 km tunnis. Veel kaugemale ses suhtes läheb auto: võistlustel on saavutatud kiirus 435 km tunnis. Selle „Sinise tuvi” nimelise auto omanik lootis saavutada veel suuremat kiirust — 480 km tunnis.

Kõik need saavutused jätab kaugelt varju aviatsioon. Hävitajalennuk läbib tavalisel lennul 360 km tunnis; vesilennuk aga arendab veelgi suuremat kiirust. Itaalia lendur Angelio püstitas 1934. aasta sügisel lennukiiruse rekordi vesilennukil — 709 km tunnis; 1939. aasta rekord on 786 km tunnis.

Lennuki kiirust veelgi suurendada on võimalik ainult reaktiivsete mootorite tarvituselevõtuga. Rekord, mille püstitas reaktiivse mootoriga inglise hävitaja „Meteor“, on 977 km tunnis.

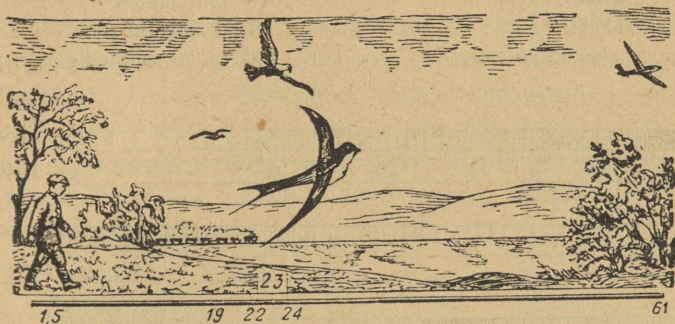
Lugejal on õpetlik tutvuda järgmise kiiruste tabeliga:

Tigu	1,5 mm sekundis	5,5 m tunnis
Kilpkonn	20 " "	70 " "
Kala	1 m sekundis	3,5 km tunnis
Jalakäija	1,5 " "	5 " "
Ratsavägi sammu sõites	1,7 " "	6 " "
Ratsavägi traavi sõites	3,5 " "	12,6 " "
Kärbes	5 " "	18 " "
Suusataja	5 " "	18 " "
Ratsavägi kiirkapakul	8,5 " "	30 " "
Liinilaev	13,5 " "	50 " "
Jänes	18 " "	65 " "
Kergeristleja	22 " "	80 " "
Kotkas	24 " "	86 " "
Jahikoer	25 " "	90 " "
Raudteerong kuni	57 " "	206 " "
Auto	120 " "	435 " "
Hävitajalennuk	250 " "	900 " "
Hääl õhus	330 " "	1200 " "
Maa oma orbiidil	30 000 " "	108 000 " "

Inimese kätetööna ehitatud masinaist on seega kõige kiiremad lennuk ja auto.

Veelgi kiiremini lendavad kuulid ja mürsud. Kuul lendab püssirauast välja kiirusega 800—900 meetrit sekundis (tankitõrjepüssi kuuli kiirus on 1600 meetrit sekundis)

ja järelikult võiks ta isegi ekvaatoril „Päikesest ette jõuda“. Moodsad suurtükid lasevad oma mürsud välja veel suurema algkiirusega — kuni 2000 meetrit sekundis; muidugi mürsu kiirus edasisel liikumisel järjest väheneb.



Joonis 4. Võistlus kiiruses lennuki (61 m sekundis), pääsukesel (24 m sek.), kotka (23 m sek.), kiirrongi (22 m sek.), tuvikesel (19 m sek.) ja jalakäija (1,5 m sek.) vahel.

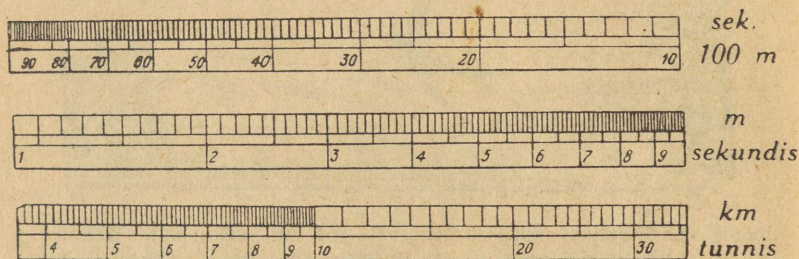
Alles hiljuti arvati, et linnud oma rändudel lendavad suure kiirusega. Peeti näiteks kindlakstehtuks, et pääsukesed arendavad rännul kiirust kuni 300 ja enam kilomeetrit tunnis. Uurimised aga näitasid niisuguste kujutluste ekslikkust ja ka seda, et kiiremail lendajail sulgsest riigist on kiirus ainult kuni 90 km tunnis, postituvil 19 m sekundis, kotkal 23—24 m/sek, pääsukesel 24 m/sek.

### Kuidas väljendatakse kiirust.

Igapäevases elus väljendatakse kiirust kilomeetrite arvuga ühes tunnis; tehnikas eelistatakse näidata meetrite arvu ühes sekundis, teaduses — sentimeetrite arvu

ühes sekundis. Sportlased ja kehakultuurlased aga väljendavad liikumise kiirust saja meetri läbimiseks kuluva sekundite arvuga. Ühe ja sama kiiruse väljendus on inimestel vastavalt nende erialale erinev. Nii näiteks ütleb:

tavaline kodanik	18 km tunnis
tehnik	5 m sekundis
kehakultuurlane	100 m 20 sekundiga.



Joonis 5. Skaala üleminekuks ühelt kiirusühikult teisele.

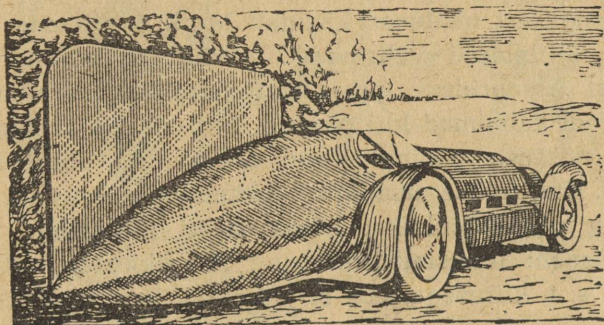
Üleminek ühelt kiiruse väljenduselt teisele nõuab lihtsat arvutamist. Võib aga ka läbi saada ilma arvutuseta, kui kasutada siia juurdelisatud skaalat (joon. 5). Selle tarvitamine ei nõua pikki seletusi: ühte ja sama kiirust väljendavad arvud asetsevad üksteise all. Ainult kui kiirused on suuremad kui 36 kilomeetrit tunnis, läheb vaja lihtsat täiendavat arvutust.

### Kiiremini Päikesest ja Kuust.

Autovõidusõidul Pariisi ja Brest'i vahel 1896. a. saavutati kiirus 20 km tunnis, s. t. umbes 6 meetrit sekundis. See oli autole suureks triumfiks. Aga juba aasta pärast oli auto kiirus kahekordselt suurenenud ja

1907. aastal arendasid autod viis korda suuremat kiirust — 30 m sek. ehk 108 km tunnis. Selleks, et kiirust 30 m sekundis paremini kujutleda, tähendame, et täiest jõust visatud kivi läbib esimeses sekundis kaks korda vähem, s. o. 15 meetrit.

Nagu juba öeldud, pole see kaugeltki äärmine kiirus, mida masinad võivad arendada. Autosõiduvõistlustel 1923. a. saavutati kiirus 219 km tunnis. 1929. a. arendas Ameerikas erilise ehitusega auto (Seagrave'i „Kuldnool“) ennekuulmatu kiiruse — 370 km tunnis ehk 100 meetrit sekundis. Aga juba 1932. a. ületati see rekord võidusõidumasina „Sinine tuvi“ poolt, mille kiirus oli 435 km tunnis.



Joonis 6. Auto „Sinine tuvi“, millega Ameerikas 1932. a. püstitati autokiiruse maailmarekord — 435 km tunnis.

Niisuguse autoga võib „Päikesest (õigemini Maast) ette jõuda“ vähemalt polaarlaiustel. 77-ndal laiuskraadil (Novaja Zemlja) läbib selline auto teatud ajavahemikus niisama palju kui maapinnal võetud punkt Maa pöörlemise tõttu ümber oma telje. Niisugusel autol reisijale näib Päike seisvat, nagu ripuks ta liikumatult taeva, loojan-

gule lähenemata. Nii leiab nüüdisaegse tehnika poolt loomulikku teostamist kurikuulus piibli-ime, mille olevat kunagi teostanud Joosua.

Veel kergem on „ette jõuda Kuust“ selle tiirlemisel ümber Maa. Selleks, et seda „imet“ korrata, ette jõuda Kuu omaliikumisest (mitte näivast ööpäevasest liikumisest), pole tarvis minna kaugele polaarmaadesse ja lennata pead pööritama paneva kiirusega. Kuu kiirus tiirlemisel ümber Maa on 29 korda väiksem kiirusest, millega Maa pöörleb ümber oma telje. (Siin võrreldakse muidugi nurk-, mitte aga joonkiirusi.) Juba harilik aurik kiirusega 25—30 km tunnis, ka keskmistel laius-  
tel, võib „Kuust ette jõuda“. On muidugi tarvilik liikuda õiges suunas.

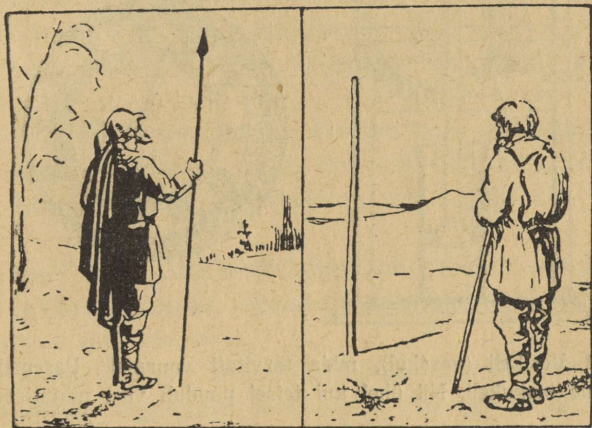
Seesugusest nähtusest kirjutab Mark Twain oma jutustus „Kilplased välismaal“. Sõidul üle Atlandi New Yorgist Assoorideni „püsis suurepärasena suveilm, ööd olid veel kaunimad kui päevad. Me panime tähele ime-likku nähtust: nägime Kuud taeval igal õhtul samas kohas. Kuu sellise omapärase käitumise põhjus jäi meile esialgu mõistatuslikuks, pärast siiski taipasime, milles asi seisneb: liikusime iga tund 20 pikkuseminutit ida poole, s. t. kiirusega, mis ei jää maha Kuu omast!“

### **Uks tuhandik sekundit.**

Uks tuhandik sekundit on meile, kes oleme harjunud mõõtma aega oma mõõdupuuga, samaväärne nulliga. Alles viimasel ajal hakkasid esinema sellised ajavahe-  
mikud meie praktilises elus. Kui määrati aega Päikese kõrguse või varjude pikkuse järgi, ei võinud juttugi olla täpsusest kuni minutini (joon. 7); minut oli inimes-tele nii tühine suurus, et teda polnud tarvis mõõta.

Muistse inimese elu oli nii aeglane, et tema päikese-, vesi- ja liivakelladel puudus minutijaotus. Alles XVIII sajandi algul ilmusid kellade numbrilaudadele minuti-osutid ja XIX sajandi algul ilmus sekundiosuti.

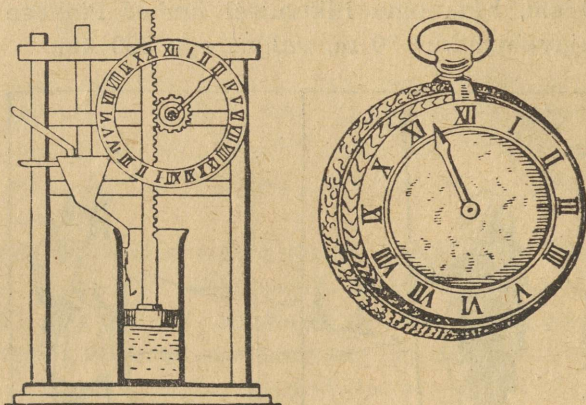
Mis siis võib juhtuda ühe sekundi tuhandikus osas? Väga palju! Kiirrong, tõsi küll, liigub selles ajavahemikus edasi ainult 1—1,5 cm, kuid lennuk juba 10 cm, hääl 30 cm, Maa oma liikumisel ümber Päikese läbib selles ajavahemikus 30 m, valgus aga 300 km.



Joonis 7. Aja määramine Päikese kõrguse järgi (vasakul) ja varju pikkuse järgi (paremal).

Meid ümbritsevad väikesed olendid, kui nad oleksid võimelised arutama, ei loeks tõenäoliselt ühte tuhandikku sekundit kaduv-väikeseks ajavahemikuks. Putukatele on see ajavahemik üsna tunduv. Sääsk teeb ühe sekundi jooksul oma tiibadega 500—600 lööki, tähendab, ühes tuhandikus sekundis jõuab ta tiibu tõsta või langetada.

Inimene pole võimeline oma jäsemeid nii kiiresti liigutama kui putukad. Meie kõige kiiremaks liigutuseks on silmade pilgutamine — „silmapilk“ selle sõna kõige otsemas tähenduses. See liigutus toimub nii kiiresti, et me isegi tähele ei pane nägemisvälja ajutist pimenemist. Kuid ainult üksikud teavad, et see liigutus — kujutletamatu kiiruse sünonüüm — siiski, mõõtes sekundi tuhan-



Joonis 8. Vesikell (vasakul), mida tarvitati vanaajal. Paremäl vanaegne taskukell. Nii ühel kui teisel puudub veel minutiosuti.

dikega, toimub üsna aeglaselt. Täielik „silmapilk“ kestab täpsete mõõtmiste järgi (Victor Henry) keskmiselt  $\frac{2}{5}$  sekundit, s. o. 400 tuhandikku sekundit. Ta koosneb järgmistest faasidest: silmalau langetamine (75—90 tuhandikku sekundit), langetatud silmalau paigalolek (130—170 tuhandikku sekundit) ja silmalau tõstmine (umbes 170 tuhandikku sekundit). Nagu näete, on üks „silmapilk“ selle sõna otseses mõttes üsna suur ajavahemik, mille jooksul silmalaug saab isegi puhata. Kui me saaksime tajuda muljeid, mis kestavad ühe tuhandiku sekundit,

paneksime „ühe silmapilgu“ ajal tähele kahte silmalau sujuvat liikumist, mis on teineteisest eraldatud puhkeolekuga.

Närvisüsteemi sellise ehituse puhul me näeksime meid ümbritsevat maailma tundmatuseni muutununa. Neid veidraid pilte, mida näeksid siis meie silmad, kirjeldab inglise kirjanik Wells oma jutustuses „Uusim kiirendaja“. Selle jutustuse kangelased jõid fantastilist mikstuuri, mis mõjus närvisüsteemile nii, et tegi meelega-  
nid vastuvõtlikuks kiirete nähtuste eraldatud tajumiseks. Siin mõned näited jutustusest.

„Kas olete kunagi näinud, et eesriie on aknale kinnitatud niiviisi?“

Ma heitsin pilgu eesriidele. Eesriie näis tardununa ja selle nurk jäi püsima nii, nagu tuul oli selle painutanud.

„Pole kunagi näinud,“ vastasin ma. „Milline veidrus!“

„Aga see?“ ütles ta klaasi käest lahti lastes. Ma arvasin, et klaas kukub katki, aga see ei liikunud kohaltki, see rippus liikumatult õhus.

„Te muidugi teate,“ ütles Gibburne, „et langev keha läbib esimeses sekundis 5 meetrit. Praegu läbib klaas seda 5 meetrit, aga, te mõistate, et on möödunud vähem kui sajandik sekundit<sup>1</sup>. See annab teile kujutluse minu „kiirendajast“.“

Klaas langes aeglaselt. Gibburne liigutas kätt klaasi ümber, all ja ülal...

Ma vaatasin aknast välja. Keegi jalgrattur, kes oli

---

<sup>1</sup> Tuleb silmas pidada, et langev keha läbib esimese sekundi esimese sajandiku jooksul viiest meetrist mitte sajandiku osa, vaid kümnetuhandiku (valemi  $S = \frac{1}{2} gt^2$  järgi), s. o. 0,5 mm ja esimese tuhandiku sekundi jooksul kõigest 0,01 mm.

tardunud kohale, samuti tolmupilv tema taga, näis taga ajavat mingit sõidukit, mis samuti tolligi kohalt ei liikunud.

...Meie tähelepanu paelus omnibus, mis oli täiesti kivinenud. Rataste ülemised osad, hobuste jalad, piitsa ots ja kutsari alumine lõualuu (ta hakkas haigutama) liikusid, kuigi aeglaselt; kõik muu oli selles kohmakas sõidukis täielikult liikumatu. Selles istuvad inimesed olid kui raidkujud.

...Keegi inimene oli tardunud sel momendil, kui ta tegi üliinimlikke pingutusi, et tuule käes ajalehte kokku panna. Kuid meile polnud seda tuult olemas.

...Kõik, mis olin öelnud, mõelnud ja teinud alates momendist, mil kiirendaja oli mu kehasse tunginud, oli ainult hetkeks kõigile teistele inimestele ja kogu maailmale."

Lugejat võib-olla huvitab küsimus, milline on kõige väiksem ajavahemik, mida võib mõõta moodsa teaduse vahenditega. Veel käesoleva sajandi algul oli selleks üks kümnetuhandik sekundit. Praegu võib füüsik oma laboratooriumis elektrilise meetodiga määrata ühe kümnemiljardiku osa sekundist. See ajavahemik on näiteks sekundist niipalju kordi väiksem kui üks sekund kolmesajast aastast.

### Ajaluup.

Kui Wells kirjutas oma teose „Uusim kiirendaja“, ei võinud ta mõelda, et midagi selletaolist oleks võimalik teostada. Kuid tal õnnestus siiski elada selleni: ta võib praegu oma silmadega näha, tõsi küll, ainult ekraanil, neid pilte, mida kunagi tema fantaasia oli loonud. Nii-nimetatud ajaluup näitab meile ekraanil aeglustatud

tempos paljusid nähtusi, mis tavaliselt toimuvad väga kiiresti.

Ajaluup on kinematograafiline ülesvõtteaparaat, millega tehakse sekundis mitte 16 ülesvõtet, nagu tavalise kinoaparaadiga, vaid palju rohkem. Kui niiviisi pildistatud nähtus projekteerida ekraanile, lastes filmil liikuda kiirusega 16 pilti sekundis, siis pealtvaatajale paistab nähtus venitatuna, toimuvana vastav arv kordi aeglasmalt normaalsest käigust. Lugeja on arvatavasti juhtunud nägema ekraanil niisuguseid ebaloomulikult toimuvaid hüppeid ja teisi aeglustatud nähtusi. Sama liiki veel keerulisemate aparaatidega saadakse veelgi suurem aeglustamine, peaaegu niisugune, millest räägib Wells oma jutustuses.

### Päeval või öösel?

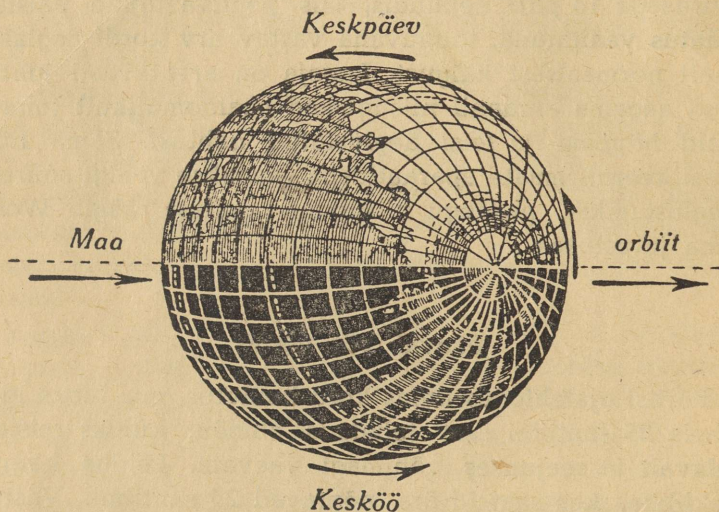
Pariisi ajalehtedes ilmus kord kuulutus, mis lubas igaühele 25 santiimi eest juhatada abinõu, kuidas reisida odavalt ja seejuures vähimagi vaevata. Leidus kergeusklikke, kes saatsid ära nõutavad 25 santiimi. Vastuseks sai igaüks neist posti teel järgmise sisuga kirja:

„Kodanik, jääge rahulikult oma voodisse ja pidage meeles, et Maa pöörleb. Pariisi laiuskraadil, s. o. 49-ndal, läbite öö-päeva jooksul enam kui 25 000 kilomeetrit. Aga kui te armastate maalilisi pilte, kõrvaldage aknaeesriie ja nautige tähistaeva ilu.“

Pettuse eest kohtulikule vastutusele võetud ürituse algataja, ära kuulanud otsuse, maksis temale määratud trahvi, asetus teatraalsesse poosi ja kordas Galilei kuulsaid sõnu:

„Ta pöörleb siiski!“

Kaebealusel oli kahekordselt õigus, sest iga maakera elanik „reisib“ mitte ainult ümber maakera telje pööreldes, vaid liigub veel suurema kiirusega koos Maaga ümber Päikese tiireldes. Meie planeet kõigi oma elanikega liigub maailmaruumis edasi iga sekundi jooksul 30 km, pööreldes samaaegselt ümber oma telje.



Joonis 9. Maakera õisel poolel liiguvad inimesed ümber Päikese kiiremini kui päevasel poolel.

Sel puhul võib esitada huvitava küsimuse: millal me liigume Päikese ümber kiiremini, kas päeval või öösel?

Küsimus võib esile kutsuda arusaamatust. On ju alati Maa ühel poolel päev, teisel poolel öö; mis mõte on siis meie küsimusel? Näilikult ei mingit.

Siiski pole see nii. Ei küsita, millal Maa tervikuna liigub kiiremini, vaid millal meie, Maa elanikud, liigume kiiremini tähtede keskel. See küsimus pole igatahes mõttetu.

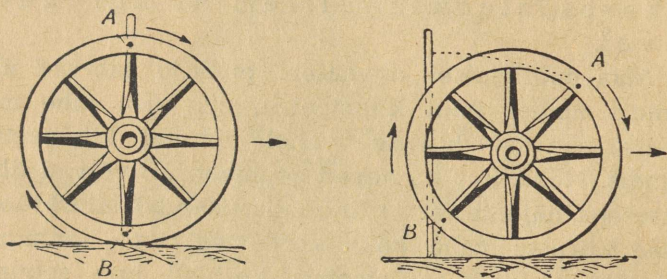
Päikesesüsteemis võtame osa kahest liikumisest: tiirleme ümber Päikese ja samal ajal pöörleme ümber Maa telje. Mõlemad liikumised liituvad; liitumise tulemus aga oleneb sellest, kas asetseme Maa päeval või öisel küljel. Heitke pilk joonisele 9 (siin tuleb kujutleda, et Maa orbiit on risti joonise tasapinnaga) ja te mõistate, et keskööl tuleb pöörlemiskiirus Maa edasiliikumise kiirusega liita, keskpäeval aga vastupidi sellest lahutada. Tähendab, keskööl me liigume päikesesüsteemis kiiremini kui keskpäeval.

Et Maa pöörlemisel ekvaatori punktid läbivad ühes sekundis umbes pool kilomeetrit, siis võib vahe meie öise ja päevase kiiruse vahel ulatuda kilomeetriteni sekundis. Need, kes tunnevad geomeetriat, võivad lihtsa arvutusega näidata, et Leningradis (60-ndal laiuskraadil) on see kiiruste vahe kaks korda väiksem: leningradlased läbivad päikesesüsteemis keskööl igas sekundis pool kilomeetrit enam kui keskpäeval.

### **Vankriratta mõistatus.**

Kinnitage vankriratta põia külge (või jalgratta kummi külge) tükk värvilist paberit ja jälgige seda vankri (või jalgratta) liikumisel. Te täheldate imelikku nähtust: kui paberitükk on veereva ratta alumises osas, on ta hästi nähtav; olles aga ratta ülemises osas välksatab ta nii kiiresti, et te ei jõua teda jälgida. Näib, nagu liiguks ratta ülemine osa kiiremini kui alumine. Sama võib näha, võrreldes sõiduki ratta ülemisi ja alumisi koda-raid: ülemised kodarad näivad ühte langevat, kuna alumisi on võimalik eraldi näha. Näib jällegi nagu liiguks ratta ülemine osa alumisest kiiremini.

Missugune on selle imeliku nähtuse seletus? Asi seisneb lihtsalt selles, et ratta ülemine osa tõesti liigub alumisest kiiremini. See kõik ei näi esimesel hetkel tõenäoline olevat, kuid lihtne arutlus veenab meid selles. Võtab ju veereva ratta iga punkt samaaegselt osa kahest liikumisest: pöörleb ümber telje ja samal ajal liigub edasi koos teljega. Toimub sama, mis Maagagi, nimelt kahe liikumise liitumine, ja selle



Joonis 10. Kuidas veenduda, et ratta ülemine osa liigub kiiremini kui alumine? Võrrelge punktide *A* ja *B* kaugusi paigalseisvast kepit (paremal joonisel).

tulemused on ratta ülemise ja alumise osa kohta erinevad. Ratta ülemises osas pöörlemiskiirus liitub ratta edasinihkumise kiirusega, sest mõlemad kiirused on suunatud ühele poole; ratta alumises osas aga on need kiirused suunatud teineteisele vastu ja tulemuse saamiseks tuleb pöörlemiskiirus edasiliikumise kiirusest lahutada. Nii on ka selge, mispärast ratta ülemised osad liiguvad paigalseisva vaatleja suhtes alumistest kiiremini.

Et see on tõeliselt nii, võib näidata lihtsa katsega, mida võiks korraldada soodsal juhul. Pistke maasse

kepp seisva vankriratta kõrvale nii, et kepp oleks vastu ratta telge. Põia kõige kõrgemas ja kõige madalamas kohas tehke kriidi või söega märgid; seega on need märgid kepi vastas. Nüüd lükake vanker paremale poole niipalju (joon. 10), et ratta telg nihkuks kepi 20—30 cm võrra eemale, ja pange tähele, kuhu seejuures on liikunud tehtud märgid. Osutub, et ülemine märk A on edasi nihkunud tunduvalt enam kui alumine (B), mille nihe kepi suhtes on väike.

### **Ratta kõige aeglasem osa.**

Niisiis, liikuva vankri kõik punktid ei nihku edasi ühesuuruse kiirusega. Missugune veereva ratta osa liigub kõige aeglasemalt?

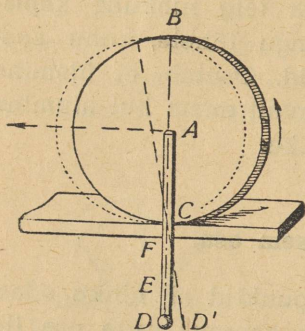
Pole raske mõista, et kõige aeglasemalt liiguvad need ratta osad, mis antud momendil puutuvad kokku maaga. Õieti öeldes: kokkupuute hetkel on need rattaosad täiesti liikumatud.

Kõik eespoolöeldu on õige ainult veereva ratta kohta, mitte aga ratta kohta, mis pöörleb liikumatu telje ümber. Näiteks hooratta põia ülemised ja alumised osad liiguvad ühesuuruse kiirusega.

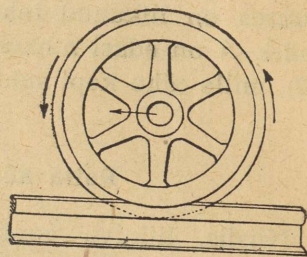
### **Ülesanne, mis pole naljaasi.**

Veel üks, mitte vähem huvitav ülesanne, mis on koostatud „Looduse paradokside“ autori Hampson'i poolt. Kas on olemas rongis, mis kihutab näiteks Leningradist Moskva, punkte, mis raudtee muldkeha suhtes liiguvad vastupidises suunas — Moskvast Leningradi?

Selgub, et igas vagunis igal momendil on olemas vähemalt neli (või kaheksa) sellist punkti. Kus asetsevad need punktid?



Joonis 11. Katse sõõri ja tuletikuga. Kui ratas veereb vasakule, liiguvad tiku üleulatava osa punktid *F*, *E* ja *D* vastupidises suunas.

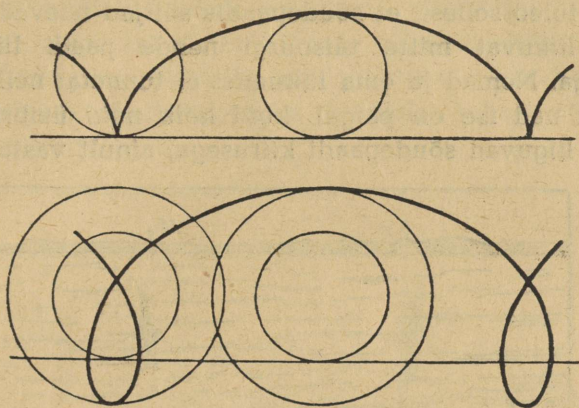


Joonis 12. Kui raudteerongi ratas veereb vasakule, liiguvad ratta üleulatava ääre osad paremale, seega vastasuunas.

Teil on muidugi teada, et raudteevaguni ratta põial on üleulatuv äär (rebord). Selle ääre kõige madalam punkt nihkub rongi liikumisel mitte ette-, vaid tahapoole! Seda on kerge kindlaks teha järgmise katsega. Väikesele sõõrile, näiteks mündile või nõobile, kinnitage vaha abil tuletikk nõnda, et see puutuks sõõriga kokku piki raadiust ja ulatuks üsna palju üle sõõri ääre. Kui nüüd toetada sõõri joonlaua servale punktis *C* (joon. 11) ja teda veeretada paremalt vasakule, siis nihkuvad tuletiku üleulatava osa punktid *F*, *E* ja *D* mitte edasi, vaid tagasi. Mida kaugemal on punkt sõõri servast,

seda enam ta nihkub tagasi sõõri veeremisel (punkt  $D$  nihkub asukohta  $D'$ ).

Raudteevaguni ratta rebord liigub samuti nagu tule-  
tiku üleulatuv osa meie katsel (joon. 12).



Joonis 13. Ülal on kujutatud see kõverjoon (tsükloid), mida mööda liigub veereva ratta põia iga punkt. All on kõverjoon, mida mööda liigub raudteerongi ratta üleulatava osa (rebordi) punkt.

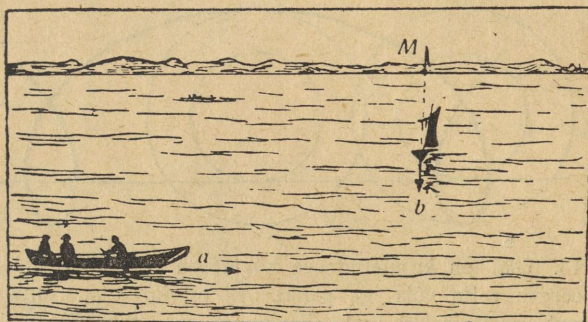
Teid ei tohiks nüüd imestama panna, et kihutavas rongis on olemas punkte, mis liiguvad mitte ette-  
vaid tahapoole. Tõsi küll, see liikumine kestab ainult murdosa sekundist, aga kuidas asi ka ei oleks, siiski esineb kihutavas rongis meie tavaliste kujutluste kiuste ka vastassuunaline liikumine. Öeldut selgitavad joonised 12 ja 13.

### Kust ujus paat?

Oletame, et sõudepaat liigub järvel ja nool  $a$  joonisel 14 kujutab paadi kiirust suuna ja suuruse poolest. Ees, risti paadi suunaga, liigub purjepaat; nool  $b$  kujutab selle kiirust suuna ja suuruse poolest. Kui teilt, lugeja,

küsida, kust kohast kaldalt sõitis välja purjepaat, siis te muidugi ütlete, et kaldalt punktist *M*. Kui aga pöörduda sama küsimusega sõudepaadis sõitjate poole, siis nimetaksid nad hoopis teist punkti. Mispärast?

See tuleb sellest, et sõudepaadis sõitjad näevad purjepaati liikuvat mitte täisnurgi nende paadi liikumissuunaga. Nemad ju oma liikumist ei tunnetata: neile paistab, et nad ise on paigal, kuid kõik neid ümbritsevad kehad liiguvad sõudepaadi kiirusega, ainult vastupidises

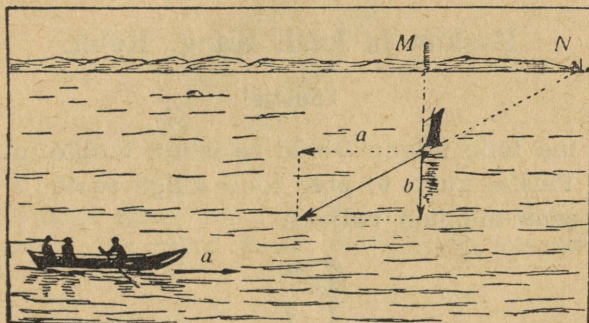


Joonis 14. Purjepaat sõidab sõudepaadi eest mööda. Nooled *a* ja *b* kujutavad kiirusi. Mida näevad sõudjad?

suunas. Seepärast liigub nende suhtes purjepaat mitte ainult noole *b* suunas, vaid ka suunas, mida näitab punktiiriga märgitud nool *a* (joon. 15). Purjepaadi mõlemad kiirused, tõeline ja näiv, liidetakse rööpküliku reegli järgi. Tulemuseks on, et sõudepaadis sõitjaile paistab purjepaat liikuvat *a* ja *b* põhjal ehitatud rööpküliku diagonaali mööda ja näib olevat välja sõitnud mitte punktist *M*, vaid kaugemal eespool asetsevast punktist *N*.

Samuti liikudes Maaga mööda tema orbiiti ja puutudes kokku kiirtega tähtedelt, otsustame valesti nende kiirte

lähtekohtade üle; teeme täpselt sama vea, mille tegid sõudepaadis sõitjad purjepaadi väljasõidukoha määramisel. Tähed näivad meile nihutatuina veidi ette Maa liikumise suunas. Muidugi on Maa liikumise kiirus kaduv-väike (10 000 korda väiksem) võrreldes valguse kiirusega; seepärast on ka tähtede näiv edasinihkumine väike. Siiski on võimalik seda nähtust, mida nimetatakse valguse aberratsiooniks, kindlaks teha astronoomiliste riistade abil.



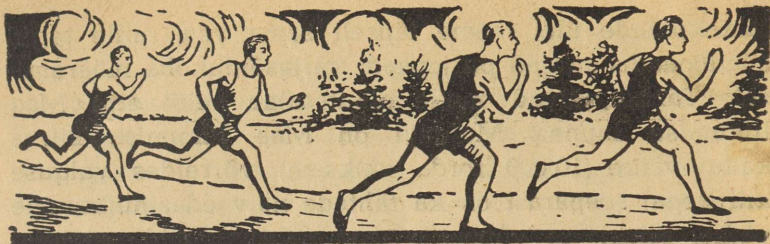
Joonis 15. Sõudjatele paistab, et purjepaat ei sõida nende suunaga risti, vaid kaldu: mitte punktist  $M$ , vaid punktist  $N$ .

Kui sellised küsimused teid huvitama hakkavad, siis katsuge paadiülesande andmeid muutmata ütelda:

1) Missuguses suunas liigub sõudepaat purjepaadi sõitjate suhtes?

2) Kuhu suundub sõudepaat purjepaadi sõitjate arvates?

Selleks, et vastata neile küsimustele, tuleb teil joonel  $a$  (joon. 15) ehitada kiiruste rööpkülik. Rööpküliku diagonaal näitab, et purjepaadi suhtes näib sõudepaat liikuvat nii, nagu kavatsetak스 sõita kaldale.



Teine peatükk.

## Raskus ja kaal. Kang. Rõhk.

### Tõuske!

Kui ma teile ütlen: „Nüüd te istute toolile nii, et ei suuda tõusta, kuigi te pole tooli külge seotud,“ siis te peate seda muidugi naljaks.

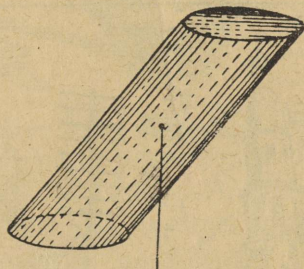


Joonis 16. Sellises asendis pole võimalik toolilt tõusta.

Hüva. Istuge nõnda, nagu istub inimene, kes on kujutatud joonisel 16. Ta hoiab keha sirge ja jalad ei

ole tal tooli all. Katsuge nüüd tõusta, ilma et te jalgade asendit muudaksite ja keha ettepoole kallutaksite.

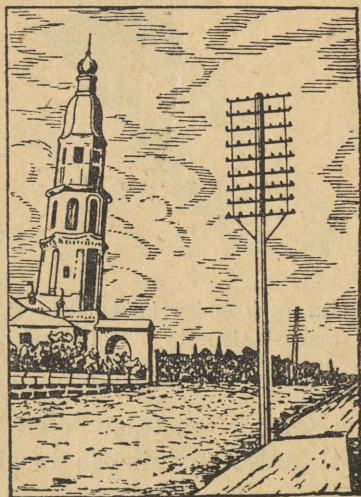
Mis, kas ei õnnestu? Ei mingisuguse lihaste pingutusega ei lähe teil korda toolilt tõusta, kui te jalgu tooli alla ei lükka või keha ettepoole ei kalluta.



Joonis 17. Selline silinder peab ümber kukkuma, sest püstjoon, mis on tõmmatud selle raskuskeskmest, ei läbi silindri toetuspinna.

Et mõista, miks see nii on, tuleb meil veidi vestelda kehade tasakaalust üldse ja inimese tasakaalust eraldi. Seisev ese ei kuku ümber ainult siis, kui raskuskeskmest tõmmatud püstjoon kulgeb seespool toetuspinna piirjoont. Seepärast peab kaldsilinder (joon. 17) tingimata ümber kukkuma; kui ta oleks nii lai, et tema raskuskeskmest tõmmatud püstjoon kulgeks seespool tema põhja piirjoont, siis ei kukuks ta ümber. Niinimetatud „viltused tornid“ — Pisas, Bolognas — või „langev kellatorn“ Arhangelskis (joon. 18) ei kuku samuti ümber, hoolimata nende kallakusest, sest nende raskuskeskmest tõmmatud püstjoon ei lähe välja nende aluse piirjoonest. (Teiseks põhjuseks on muidugi ka see, et neil on alusmüür maa sees.)

Seisev inimene ei kuku ümber ainult niikaua, kui tema raskuskeskmest tõmmatud püstjoon läbib tema labajalgade poolt piiratud pinda (joon. 19). Seepärast ongi nii raske seista ühel jalal; veelgi raskem on seista köiel: toetuspind on väga väike ja raskuskeskmest tõmmatud püstjoon võib sellest kergesti välja minna (joon. 20). Kas olete tähele pannud, milline imelik kõn-



Joonis 18. „Langev” kellatorn Archangelskis (vanaaegse foto järgi).

nak on vanadel „merekarudel”? Veetes kogu elu liikuval laeval, kus nende raskuskeskmest tõmmatud püstjoon võib igal sekundil välja minna labajalgade poolt piiratud pinnast, on meremehed omandanud harjumuse käia nõnda, et nende keha toetuspind oleks võimalikult suur (s. o. harkisjalu). See annab meremeestele vajaliku stabiilsuse liikuval pardal; on ka loomulik, et see harjumus säilib kõndimisel kuival maal. Võib tuua ka vastu-

pidise näite, kus tasakaaluseisund tingib poosi ilu. Kas olete täheldanud, milline harmooniline kuju on inimesel, kes kannab pea peal kandamit? Kõigile on tuntud kannu



Joonis 19. Kui inimene seisab, siis läbib tema raskuskeskmest tõmmatud püstjoon jalataldade poolt piiratud pinda.

pea peal kandvate naiste kaunid raidkujud. Kandes koormat pea peal on paratamatult tarvilik hoida pead ja keha sirgelt püsti: vähimigi kallutamine ähvardab



Joonis 20. Käimine köiel.

raskuskeskmest (mis asetseb antud juhul kõrgemal tavalisest) tõmmatud püstjoont välja viia aluse piirjoonest ja keha tasakaal on siis rikutud.

Pöördugem tagasi istuva inimese püstitõusmise katse juurde. Istuva inimese raskuskese asetseb keha sees, selgroo lähedal, umbes 20 cm kõrgemal nabast. Tõm-make sellest punktist püstjoon alla: see läbib tooli labajalgade tagant. Selleks aga, et inimene võiks seista, peab see joon labajalgade vahelt läbi minema.

Tähendab, et tõusta, peame end rinnaga ette kallutama, viies seejuures raskuskeskme ette, või jälle jalad tooli alla nihutama, et neid viia raskuskeskme alla. Toolilt tõusmisel me harilikult teemegi seda. Kui meile aga ei lubata seda teha, on võimatu püsti tõusta, nagu veendusime kirjeldatud katsest.

### Kõndimine ja jooks.

See, mida te teete kümneid tuhandeid kordi päevas terve eluea jooksul, peaks teile hästi tuntud olema. Nii arvatakse, kuid see pole igakord kaugeltki õige. Parim näide on kõndimine ja jooks. On siis veel midagi tuttavamat kui niisugune liikumine? Aga kui palju leidub inimesi, kellel on selge kujutlus sellest, kuidas kõndimisel ja jooksul liigub meie keha ja mille poolest erinevad need kaks liikumist? Kuulakem, mida räägib füsioloogia kõndimisest ja jooksmisest<sup>1</sup>. Olen veendunud, et enamikule on see kirjeldus täiesti uudne.

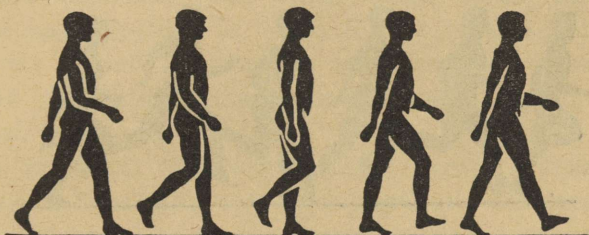
„Oletame, et inimene seisab ühel jalal, näiteks paremal. Kujutlegem, et see inimene kergitab oma kanda, kallutades seejuures keha ette<sup>2</sup>. On arusaadav, et nii-

---

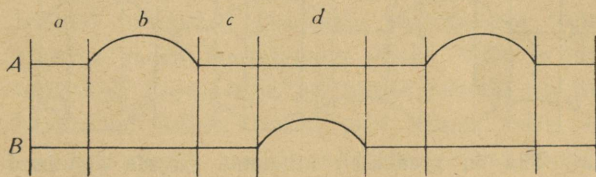
<sup>1</sup> Katkendi tekst on võetud Paul Baer'i „Zooloogioloengutest”, illustatsioonid on lisanud autor.

<sup>2</sup> Seejuures käiv inimene, ära tõukudes toetuspinnast, avaldab sellele lisarõhumist — umbes 20 kg. Sellest muide järeldeb, et käiv inimene rõhub tugevamini maapinnale kui seisev. — J. P.

suguses asendis läheb raskuskeskmest tõmmatud püstjoon välja toetuspinna piiridest ja inimene peab kukkuma ettepoole. Kuid vaevalt on alanud langemine, kui vasak jalg, mis oli jäänud õhku rippuma, liigub kiiresti ette ja astub maapinnale raskuskeskmest tõmmatud püstjoone ette. Nüüd juba läbib see püstjoon pinda, mille moodustavad jalgade toetuspunkte ühendavad jooned. Tasakaal niiviisi taastub; inimene astus, tegi ühe sammu.



Joonis 21. Kuidas inimene kõnnib. Keha järjestikused asendid kõndimisel.

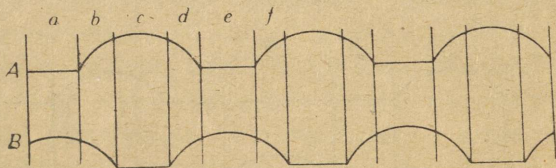


Joonis 22. Jalgade liigutuste graafiline kujutus kõndimisel (Weber'i brošüüri järgi). Ülemine joon (A) vastab ühe jala, alumine (B) teise jala liikumisele. Sirgjooned vastavad hetkedele, mil jalad toetuvad vastu maapinda, kaared aegadele, mil jalad liiguvad õhus. Graafikust on näha, et ajavahemikus *a* toetuvad mõlemad jalad vastu maad; ajavahemikus *b* on jalg A õhus, jalg B aga toetub veel vastu maapinda; ajavahemikus *c* toetuvad jälle mõlemad jalad vastu maad. Mida kiirem on kõndimine, seda lühemaks muutuvad vahemikud *a* ja *c* (vrd. jooksu graafikuga joon. 24).

Ta võib selles üsna pingutavas asendis ka seisma jääda. Kui ta aga tahab edasi minna, siis kallutab ta veel rohkem oma keha ette, viies raskuskeskmest tõmmatud püstjoone toetuspinna piiridest välja, ja lükkab ähvardava langemise vältimiseks jala ette, nüüd juba mitte vasaku, vaid parema, tehes uue sammu. Siit nähtub, et kõndimine pole midagi muud kui rida ettepoole kukkumisi, mida aga ennetatakse jala õigeaegse ettelükkamisega.



Joonis 23. Kuidas inimene jookseb. Keha järjestikused asendid jooksul. (On olemas momente, mil mõlemad jalad on õhus.)



Joonis 24. Siin on graafiliselt kujutatud jalgade liigutused jooksul (vrd. joonisega 22). Graafikust on näha, et jooksul on ajavahemikke (*b*, *d*, *f*), kus mõlemad jalad on õhus. Selle poolest erinebki jooks kõndimisest.

Jälgime asja veidi lähemalt. Oletame, et esimene samm on tehtud. Sel hetkel parem jalg puudutab veel maad, vasak on aga maha astumas. Kui samm pole väga lühike, siis peab parem kand pisut kerkima, sest kann ülestõstmine võimaldab nimelt keha ette kallu-

tada ja tasakaalust välja viia. Vasak jalg astub maha esmalt kannaga. Kui pärast seda on terve tald maaga kokku puútnud, hakkab parem jalg tõusma. Samal ajal põlvest veidi painutatud vasak jalg sirgeneb puusalihase kokkutõmbumise tagajärjel ja muutub hetkeks püstiseks. See lubab pooleldi painutatud paremal jalal maad puudutamata liikuda ette ja keha liikumist järgides astuda kannaga maha just õigel ajal, et teha järgmist sammu (joon. 21, vasakult paremale).

Sama liikumiste rida algab nüüd ainult varvastega vastu maad toetuva ja varsti tõusva vasaku jala juures.

Jooks erineb kõndimisest selle poolest, et maa peal seisev jalg äkilisel lihaste kokkutõmbel sirutub välja ja lükkab keha ette nõnda, et hetkeks keha eraldub maast. Siis langeb keha uuesti teisele jalale, mis keha õhusoleku ajal oli kiiresti ette liikunud. Jooks koosneb seega ühelt jalalt teisele sooritatavate hüpete reast" (joon. 23, paremalt vasakule).

Mis puutub energiasse, mida kulutab inimene kõndimisel horisontaalsel pinnal, siis pole see võrdne nulliga, nagu mõned arvavad: jalakäija raskuskese tõuseb iga sammu puhul mõne sentimeetri võrra. Võib arvutada, et töö kõndimisel horisontaalset pinda mööda on üks viieteistkümnendik sellest tööst, mis tuleks teha, et tõsta jalakäijat kõrgusele, mis on võrdne läbitud teega<sup>1</sup>.

### **Kas liikuvast vagunist tuleb hüpata liikumise suunas?**

Kui kellelegi see küsimus esitada, siis saate muidugi vastuseks: „Kui tarvis, siis tuleb seda teha inertsi-

---

<sup>1</sup> Arvutus leidub prof. V. P. Gorjatškini brošüüris „Elavate jõumasinate töö”, 1914. a.

seaduse põhjal." Paluge siiski põhjalikumalt seletada, mis on siin asja inertsil. Võib ette öelda, mis siis sünnib: teie kaasvestleja hakkab kindlasti oma mõtet tõestama; ja kui teda mitte takistada, peatub ta varsti arusaamatuses: selgub, et inertsil põhjal tuleb hüpata otse vastupidi, rongi liikumisele vastassuunas.

Tõepoolest, inertsiseadus etendab siin kõrvalist osa; peapõhjuseks on midagi muud. Kui me selle peapõhjuse kõrvale jätame, siis tuleme tõesti otsusele, et tuleb hüpata tahapoole, mitte ettepoole.

Olgu teil paratamatult tarvis sõitvast rongist välja hüpata. Mis siis sünnib?

Kui me hüppame liikuvast vagunist, siis püüab meie keha inertsil põhjal vaguni kiirusega veel edasi liikuda. Hüpates ettepoole me muidugi ei hävita vaguni kiirust, vaid suurendame seda.

Siit järeldub, et oleks tarvis hüpata tahapoole, mitte aga ettepoole rongi liikumise suunas. Hüppel tahapoole tuleb inertsil tõttu kehal olevast kiirusest lahutada kiirus, mida kehale annab hüpe; tulemus on see, et kokkupuutel maapinnaga paiskume väiksema kiiruse tõttu vähema hooga ümber.

Siiski, kui on tarvis liikuvast vagunist välja hüpata, hüppavad kõik ettepoole, rongi liikumise suunas. See on tõesti parem ja niivõrd äraproovitud viis, et me tungivalt hoiatame lugejaid mitte hakata omal nahal proovima neid ebamugavusi, mis võiksid tekkida liikuvast rongist tahapoole hüppamisel.

Milles siis asi seisab?

Ebaõiges ja puudulikus seletuses. Kas hüppame ette või tahapoole, ikka ähvardab meid oht kukkuda, sest keha ülemine osa liigub edasi, kuna jalad maaga kokku

puutudes jäävad seisma<sup>1</sup>. See kiirus on hüppel ettepoole isegi suurem kui hüppel tahapoole. Oluliselt tähtis on aga see, et kukkumine ettepoole on palju ohtum kui kukkumine seljale. Esimesel juhul lükkame harjumusliku liikumisega jala ette (või jälle suurema kiiruse puhul jookseme vaguniga veidi kaasa) ja sellega ennetame kukkumise. See liikumine on meile harjumuslik, sest me teeme seda kogu eluaja. Nagu nägime eelmises artiklis, on kõndimine mehhaanika seisukohalt rida kukkumisi ettepoole, mida enneta- takse jala etteliikumisega. Kukkumisel seljale ei saa seda päästevahendit kasutada ja see- pärast on oht siin palju suurem. Lõpuks on ka tähtis see, et kui me tõepoolest ettepoole kukume, võime ennast kaitsta käte ettesirutamisega; kukkumisel seljale me seda teha ei saa.

Tähendab, põhjus, miks on ohtum hüpata vagunist ettepoole, seisneb mitte inertsiseaduses, vaid meis endis. On selge, et see juhis ei kehti elutute esemete kohta: pudel, visatuna vagunist ettepoole, võib kerge- mini katki minna kui viskel vastupidises suunas. See- pärast, kui meil on vaja vagunist välja hüpata ja enne tahame visata oma pagasit, siis teeme seda nii, et vis- kame pakid tahapoole, ise aga hüppame ette- poole. Muidugi on kõige targem sõitvast rongist üldse mitte välja hüpata.

Kogunud ametimehed, nagu trammikonduktorid ja -kontrolörid, sageli toimivadki nõnda: hüppavad taha- poole, kuid näoga rongi liikumise suunas. Sellega saavutatakse kahekordne paremus:

---

<sup>1</sup> Kukkumist sel puhul võib seletada ka teisiti (vaata „Huvitava mehhaanika” III peatükis artiklit „Millal rõhtjoon pole rõhtne?”).

vähendatakse kiirust, mis kehal on inertsia tõttu, ja ennetatakse seljale kukkumise oht, sest hüppaja on näoga võimaliku kukkumise suunas.

### **Püssikuuli käega kinni võtmas.**

Imperialistliku sõja ajal, nagu kirjutasid ajalehed, juhtus ühe prantsuse lenduriga täiesti ebaharilik lugu. Lendur, lennates kahe kilomeetri kõrgusel, märkas, et tema näo läheduses liigub mingi väike ese. Arvates, et see on putukas, haaras lendur kiiresti selle järele. Võite kujutleda lenduri imestust, kui osutus, et ta oli kinni püüdnud saksa püssikuuli.

Kas pole tõsi, et see lugu meenutab legendaarse paruni Münchhauseni juttu, milles see kätega kinni püüdis kahurikuuli.

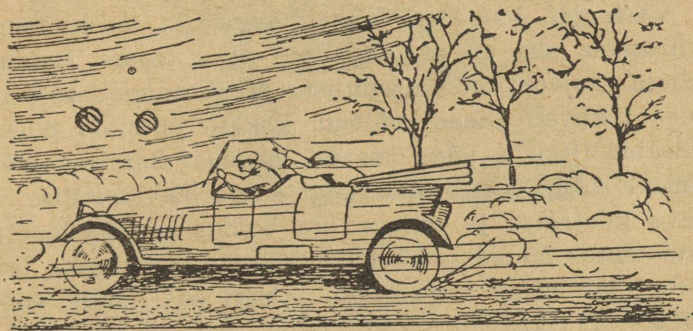
Aga muide, teates kuuli kinnipüüdnud lendurist pole midagi võimatut.

Nimelt ei liigu kuul kogu aja oma algkiirusega 800—900 meetrit sekundis. Õhutakistuse tõttu kuuli kiirus järjest väheneb ja lennu lõpul on ta kiirus vaid umbes 40 meetrit sekundis. Niisugune kiirus aga võib olla ka lennukil. Täheandab, võib juhtuda, et lennukil ja kuulil on ühesugune kiirus; siis on kuul lennuki suhtes kas paigal või liigub peaaegu märkamatu. Pole siis raske haarata kuuli käega, eriti kindaga, sest kuul soojeneb läbi õhu tungides umbes saja kraadini.

### **Arbuus-pomm.**

Kui kuul võib teatavil tingimustel kahjutuks muuta, siis on võimalik ka vastupidine juhtum: „süütu“ keha, visatuna tühise kiirusega, võib avaldada hävitavat mõju. Ühe autovõidusõidu ajal tervitasid Kaukaasia

külade talupojad möödakihutavaid autosid sellega, et viskaside sõitjatele arbuuse, meloneid ja õunu. Nende süütute kingituste mõju aga ei osutunud meeldivaks: arbuusid ja melonid muljusid ja lõid lommi autokeresid, õunad aga, tabades reisijaid, vigastasid neid tõsiselt. Põhjus on arusaadav: auto omakiirus liitus visatud arbuusi või õuna kiirusega ning arbuusid ja õunad muutusid ohtlikeks, purustavaiks mürskudeks. Pole



Joonis 25. Arbuus, mis on kiiresti kihutavale autole vastu visatud, muutub „pommiks”.

raske arvutada, et kümnegrammisel kuulil on niisama suur liikumisenergia kui 4-kilogrammisel arbuusil, visatud kihutavasse autosse, mille kiirus on 120 km tunnis.

Niisugustel juhtudel pole arbuusi läbilöögivõime muidugi võrreldav kuuli mõjuga, sest arbuusil puudub kuuli kõvadus.

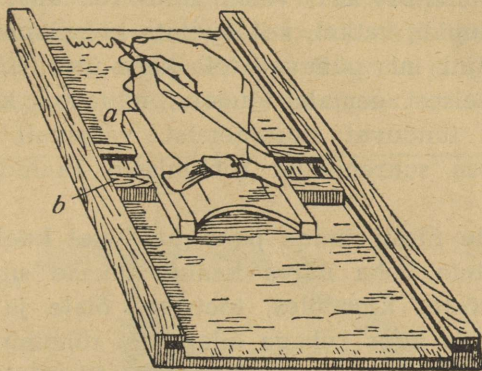
Kui lennuasjandus on jõudnud kord niikaugemale, et lennukid kihutavad atmosfääri ülemistes kihtides (nn. stratosfääris) kiirusega kuni 3000 km tunnis, s. o. kuuli kiirusega, siis tuleb lendureil väga tihti kokku puutuda nähtustega, mis meenutavad ülalkirjeldatut. Nimelt iga ese, millega niisugune ülikiire lennuk kokku puutub, muutub temale

hävita vaks mürsuks. Peale lennata peotäiele kuulidele, mis on lihtsalt alla kukkunud teisest lennukist, ka siis, kui need lennukile mitte vastu ei lenda, on sama kui langeda kuulipilduja tule alla: langevad kuulid pörkavad lennukiga kokku sama jõuga, millega kuulipilduja kuulid läbistaksid lennuki. Et suhtelised kiirused on mõlemal juhul ühesuurused (lennuk ja kuul lähenevad teineteisele kiirusega umbes 800 meetrit sekundis), siis on ka kokkupuute hävitavad tulemused võrdsed.

Vastupidi, kui kuul lendab lennukile järele lennuki kiirusega, siis on ta, nagu me juba teame, lennukile ohutu. Asjaolu, et ühesuuruste ja ühesuunaliste kiirustega liikuvad kehad võivad kokku puutuda pörketa, kasutas 1935. a. väga osavalt masinist Borštšev, võttes ilma kokkupörketa oma rongi külge 36-vagunilise vee-  
reva koosseisu ja sellega ära hoides raudteeõnnetuse. See juhtus Lõuna raudteel Jelnikovo ja Olšanka jaama vahel järgmistel asjaoludel. Rongi ees, mille veduri-  
juhiks oli Borštšev, sõitis teine rong. Auru puudusel jäi eesmine rong seisma; selle rongi vedurijuht sõitis üksikute vagunitega edasi järgmisse jaama, jättes teele maha ülejäänud 36 vagunit. Need vagunid, olles pidurdamata, hakkasid kallakul tagasi liikuma kiirusega 15 km tunnis, ähvardades seejuures Borštševi rongile peale sõita. Nähes ohtu, peatas leidlik masinist oma rongi ja hakkas tagasi liikuma, viies ka oma rongi kiiruse 15 km-ni tunnis. Tänu sellele manöövri-  
le õnnestus tal liita oma rongiga vähima vigastuseta kõik 36 vagunit.

Samale põhimõttele rajaneb riist, mis tunduvalt kergendab kirjutamist liikuvast rongis. Kirjutada liikuvast rongis on vaevaline seepärast, et tõuked rööbastest vahekohtades ei andu paberile ja sulleotsale edasi ühe-

aegselt. Kui korraldada nii, et paber ja sulleots saaksid t ukeid samaaegselt, siis oleksid nad teineteise suhtes paigal ja kirjutamine liikuvast rongis ei teeks raskusi.



Joonis 26. Seade, mis lubab hõlpsasti kirjutada liikuvast rongis.

Seda saavutatakse t anu riistale, mis on kujutatud joonisel 26. K si sullepeaga kinnitatakse rihma abil lauakesele *a*, mis võib vabalt liikuda liistu *b* nuutides. See liist omakorda liigub teise vagunilauale asetatava lauakese nuutides. Nagu näeme, on käsi küllaldaselt liikuv, et kirjutada tähti ja ridu. Seejuures iga tõuge, mille saab paber, andub otsekohe ja niisama tugevasti edasi sulge hoidvale k elele. Sellistel tingimustel on kirjutamine liikuvast rongis niisama mugav kui seisvaski; takistuseks on vaid see, et pilk liigub paberil n ksakutega, sest pea ja käsi ei saa t ukeid üheaegselt.

### Kaalude platvormil.

K mnendkaalud näitavad teie kaalu õigesti ainult siis, kui seisate kaalude platvormil täiesti liikumatult.

Te kummardute — ja kaalud näitavad kohe vähendatud kaalu. Mispärast? Seepärast, et lihased teie keha ülemist osa alla painutades tõmbavad samal ajal üles teie keha alumist osa, vähendades rõhumist toetuspinnaile. Vastupidi, hetkel, mil lõpetate keha kummardamise lihaste mõjul, mis püüavad teie keha ülemist ja alumist osa teineteisest eemale tõugata, näitavad kaalud teie kehakaalu tunduvalt suurenemist, vastavalt teie keha alumise osa suurendatud rõhumisele kaalude platvormile.

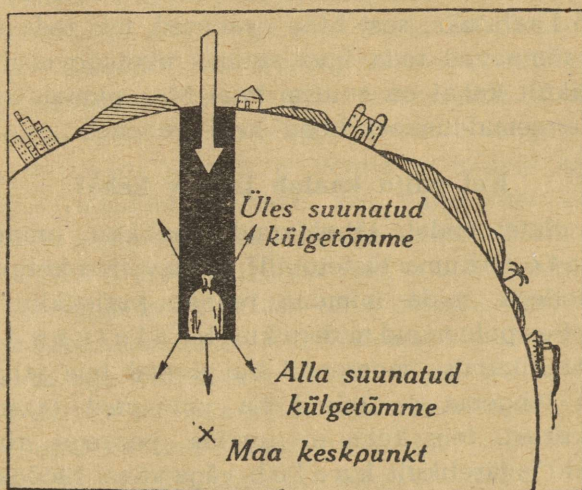
Isegi käe ülestõstmine peab tundlikel kaaludel esile kutsuma teie keha näiva kaalu väikese suurenemise. Lihased, tõstes kätt üles, toetuvad õlale ja järelkult lükkavad õla koos kehaga allapoole: rõhumine kaalude platvormile suureneb. Kui peatate ülestõstetava käe, tõmbavad vastupidised lihased õlga ülespoole, püüdes teda lähendada käele, ja rõhumine toetuspinnaile, seega ka keha kaal väheneb.

Vastupidi, lastes kätt alla kutsume selle liikumisega esile oma kehakaalu vähenemist, käe seisumajätmisel aga kaalu suurenemist.

### **Kus on kehad raskemad?**

Tung, millega Maa kehasid külge tõmbab, väheneb kehade eemaldumisega maakera pinnalt. Kui tõstaksime ühekilogrammise vihi 6400 km kõrgusele, s. o. eemaldaksime ta maakera keskpunktist Maa kahe raadiuse kaugusele, siis väheneks maakera külgetõmbetus  $2 \times 2$ , s. o. 4 korda ja viht kaaluks vedrukaalul 1000 g asemel ainult 250 g. Vastavalt külgetõmbeseadusele tõmbab maakera kehasid külge nõnda, nagu oleks kogu ta mass koondunud tema keskpunkti, ja tema külgetõmbetus

väheneb pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga. Meie juhtumil suurenes vihi kaugus maakera keskpunktist kaks korda ja külgetõmbetung vähenes  $2^2$ , s. o. 4 korda. Eemaldades vihi 12 800 km võrra maakera pinnalt, seega suurendades tema kaugust Maa keskpunktist kolm korda, väheneb külgetõmbetung  $3^2$ , s. o. 9 korda ja 1000-grammine viht kaaluks ainult 111 grammi jne.



Joonis 27. Mispärast maa sisse laskumisel raskustung väheneb.

Loomulikult tekib siin mõte, et viies kaaluvihhi Maa sisse, s. o. lähendades teda meie planeedi keskpunktile, peaksime märkama külgetõmbe suurenemist: kaaluvihhi peaks Maa sees rohkem kaaluma. See arvamus pole õige: Maa sisse tungimisel kehade kaal ei suurene, vaid väheneb. Seda nähtust seletatakse nii, et keha Maa sisse tungimisel Maa külgetõmbavad osad ei asetse enam ühel pool keha, vaid juba kahel pool. Heitke pilk jooni-

sele 27. Te näete, et kaaluviht Maa sees tõmmatakse temast allpool asetsevate Maa osakeste poolt allapoole, samal ajal aga temast ülalpool asetsevate osakeste poolt ülespoole. Võib tõestada, et lõpptulemusena on oluline ainult külgetõmbetung selle kera poolt, mille raadius võrdub keha kaugusega Maa keskpunktist. Seepärast keha kaal Maa sisse tungimisel väheneb kiiresti. Tulles Maa keskpunkti on keha oma kaalu kaotanud: keha muutub kaalutuks, sest Maa osakesed, mis teda ümbritsevad, tõmbavad teda igas suunas ühetugevuselt.

Järelikult kehal on suurim kaal Maa pinnal. Siit üles või alla eemaldumisel keha kaal väheneb<sup>1</sup>.

### **Kui palju kaalub langev keha?**

Kas olete endal täheldanud imelikku tunnet, kui h a k k a t e laskuma tõstetoolil? Ebatavaline kergus, sarnane sellega, mida inimene tunneb kuristikku langedes... See pole muud midagi kui k a a l u t u s e t u n n e esimesel liikumise momendil, kui põrand teie jalgade all hakkab langema ja teie keha pole veel omandanud sama kiirust, teie keha ei avalda peaaegu rõhumist põrandale ja järelikult k a a l u b väga vähe. Möödub hetk ja see imelik tunne kaob; teie keha, püüdes langeda kiiremini kui ühtlaselt liikuv tõstetool, hakkab jälle põrandale rõhumist avaldama ja saab tagasi oma täieliku kaalu.

Riputage kaaluviht vedrukaalu konksu külge ja jälgige kaalu osutit, kui kaal ühes vihiga hakkab kiiresti

---

<sup>1</sup> See oleks nii, kui maakera tihedus oleks igal pool ühesugune. Tõeliselt aga suureneb Maa tihedus keskpunkti poole; seepärast siis kehade kaal Maa sisse tungimisel esialgu suureneb ja alles siis algab kaalu kahanemine. Millises sügavuses on kehadel suurim kaal, pole teada.

langema (hõlpsam on jälgida kaalu väljalõikesse paigutatud korgituki asendi muutumist). Te veendute, et langemise ajal osuti ei näita täiskaalu, vaid tunduvalt vähem! Kui kaal langeks vabalt ja teil oleks võimalus jälgida seejuures osutit<sup>1</sup>, siis võiksite tähele panna, et kaaluvihht sellel langemisel ei kaalu midagi: osuti püsib nulli juures.

Ka raskem keha näib kogu langemise ajal täiesti kaalutuks muutuvat. On kerge aru saada, mispärast asi nii on. Keha „kaaluks“ me nimetame tungi, millega keha tõmbab rippepunkti või surub toetuspinda. Langev keha aga ei venita kaaluvedru, sest vedru langeb samuti. Niikaua kui keha langeb, ei venita ta midagi ega rõhu millelegi. Tähendab, küsida, kui palju kaalub langev keha, oleks sama, kui küsida, palju kaalub kaalutu keha.

Juba XVII sajandil kirjutas mehhaanika rajaja Galilei<sup>2</sup>: „Me tunneme koormat oma õlgadel siis, kui me takistame selle langemist. Kui hakkame liikuma allapoole sama kiirusega kui koorem meie seljal, siis kuidas võib ta meid suruda või olla meile raskuseks? See oleks sarnane sellega, kui me tahaksime odaga<sup>3</sup> tabada kedagi, kes meie ees jookseb sama kiirusega kui meie.“

Järgmine kergesti teostatav katse kinnitab näitlikult ülaltoodud arutluste õigsust.

Harilike kaalude ühele vaekausile pannakse pähkli-tangid nõnda, et tangide üks haru oleks kausil, teine

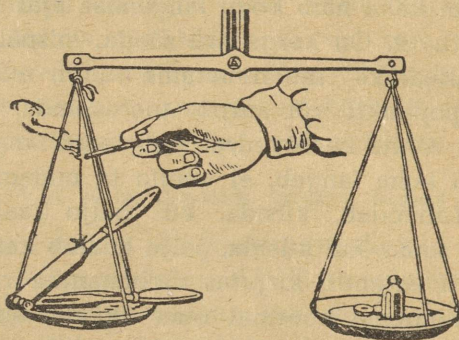
---

<sup>1</sup> Seda nähtust võib teatavais piirides teostada riistadega, mis on leiutatud prof. N. A. Ljubimovi ja hiljem prof. P. Pospelovi poolt (vt. minu raamatut „Kas tunnete füüsikat?“).

<sup>2</sup> Raamatus „Matemaatilised tõestused uue teaduse kahe haru kohta“. 1934. aastal ilmus selle tähelepanuväärse teose täielik venekeelne tõlge.

<sup>3</sup> Seda käest lahti laskmata — J. P.

haru aga oleks nöörikesse abil kaalukausi konksu külge riputatud (joon. 28). Kaalud tasakaalustatakse. Kui oleme nööri tuletikuga läbi põletanud, langeb rippuv tangide haru kaalukausile. Mis toimub sel hetkel kaaludega? Kas tangide haru allalangemise ajal tangidega koormatud kaalukauss vajub, kerkib üles või jäävad kaalud tasakaalu?



Joonis 28. Katse, mis näitab langeva keha kaalutust.

Nüüd, kui te juba teate, et langeval kehal pole kaalu, võite küsimusele anda õige vastuse: kaalukauss peab hetkeks üles kerkima.

Tõepoolest, tangide ülemine haru, hoolimata sellest, et ta on ühenduses alumise haruga, avaldab langedes sellele siiski väiksemat rõhumist kui sel korral, kui ta oleks olnud paigal. Tangide kaal hetkeks väheneb ja loomulikult kaalukauss kerkib üles (V. L. Rosenbergi katse).

### Kahurist Kuule.

Aastail 1865—1870 ilmus Prantsusmaal Jules Verne'i fantastiline romaan „Kahurist Kuule“, milles on väljenda-

tud ebaharilik mõte: saata kahurist Kuule hiiglasuur mürsk-vagun elavate inimestega! Jules Verne väljendas oma mõtte nii tõenäoliselt, et lugejate enamikul tekkis küsimus: kas tõepoolest pole võimalik seda mõtet teostada? Viimase kolmveerandsajandi jooksul on tehnika hiiglasuurte kahurite valmistamise alal nii kaugele edasi arenenud ja suurendanud sedavõrd lõhkeainete jõudu, et võib-olla juba praegu on prantsuse kirjaniku fantaasia lähedal reaalsusele.

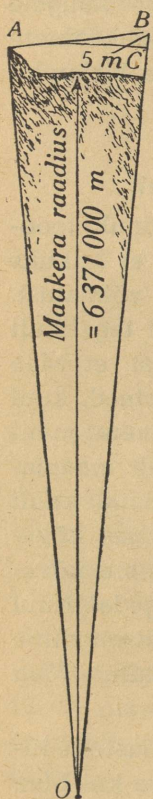
Sellest on huvitav vestelda.

Niisiis, kas on võimalik lasta mürsku Kuule?

Esmalt arutlegem, kas on võimalik, kuigi ainult teoorias, lasta kahurist mürsku nii, et see enam ei kukuks tagasi Maa peale. Teooria ei eita niisugust võimalust. Mispärast kahurist horisontaalselt lastud kuul tegelikult lõppude lõpuks langeb Maa peale? Sellepärast, et Maa kuuli külge tõmmates kõverdab tema liikumisteed, kuul ei lenda sirget, vaid Maa poole suunatud kõverat joont mööda ja seepärast varem või hiljem kohtub maapinnaga. Maapind on, tõsi küll, samuti kõver, kuid kuuli tee kõverus on palju suurem. Kui nüüd kuuli tee kõverust vähendada ja teha see võrdseks maakera pinna kõverusega, siis ei saaks kuul iialgi Maa peale langeda! Kuul hakkab liikuma mööda ringjoont, mis on kontsentriiline maakera suuringiga; teiste sõnadega, ta muutub Maa kaaslaseks, teiseks Kuuks.

Kuidas aga saavutada, et kuul kahurist väljalastuna liiguks mööda teed, mis oleks vähema kõverusega kui Maa pind? Selleks on tarvis kuulile anda küllaldaselt suur kiirus. Vaadake joonist 29, mis kujutab maakera läbilõiget. Mäel punktis A asetseb kahur. Kuul, lastuna kahurist horisontaalselt, tuleks sekundi pärast muidugi

punkti *B*, kui poleks Maa külgetõmbetungi. Aga külgetõmbetung muutab olukorda ja ühe sekundi pärast on kuul punkti *B* asemel punktis *C*, mis on 5 meetrit madalamal. Viis meetrit on selle tee pikkus, mille läbib (tühjas ruumis) Maa läheduses vabalt langev keha esimese sekundi jooksul. Et kuul viie meetri võrra langedes on ühe sekundi pärast Maa keskpunktist samal kaugusel kui punkt *A*, siis järelikult on ta liikunud ringjoonel, mis on kontsentriiline Maa suuringiga.



Joonis 29. Maa pinnalt alatiseks lahkuva mürsu kiiruse arvutamine.

Jäab vaid arvutada pikkus *AB* (joon. 29), s. o. tee, mille läbiks kuul ühe sekundi jooksul, kui ta liiguks horisontaalselt, ja me saame teada, kui suure kiirusega peab kuul kahurist välja lendama, et saavutada mainitud sihti. Seda pole raske arvutada kolmnurgast *AOB*, milles *OA* on maakera raadius (umbes 6 370 000 m):

$$OC = OA, \quad BC = 5 \text{ m}; \quad \text{järelikult } OB = 6\,370\,005 \text{ m.}$$

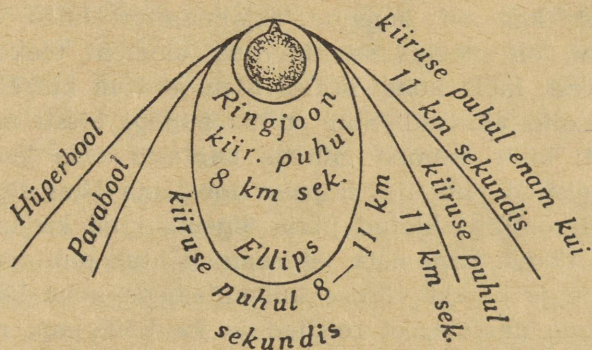
Siit saame Pythagorase teoreemi põhjal

$$AB^2 = 6\,370\,005^2 - 6\,370\,000^2.$$

Leiame, et otsitav kiirus on umbes 8 km sekundis.

Tähendab, kui poleks kiiret liikumist suuresti takistavat õhku, ei kukuks kuul, mis on välja lastud kahurist kiirusega 8 km sekundis, iialgi enam Maa peale; ta tiirleks kaaslasena ümber Maa. Niisugust kiirust aga ei suuda meie kahurid anda; moodsad kahurid annavad mürsule kiiruse, mis on neli korda väiksem.

Kui aga mürsk lendab kahurist välja veel suurema kiirusega, kuhu lendab ta siis? Taevamehhaanikas tõestatakse, et kui mürsu kiirus on 8, 9, isegi 10 km sekundis, siis hakkab ta kahurist väljalennanuna tiirlema ümber Maa ellipsit mööda, mis on seda rohkem pikergune, mida suurem on mürsu algkiirus.



Joonis 30. Mis juhtub kahurimürsuga, mis on välja lastud algkiirusega 8 ja enam kilomeetrit sekundis.

Kui aga mürsu kiiruseks on umbes 11 km sekundis, siis liigub ta ellipsi asemel mööda lahtist kõverjoont, parabooli, seejuures jäädavalt Maast kaugenedes (joon. 30).

Järelikult me näeme, et teoreetiliselt on mõeldav lennata mürsuga Kuu peale, kui mürsul on küllaldaselt suur kiirus<sup>1</sup>.

(Ulaltoodud arutlus on kehtiv keskkonnas, mis ei takista mürsu liikumist. Reaalseis tingimustes aga ras-

<sup>1</sup> Siinjuures võivad siiski esineda teist laadi raskused. Üksikasjalisemalt arutatakse seda küsimust „Huvitava füüsika” teises osas, samuti minu teises raamatus „Planeetidevahelised reisud”.

kendab suurte kiiruste saavutamist erakordselt õhkkonna olemasolu ja võib-olla teeb need täiesti kättesaamatuks.)

### **Kuidas Jules Verne kirjeldas teekonda Kuule ja kuidas see reis oleks pidanud toimuma.**

Sellel, kes on lugenud äsjamainitud Jules Verne'i romaani, on meeles see huvitav moment teekonnast, kui mürsk läbis koha, milles Maa ja Kuu külgetõmbetungid olid võrdsed. Siin juhtus midagi tõesti muinasjutulist: kõik esemed mürsus kaotasid oma kaalu ja isegi reisijad jäid üles hüpates toetuseta õhus rippuma. See pilt on kirjeldatud päris õigesti, kuid kirjanik oli jätnud tähele panemata, et sama nähtus pidi toimuma ka enne ja pärast võrdse külgetõmbega koha läbimist. On kerge näidata, et reisijad ja ka kõik muu mürsus pidid muutuma kaalutuks juba alates lennu esimesest momendist.

See ei näi tõenäolisena, aga ma olen kindel, et te varsti ise imestate, kuidas te pole varem niisugust ebatäpsust tähele pannud. Võtame näite Jules Verne'i romaanist. Pole kahtlust, et te pole unustanud, kuidas reisijad mürsust välja paiskasid koera korjuse ja siis suure imestusega märkasid, et korjus ei liigu mitte Maa poole, vaid jätkab oma liikumist koos mürsuga. Kirjanik kirjeldas seda nähtust õigesti ja andis sellele ka õige seletuse. Nagu meile teada, langevad tühjas ruumis tõeliselt kõik kehad ühte viisi, Maa külgetõmbetung annab kõigile kehadele ühesuuruse kiirenduse. Antud juhul pidid mürsk ja koera korjus Maa külgetõmbetungi mõjul saama ühesuguse langemiskiiruse (ühesuguse kiirenduse), õigemini, nende kiirus, mille nad said väljalennul

kahurist, vähenes külgetõmbetungi mõjul ühteviisi. Järelikult pidid mürsu ja korjuse kiirus kõigis punktides võrdsed olema ja koera korjus pidi väljavisatuna mürsule mitte maha jäädes järgnema.

Kuid romaani kirjutaja ei mõelnud järgmisele asjaolule. Kui koera korjus, olles v ä l j a s p o o l mürsku, ei lange Maa poole, siis miks peaks ta langema, olles mürsu s e e s? Mõjuvad ju nii siin kui ka seal ühesugused tungid. Koera keha, asetatuna mürsku, jääb siiski õhku rippuma: tal on sama kiirus kui mürsul ja ta on seega m ü r s u s u h t e s paigalolekus.

See, mis on õige koera korjuse kohta, peab õige olema ka reisijate ja kõigi mürsus olevate esemete kohta: igas teekonna punktis on neil sama kiirus kui mürsul, tähendab, nad ei tohi kukkuda ka siis, kui nad jäävad ilma toeta. Lendava mürsu põrandalt võime asetada tooli jalgadega ülespoole lae alla ja ta ei kuku „maha“, sest tema kiirus on niisama suur kui lael. Ka reisija võib sellel toolil istuda pea allapoole, ta ei kuku mürsu põrandale. Missugune tung võiks teda kukkuma panna? Kui ta kukuks, s. t. kui ta läheneks põrandale, siis peaks mürsk ruumis kihutama suurema kiirusega kui reisija (müidu ei liiguks tool põranda poole). Aga see pole võimalik: me teame, et kõigil esemeil mürsu sees on sama kiirus kui mürsul.

Järelikult teekonna algmomendist peale puudus reisijatel kaal; nad oleksid võinud mürsu sees õhus vabalt hõljuda. Samuti puudus täielikult kaal kõigil mürsus olevail esemeil. Selle tunnuse järgi oleksid reisijad kergesti võinud otsustada küsimuse, kas nad juba liiguvad või on veel paigal kahuris. Romaani kirjutaja aga jutustab, kuidas taevateekonna esimese poole tunni jooksul

Ex Libris. Univ. Tart.

reisijad tagajärjetult pead mürdsid küsimuse üle, kas nad juba lendavad või mitte.

„„Nicole, kas me liigume?“

Nicole ja Ardane vaatasid teineteisele otsa; nad ei tundnud mürsu vibreerimist.

„Tõepoolest! Kas me liigume?“ kordas Ardane.

„Või asetseme rahulikult Florida pinnal?“ lisas omalt poolt Michel.“

Niisugused kahtlused võiksid olla auriku reisijail, on aga täiesti võimatud vabalt kihutavas mürsus sõitjail: esimesed säilitavad oma kaalu, teistele aga ei tohiks tähele panemata jääda, et nad on muutunud kaalutuks.

Selline fantastiline vagun-mürsk peaks olema tõesti imelik nähtus! Pisitilluke maailm, kus kehadel pole kaalu, kus käest lastud kehad jäävad rahulikult kohale, kus kehad on igasuguses asendis tasakaalus, kus vesi ümberkukkunud pudelist välja ei jookse... Kõik selle jättis tähele panemata teose „Teekond Kuule“ autor. Millist avarust autori fantaasiale oleksid võinud anda need hämmastavad võimalused!

### **Kuidas õigesti kaaluda mitteõigete kaaludega.**

Mis on tähtsam õigeks kaalumiseks: kaalud või vihid?

Te eksite, kui arvate, et tähtsad on mõlemad: võib õigesti kaaluda mitteõigete kaaludega, kui on vaid käepärast õiged vihid. Võib kasutada mitut viisi kaaluda õigesti mitteõigete kaaludega. Vaatleme neist kahte.

Esimese viisi esitas meie suur keemik D. I. Mendelejev. Kaalumist alustatakse sellega, et ühele kaalukausile pannakse mingi vabalt võetud keha, mis aga peab olema raskem kui kaalutav keha. See keha tasakaalustatakse vihtidega teisel kaalukausil. Nüüd aseta-

takse vihtidega kaalukaasile kaalutav keha ja võetakse kaalukaasilt vihte niipalju maha, kuni kaalud on jälle tasakaalus. On ilmne, et kaalukaasilt äravõetud vihid annavad kaalutava keha kaalu: keha kaal asendab äravõetud vihtide kaalu ja järelikult on sellega võrdne.

Seda võtet, mida nimetatakse „jääva koormatuse viisiks“, on hõlpus tarvitada sel korral, kui tuleb kaaluda üksteise järel mitut keha: esialgne koormis jääb ja seda kasutatakse kõigil kaalumistel.

Teine viis, mida nimetatakse „Borda viisiks“ teadlase Borda järgi, kes selle tarvitusele võttis, seisneb järgmises.

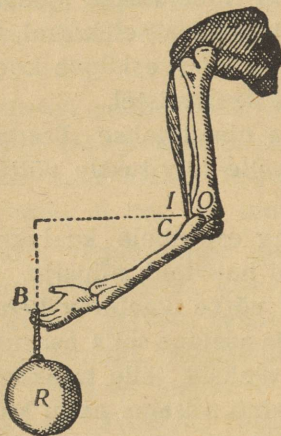
Asetage kaalutav ese ühele kaalukaasile, teisele aga raputage liiva või haavleid niipalju, et kaalud oleksid tasakaalus. Nüüd võtke kaalutav keha vaekausilt (liiv jääb puutumata) ja asetage selle asemele sinna vihte niipalju, et kaalud oleksid jälle tasakaalus. On selge, et kaalutav keha kaalub niisama palju kui selle poolt asendatud vihid. Sellest siis tuleneb ka selle kaalumisviisi teine nimetus — „kaalumise asendamisega“.

Kui teil on õiged vihid, siis võite seda lihtsat võtet rakendada ka ühe kaalukaasiga vedrukaalu puhul. Siin pole tarvis liiva või haavleid. Asetage kaalutav keha kaalukaasile ja märkige ära, millise jaotuse juures kaaluosuti peatub. Seejärel, võtnud kaalult eseme, asetage kaalukaasile niipalju vihte, et osuti peatuks jällegi endises kohas. Muidugi võrdub vihtide kaal kaalutava eseme kaaluga.

### **Tugevam iseendast.**

Kui suurt raskust te saate käega tõsta? Oletame, et 10 kg. Kas te nüüd arvate, et need 10 kg määravad teie käe lihaste tungi? Eksite: lihased on palju tugevamad!

Jälgige näiteks oma käe nõndanimetatud kahepease lihase tugevust (joon. 31). See lihas on kinnitatud kangile, milleks on küünarvarreluu selle toetuspunkti lähedal, koormis aga mõjub selle elava kangi teise otsa. Koormise kaugus toetuspunktist, s. o. liigesest, on pea-



Joonis 31. Inimese küünarvars  $C$  on teist liiki kang. Mõjuv tung (kahepeane lihas) on rakendatud punkti  $I$ ; kangi toetuspunkt asetseb liigeses  $O$ ; koormis  $R$  on rakendatud punkti  $B$ . Kaugus  $BO$  (kangi pikem õlg) on suurem kui kaugus  $IO$  (kangi lühem õlg) umbes 8 korda. (Joonis on võetud XVII sajandi Firenze teadlase Borelli teosest „Loomade liikumisest”. Selles teoses rakendatakse füsioloogias esmakordselt mehhaanikaseadusi.)

aegu 8 korda suurem kaugusest lihase otsast kuni toetuspunktini. Tähendab, kui koormis kaalub 10 kg, siis lihase pingutus on 8 korda suurem. Kui tung on 8 korda suurem sellest, mida tõstab meie käsi, siis võiks lihas vahetult tõsta mitte 10 kg, vaid 80 kg.

Meil on õigus liialdamata öelda, et iga inimene on palju tugevam iseendast, s. t. tema lihased võivad ilmu-

tada palju suuremat tungi kui see, mis avaldub tema tegevuses.

Kas on seesugune ehitus otstarbekohane? Esimesel pilgul näib, et mitte. Me näeme siin kaotust tungis ilma mingi hüvitusega. Kuid meenutagem mehhaanika igivana „kuldset reeglit“: mis kaotatakse tungis, see võidetakse tee pikkuses. Seetõttu saavutataksegi võit kiiruses: meie käed liiguvad 8 korda kiiremini neid liikumisi teostavate lihaste liikumistest. See lihaste kinnitusviis, mida näeme looma kehas, kindlustab jäsemetele liikumiskiiruse, mis on olemusvõitluses tähtsam kui tung. Kui meie käed ja jalad ei oleks niiviisi ehitatud, oleksime väga aeglased olendid.

### **Miks teravad esemed torgivad?**

Kas olete mõelnud küsimuse üle: miks läbib nõi nii kergesti esemeid? Mispärast on kerge kalevit või pappi läbi torgata peenikese nõelaga, kuid raske nüri naelaga? Mõlemal juhul näib mõjuvat ühesugune tung.

Tung on ühesuurune, aga rõhk seda ei ole. Esimesel juhul keskendatakse kogu tungi mõju nõela teravikule, teisel aga naela otsa suuremale pinnale; järelkult on meie käte ühesugusel pingutusel nõela rõhk palju suurem nüri naela omast.

Igaüks ütleb, et kahekümne pulgaga äke kobestab maad sügavamalt kui kuuekümne pulgaga niisama raske äke. Mispärast? Sellepärast, et ühe pulga rõhk esimese äkke puhul on suurem kui teise puhul.

Kui jutt on rõhumisest, tuleb peale tungi alati arvesse võtta ka pinda, millele see tung on rakendatud. Kui keegi ütleb teenivat 1000 rubla, siis me ei saa veel otsustada, kas see on palju või vähe: peame teadma, kas

aastas või kuus. Samuti sõltub tungi mõju sellest, kas ta on jaotatud ühele ruutsentimeetrile või keskendatud sajandikule osale ruutmillimeetrist.

Suuskadel käib inimene koheval lumel, ilma nendeta vajub aga lumme. Mispärast? Seepärast, et esimesel juhul jaotub tema keha raskus palju suuremale pinnale kui teisel. Kui suuskade pindala näiteks on kakskümmend korda suurem meie taldade pindalast, siis avaldame suuskadele lumel rõhku, mis on 20 korda väiksem rõhust sel juhul, kui seisame lumel ilma nendeta. Kohev lumi talub esimest rõhku, kuid mitte teist.

Sel põhjusel kinnitataksegi soos töötavate hobuste kapjadele erilised „kingad“, et suurendada hobuste jalgade toetuspinda ja vähendada rõhku soisele pinnale: hobuste jalad ei vaju siis sohu. Nii toimivad ka inimesed soistes kohtades.

Selleks, et jaotada oma keha raskust suuremale pinnale, liiguvad inimesed õhukesel jääl roomates.

Lõpuks ka tankide ja roomiktraktorite mõistatuslik omadus nende suurest raskusest hoolimata mitte sisse vajuda koheval pinnasel seletub jällegi nende raskuse jaotumisega suurele toetuspinnale. Roomikmasin, mille kaal on 8 või enam tonni, avaldab põhipinna ühele ruutsentimeetrile rõhku mitte rohkem kui 600 g. Sellelt seisukohalt pakub huvi roomikauto, mis veab koormaid soodes. Selline veoauto avaldab kahetonnise koorma puhul üheruutsentimeetrisele pinnale rõhku mitte üle 160 g, seepärast liigub ta hästi nii rabas kui ka soistes ja liivastes kohtades.

Antud juhul on suur toetuspind niisama kasulik kui nõela puhul väike.

Õeldust on selge, et teravik läbib eseme seepärast, et tung on rakendatud väga väikesele pinnale.

Täiesti samal põhjusel lõikab terav nuga paremini kui nööri: tung on rakendatud väiksemale pinnale. Siit järeldame, et teravad esemed torgivad ja lõikavad hästi seepärast, et teravikes ja terades on keskendatud suur rõhk.

### Leviaatanitaoline.

Mispärast on kõva istuda lihtsal taburetil, kuna aga siledal, olgugi puust tehtud toolil pole sugugi kõva? Mispärast on pehme lamada üsna paksudest nõõridest tehtud võrkkiiges? Mispärast pole kõva lamada traatvõrgus, millega asendatakse voodites vedrumadratsid?

Seda pole raske mõista. Lihtsa tabureti iste on tasapinnaline; meie keha puutub sellega kokku ainult väikesel pinnal, millele on keskendatud kogu keha raskus. Toolil on aga iste nõgus; ta puutub kehaga kokku suuremal pinnal; keha raskus jaotub suuremale pinnale, pinnaühiku kohta tuleb väiksem koormis, seega ka väiksem rõhk.

Tähendab, asi seisneb siin ühtlasemas koormise jaotuses. Kui mõnuleme pehmes voodis, siis voodis moodustuvad nõod, mis vastavad meie keha ebatasasustele. Rõhumine jaotub siin meie keha alumisele pinnale üsna ühtlaselt: rõhk ühele ruutsentimeetrile on ainult mõni gramm. Pole siis ka ime, et me neis tingimustes end hästi tunneme.

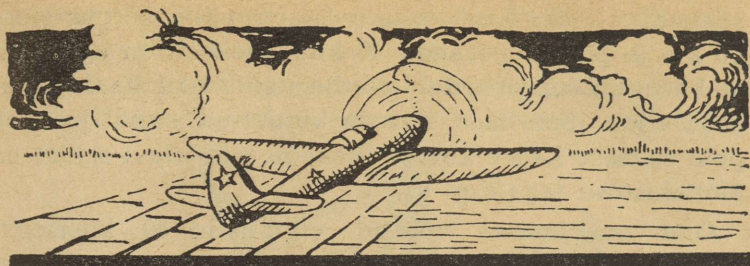
Seda erinevust on kerge väljendada ka arvudega. Täiskasvanud inimese kogu kehapind on umbes 2 ruutmeetrit ehk 20 000 ruutsentimeetrit. Oletame, et voodis lamades puutub voodiga kokku  $\frac{1}{4}$  keha pinnast, s. o. 0,5 ruutmeetrit ehk 5000 ruutsentimeetrit. Meie keha kaal on umbes 60 kg (keskmiselt), s. o. 60 000 grammi. Tähendab, iga ruutsentimeetri kohta tuleb ainult 12 g.

Kui me aga lamame paljastel laudadel, siis on meie keha ja laudade kokkupuutumise pind ainult mõnisada ruutsentimeetrit. Iga kehapinna ruutsentimeetri kohta tuleb seega kuni poolekilogrammiline rõhk. Vahe on märgatav ja me tunneme seda oma kehal, öeldes, et lamada on „väga kõva“.

Isegi kõige kõvemal asemel ei tarvitse meile lamamine kõvana tunduda, kui aga keha raskus on jaotatud ühtlaselt võimalikult suurele pinnale. Kujutlege, et heitsite pehmele savile ja selles tekkis teie keha jäljend. Pärast ülestõusmist andke savile aega kuivada (kuivamisel tõmbub savi 5—10% võrra kokku; oletagem aga, et seda ei toimu). Kui savi on kõvastunud kiviks, säilitades seejuures teie keha poolt tekitatud vajutised, heitke uuesti sellele asemele. Teile tundub, nagu lamaksite kõige pehmemail sulgpatjadel; kuigi lamate sõna tõsisel mõttel kivil, ei tunne te aseme kõvadust. Te muutute legendaarse Leviaatani taoliseks, kellest loeme Lomonossovi luuletuses:

Ta lamab kivel teravil  
ja suure jõu vägevusest  
ta nende kalkust põlastab,  
neid pidades vaid pehmeks kõntsaks.

Kuid aseme kõvaduse mittetundmine ei seisne „suure jõu vägevuses“, vaid selles, et keha rõhumine on jaotatud võimalikult suurele toetuspinnale.

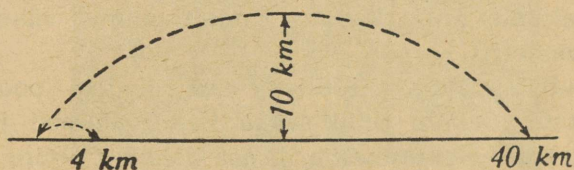


Kolmas peatükk.

## Keskkonna takistus.

### Kuul ja õhk.

Kõik teavad, et õhk takistab kuuli lendu. Kui suur on aga õhu pidurdav mõju, seda kujutlevad vaid vähesed. Enamasti kaldutakse arvama, et niisugune õrn keskkond



Joonis 32. Kuuli lennutee tühjas ruumis ja õhus. Suur kaar kujutab kuuli teed sel korral, kui poleks õhkkonda. Väike kaar vasakul kujutab aga kuuli tõelist teed õhus.

nagu õhk, mida me tavaliselt ei tajugi, ei või kuigi tunduvalt takistada püssikuuli kiiret liikumist.

Vaadake aga joonisele 32 ja te mõistate, et õhk on kuulile väga tõsiseks takistuseks. Suur kaar sellel joonisel kujutaks kuuli teed, kui puuduks õhkkond; lahkudes püssirauast ( $45^{\circ}$ -se nurga all algkiirusega 620 meetrit

sekundis) läbiks kuul tohutu kaare, mille kõrgus oleks 10 km ja pikkus peaaegu 40 km. Tõeliselt on aga kuuli teeks antud tingimustel võrdlemisi väike kaar pikkusega 4 km. See kaar, mis on kujutatud samal joonisel, pole esimese kaare kõrval peaaegu märgatav: selline on õhutakistuse tagajärg!

Õhu puudumisel võiksid vintpüssid 40 kilomeetri kauguselt vaenlase kuulirahega üle külvata, tekitades tinavihma kümne kilomeetri kõrguseni.

### Ülikauge tulistamine.

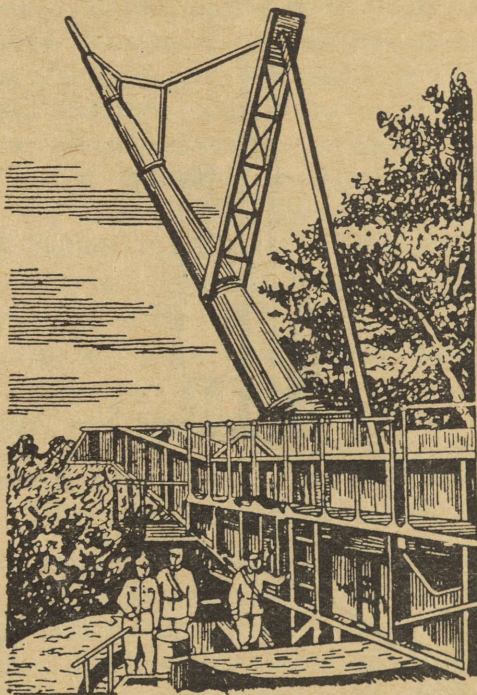
Tulistada vaenlast 100 kilomeetri tagant ja veel kaugemalt on praeguselgi kahurväel täiesti võimalik. Esimesena tõestas seda Saksa kahurvägi esimese imperiaalistliku sõja lõpul (1918. a.), kui Prantsuse ja Inglise lennuasjanduse edu tegi lõpu Saksa õhurünnakuile. Saksa kindralstaap valis teise viisi, et tabada Prantsusmaa pealinna, mille kaugus rindelt polnud vähem kui 110 kilomeetrit.

See tulistamisviis oli täiesti uus, kellegi poolt ära proovimata. Sellele tulid saksa kahurväelased juhuslikult. Laskmisel suurekaliibrilisest kahurist suure kalde-  
nurgaga avastati täiesti ootamatult, et 20-kilomeetrise laskekauguse asemel on võimalik saavutada laskekaugus kuni 40 km. Osutus, et suure algkiirusega järsult üleslastud mürsk jõuab neisse hõrendatud atmosfäärikihtidesse, kus õhutakistus on väga väike. Niisuguses nõrgalt takistavas keskkonnas läbib mürsk suurema osa oma teekonnast ja langeb siis järsult maa peale.

Need tähelepanekud võetigi sakslaste poolt arvesse ülikaugelaskerahuri projekteerimisel. Kahur pidi tulistama Pariisi 115 km kauguselt. Kahur valmiski edukalt

ja laskis 1918. aasta suve jooksul Pariisi pihta üle kolmesaja mürsu.

Salapärasus, millega see kahur oli ümbritsetud, on viimastel aastatel siiski suuresti haihtunud (sakslased

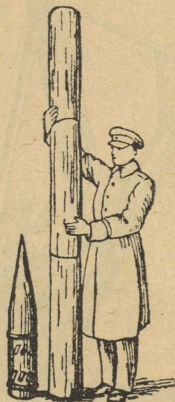


Joonis 33. Saksa kahur „Kofossal”. Välimine vaade.

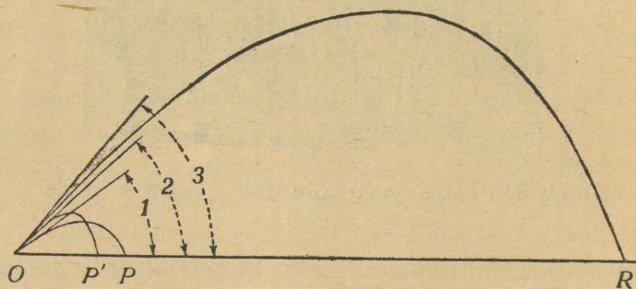
ise on avaldanud andmeid selle kahuri ehituse ja laske-tingimuste kohta). Me võime siinkohal selle kahuri kohta rea huvitavaid andmeid tuua.

See oli hiiglasuur terastoru pikkusega 34 meetrit ja paksusega terve meeter; toru seinte paksus laenguruumi kohal oli 40 cm. Kahur kaalus 750 tonni. Tema 120-kilo-

grammiste mürskude pikkus oli 1 meeter ja paksus 21 cm. Laenguks tarvitati 150 kg püssirohtu, mis andis 5000-atmosfäärise rõhu. Mürsud lendasid torust välja algiirusega 2000 meetrit sekundis (joon. 33 ja 34).



Joonis 34. Kahuri „Kolossal” mürsk ja laeng.



Joonis 35. Kuidas muutub mürsu lennu kaugus vastavalt kauge-  
laskekahuri kaldenurgale. Nurga 1 puhul langeb mürsk punkti  $P$ , nurga 2  
puhul punkti  $P'$ , nurga 3 puhul aga suureneb lennukaugus kohe  
palju kordi, sest mürsk tõuseb nüüd juba väga kõrgetesse õhkkonna  
kihtidesse.

Laskmine toimus 52-kraadise kaldenurga all; mürsk läbis tohutu kaare, mille kõrgeim punkt oli maapinnast 40 kilomeetri kõrgusel, s. o. juba kaugel stratosfääris. Oma teekonna rindelt Pariisi (115 km) läbis mürsk  $3\frac{1}{2}$  minuti jooksul, neist 2 minutit lendas ta stratosfääris.

Seesugune oli esimene ülikaugelaskerahur, praeguste samalaadsete 120 kilomeetri kaugusele ja veelgi kaugemale laskvate kahurite esiisa. Kes soovib selle saksa kahuri kohta üksikasjalisemaid andmeid saada, leiab need V. Vnukovi õpetlikust brošüürist „Kas on võimalik lasta 100 kilomeetri kaugusele?“ (1935. a. ilmus viies trükk). Sellest brošüürist on võetud joonised 33 ja 34. Joonis 35 näitab meile piltlikult ülikaugelaskerahuri mürsu tee sõltuvust kahuritoru kaldenurgast.

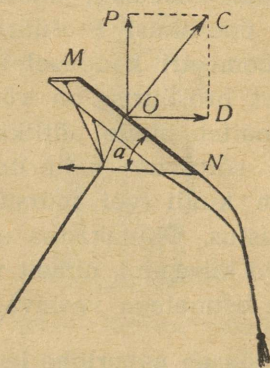
Mida suurem on kuuli (või mürsu) algkiirus, seda suurem on õhutakistus. Õhutakistus ei suurene võrdeliselt kiirusega, vaid kiiremini, nimelt võrdeliselt kiiruse teise ja kõrgemate astmetega vastavalt kuuli kiirusele.

### **Miks tõuseb paberlohe lendu?**

Kas olete katsunud endale selgeks teha, miks tõuseb paberlohe üles, kui teda nõõripidi edasi tõmmata? Kui suudate sellele küsimusele vastata, on teile ka mõistetav, mille tõttu lendab lennuk ja mispärast lendavad õhus vahtra seemned, ning teile hakkavad osalt selguma isegi bumerangi imeliku liikumise põhjused. Kõik need on ühte liiki nähtused. Sama õhk, mis nii tõsiselt takistab kuulide ja mürskude lendu, võimaldab mitte ainult kerge vahtraseemne ja paberlohe, vaid ka kümnete reisijatega täidetud raske lennuki lendu.

Selleks, et seletada paberist lohe lendutõusmist, võtame abiks lihtsustatud joonise. Kujutagu sirglõik MN (joon.36) lohe läbilõiget. Kui me, soovides lasta lohet õhku tõusta,

tõmbame teda nõorist, siis liigub ta saba raskuse tõttu kaldasendis. Toimugu see liikumine paremalt vasakule. Tähistame kaldenurka lohe pinna ja horisondi vahel  $\alpha$ -ga. Selgitame nüüd, millised on tungid, mis mõjuvad lohesse sel liikumisel. Õhk, takistades muidugi lohe liikumist, avaldab sellele mõningat rõhumist. See rõhumine on joonisel 36 kujutatud noolega  $OC$ ; et õhk avaldab



Joonis 36. Tungid, mis mõjuvad paberlohesse.

rõhumist alati risti pinnaga, siis moodustab nool  $OC$  täisnurga pinnaga  $MN$ . Niinimetatud tungide rõõpküliku abil lahutame tungi  $OC$  kaheks:  $OD$  ja  $OP$ . Tung  $OD$  lükkab lohet tagasi ja vähendab tema esialgset kiirust. Teine tung  $OP$  on suunatud üles; see vähendab lohe raskust ja kui ta on küllalt suur, võib ületada kogu raskuse ning lohet tõsta. Nii on arusaadav, mispärast lohe hakkab üles tõusma, kui teda nõori abil ettepoole tõmmata. Siin on antud vaid nähtuse jäme skeem;

on veel teisigi lendutõusmist tingivaid tegureid, millele esimesena juhtis tähelepanu N. E. Žukovski <sup>1</sup>.

Lennuk on nagu lohe, kuid käe asemel on tal liikuma-panevaks jõuks propelleri töö. Propelleri tiivad, tõukudes õhust eemale, panevad lennuki liikuma ettepoole ja sunnivad teda järelikult tõusma, nagu lohegi puhul.

### Elavad planeerid.

Te näete, et lennukid pole kaugeltki ehitatud nii nagu linnud, nagu seda tavaliselt arvatakse, vaid pigem nagu lendoravad, lendkoerad või lendavad kalad. Muide, mai-



Joonis 37. Lendorav puhkeolekus ja hüppel. Lendoravad teevad kõrgelt hüppeid 20—30 m kaugusele.

nitud loomad ei tarvita oma lennunahka õhku tõusmiseks, vaid selleks, et sooritada pikki hüppeid, „liuglendu“, nagu ütleks lendur. Neil pole tung OP (joon. 36) küllaldaselt suur, et tasakaalustada keha raskust; see

<sup>1</sup> Vaata „Huvitav füüsika“, 2. osa, „Lained ja keerised“.

tung vaid vähendab nende raskust ja võimaldab seega loomadel sooritada kõrgematelt kohtadelt suuri hüppeid (joon. 37). Lendoravad hüppavad ühe puu ladvast teise puu alumistele okstele 20—30 m kauguselt. Ida-Indias ja Tseilonil elutseb palju suuremate lendoravate liik — taguanid, kes on meie kassi suurused. Nende avatud „planeeri“ laius on kuni pool meetrit. Sellised lennunaha mõõtmed võimaldavad loomadel, vaatamata nende suurele raskusele, sooritada hüppeid kuni 50 m kaugusele. Lendkoer, kes elutseb Sunda ja Filipiini saartel, sooritab hüppeid isegi kuni 70 meetri kaugusele.

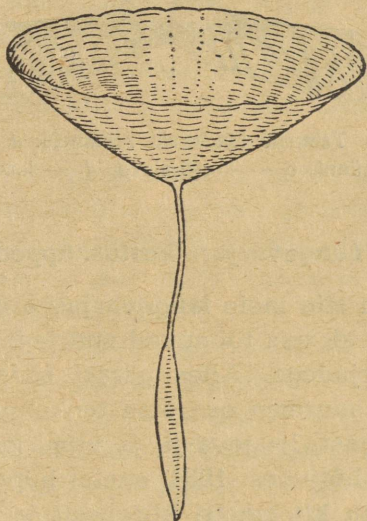
### Mootorita lendamine taimedel.

Ka taimed, nimelt selleks, et oma vilju ja seemneid levitada, kasutavad tihti „planeere“. Paljud viljad ja seemned on varustatud kas langevarjutaoliste karvakimbukestega (võilille, piimjuure, puuvilla karvatutid) või jälle kandepindadega jätkete, väljakasvude jm. näol. Nii-suguseid taimelisi planeere võib näha okaspuudel, vaht-ratel, jalakatel, kaskedel, valgepöökidel, pärnadel, paljudel sarikalistel jt.

Kerner von Marilauni tuntud raamatust „Taimede elu“ loeme selle kohta järgmist:

„Palju seemneid ja vilju tõuseb tuulevaiksete ja päikesepaisteliste ilmadega vertikaalsete õhuvooludega suurde kõrgusse; peale päikese loojangut langevad nad mitte kaugel tõusukohast uuesti alla. Sellised lennud pole tähtsad mitte niivõrd taimede laiuti levimisele, kui-võrd taimede asumisele karniisidele ja järsakute ning püstloodsete kaljude lõhedesse, kuhu seemned teisiti sat-tuda ei saa. Horisontaalsed õhuvoolud on aga võimelised õhus hõljuvaid vilju ja seemneid edasi kandma väga suurtesse kaugustesse.

Mõnedel taimedel jäävad tiivad ja „langevarjud“ ainult lennuajaks ühendusse seemnetega. Ohaka seemnised lendavad õhus rahulikult, kuid takistusega kokku puutudes eraldub seeme otsekohe „langevarjust“ ja langeb maha. Sellega on ka seletatav ohaka väga sage esinemine seinte ja plankude ääres. Teistel juhtudel jääb aga seeme kogu aja ühendusse „langevarjuga“.

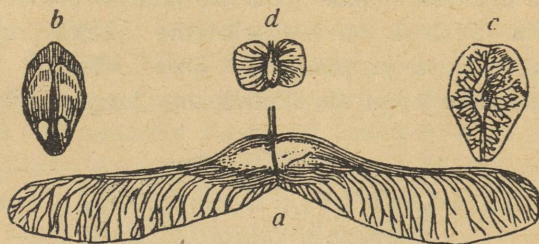


Joonis 38. Piimajuure vilj.

Joonistel 38 ja 39 on kujutatud mõned „planeeridega“ varustatud viljad ja seemned.

Taimelised planeerid on mitmes suhtes isegi täiuslikumad inimeste omadest. Nad on suutelised, võrreldes oma kaaluga, tõstma palju suuremat koormat. Pealegi paistavad taimede planeerid silma oma automaatse stabiilsusega: kui india jasmīini seeme ümber pöörata, võtab ta jällegi tagasi oma endise asendi, milles kumer

külg on all; kui see seeme oma liikumisel puutub kokku takistusega, ei kaota ta tasakaalu, ei kuku, vaid laskub sujuvalt alla.



Joonis 39. Taimede lendavaid seemneid: *a* — vahtra, *b* — männi, *c* — korgijalaka, *d* — kase tiibvili.

### Langevarjuri kestushüpped.

Meenutagem siin meie langevarjuspordi meistrite saňgarlikke hüppeid, mis toimuvad suurtest kõrgustest avamata langevarjudega. Alles pärast seda, kui nad olid läbi lennanud suurema osa oma teekonnast, avasid nad, tõmmates rõngast, langevarju ja viimased sajad meetrid langesid õhus hõljudes. 1934. aastal hüppas Jevdokimov niiviisi kaheksa kilomeetri kõrguselt ja püstitas sellega langevarjuga kestushüppe maailmarekordi.

Paljud arvavad, et inimene, kukkudes „kivina“ ilma langevarju avamata, langeb nii nagu kivi tühjas ruumis. Kui see oleks nii, et inimese keha langeks õhus sama kiirusega kui tühjas ruumis, siis vältaks kestushüpe palju lühemat aega kui tõeliselt ja langemise lõppkiirus oleks tohutu suur. Langemisel tühjas ruumis läbib keha 7900 m (Jevdokimovi hüppe kõrgus) 40 sekundiga ja langemise lõpuks saavutab kiiruse 400 meetrit sekundis. Jevdokimov aga, langedes avamata langevarjuga,

läbis selle tee 142 sekundiga ja tema lõppkiirus oli mainitud kiirusest 7—8 korda väiksem.

Sellise kiiruste vahe põhjus on arusaadav: õhk takistab kiiruse suurenemist. Langevarjuri kiirus suurenes ainult kestushüppe esimese kümnekonna sekundi jooksul, esimeste sadade meetrite läbimisel. Õhutakistus suureneb kiiruse kasvamisega nii suurel määral, et juba üsna peatselt saabub hetk, mil kiirus enam ei muutu. Kiirenev liikumine muutub ühtlaseks.

Arvutuste najal on võimalik anda üldjoontes kestushüppe pilt mehhaanika seisukohalt. Langevarjuri kiirendatud langemine kestab ainult esimesed kaks teist sekundit või pisut vähem, olenevalt keha raskusest. Selle kümnekonna sekundi jooksul langeb keha 400—450 meetrit ja omandab kiiruse umbes 50 meetrit sekundis. Ülejäänud teel on liikumine juba ühtlane, kiirusega 50 meetrit sekundis.

Umbes samuti langevad ka vihmatilgad. Erinevus on vaid selles, et langemise esimene periood, kus kiirus suureneb, kestab vihmatilga puhul ainult ühe sekundi ümber või veel vähem. Vihmatilkade lõppkiirus pole nii suur kui kestushüppe puhul: see kõigub 2—7 meetri vahel sekundis, olenevalt tilga suurusest<sup>1</sup>.

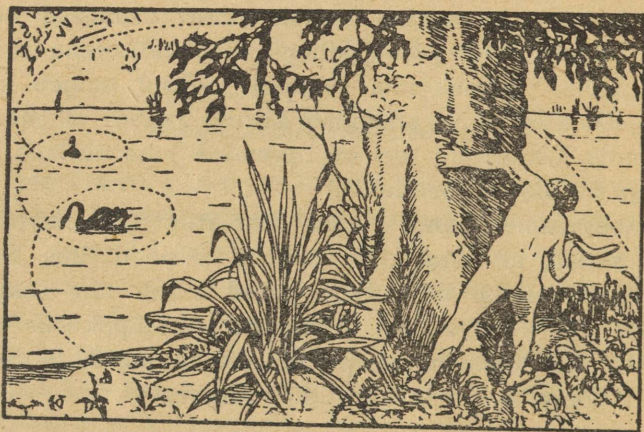
### Bumerang.

See omapärane relv, ürginimese tehnika kõige täiuslikum saavutus, oli kaua aega teadlaste imetusobjektiks. Tõepoolest, need imelikud keerulised figuurid, mida teeb õhus bumerang, võivad igaühe jahmatama panna (joon. 40).

<sup>1</sup> Vihmatilkade kiirusest räägitakse üksikasjaliselt minu „Huvitavas mehhaanikas“, kestushüppest aga raamatus „Kas tunnete füüsikat?“.

Praegu on bumerangi lennu teooria üksikasjadeni läbi töötatud ja imed lakkasid olemast imed. Tähendame ainult, et bumerangi lennu ebaharilikud teed tulenevad kolme asjaolu koosmõjust: 1) esialgne vise, 2) bumerangi pöörlemine ja 3) õhutakistus. Austraallane oskab puhtvaistlikult need kolm tegurit ühendada; selleks, et saavutada soovitud tulemust, muudab ta osavalt bumerangi kaldenurka, visketugevust ja -suunda.

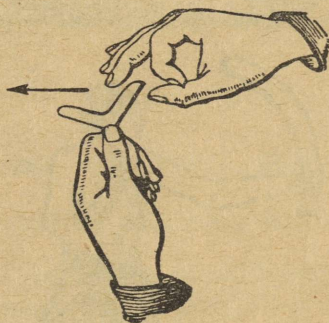
Muide, mõningat vilumust selles kunstis võib omandada igaüks.



Joonis 40. Kuidas austraallane kasutab jahil bumerangi, et tabada ohvrit, olles ise varjatud. Bumerangi lennutee (mittetabamise puhul) on näidatud punktiiriga.

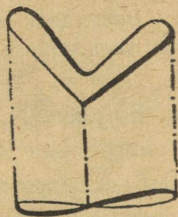
Harjutusteks toas tuleb leppida papist bumerangiga, mida võib välja lõigata kas või postkaardist joonisel 41 näidatud vormi järgi. Kummagi haru pikkus on umbes 5 cm ja laius pisut väiksem kui üks sentimeeter. Pigistage niisugune papist bumerang põidlaküünega nime-

tissõrme vastu ja laske tema otsale teise käe sõrmega nipsu nii, et löök oleks suunatud ettepoole ja veidi üles. Bumerang lendab meetrit viis eemale, liikudes mõnikord üsna keerukat kõverjoont mööda, ja tuleb tagasi teie jalgade juurde, kui ta toas mingi esemega kokku ei puutu.



Joonis 41. Paberbumerang ja selle väljasaatmise viis.

Veel paremini õnnestub katse, kui bumerangile anda niisugune kuju ja mõõtmed, nagu on näidatud joonisel



Joonis 42. Teine paberbumerangi kuju (loomulikus suuruses).

42 loomulikus suuruses. On soovitatav bumerangi harusid veidi kruvitaoliselt painutada (joon. 42, all). Teatava vilumusega võib niisugust bumerangi sundida õhus väga

keerukaid kõveraaid tegema ja lähtekohta tagasi pöörduma.

Lõpuks tähendame, et bumerang pole, nagu tavaliselt arvatakse, Austraalia metsrahvaste erandlikuks relvasuse omapäraks. Seda tarvitatakse paljudes kohtades Indias ja see oli, nagu näitavad vanad säilinud seinamaalid, assüüria sõduri tavaline relv (joon. 43). Samuti



Joonis 43. Bumerangi heitva sõduri kujutis vanaegiptuse pildil.

oli see tuntud vanas Egiptuses ja Nuubias. Ainsaks austraalia bumerangi omapäraks on tema vähene kruvi-  
taoline painutus. Seetõttu teevadki austraalia bumerangid õhus väga keerukaid kujundeid ja tulevad mit-  
tetabamise korral viskaja juurde tagasi.



Neljas peatükk.

## Pöörlemine. „Igavesed jõumasinad“.

Kuidas eraldada keedetud muna toorest?

Mis teha, kui on tarvis munakoort katki tegemata otsustada, kas muna on keedetud või toores? Mehhaanika tundmine aitab meid eduga sellest väikesest kimbatusest välja.

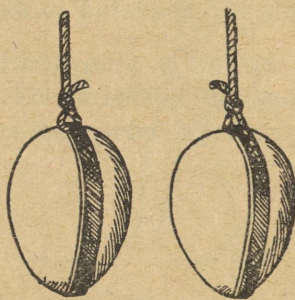


Joonis 44. Kuidas muna pöörlema panna.

Asi seisneb selles, et keedetud ja toores muna ei pöörle ühteviisi. Seda võibki kasutada meie ülesande lahendamiseks. Katsetatav muna asetatakse tasasele taldrikule ja pannakse kahe sõrmega pöörlema (joon. 44).

Keedetud (eriti kõvaks keedetud) muna pöörleb seejuures tunduvalt kiiremini ja kauemini kui toores muna. Viimast on isegi raske pöörlema panna. Seevastu kõvaks keedetud muna pöörleb nii kiiresti, et näib valge laperguse ellipsoidina ja võib pöörlemisel isegi oma teravale otsale tõusta.

Kirjeldatud nähtuste põhjus peitub selles, et kõvaks keedetud muna pöörleb kui tervik; toores munas aga hakkab vedel sisu, ilma et ta kohe pöörlemist alustaks, inertsit tõttu takistama kõva koore pöörlemist ja mõjub pidurina.



Joonis 45. Kuidas eraldada keedetud muna toorest ülesriputatult pöörlemise järgi.

Keedetud ja toored munad käituvad erinevalt ka pöörlemise peatamisel. Kui pöörlevat keedetud muna sõrme puudutada, jääb ta otsekohe seisma. Toores muna aga, peatudes hetkeks, jätkab peale käe eemaldamist veel pöörlemist. Jälle on põhjuseks inerts: toore muna vedel sisu jätkab peale koore seismajäämist oma pöörlemist, keedetud muna sisu jääb aga seisma üheaegselt koorega.

Taolisi proovimisi võib korraldada ka teisiti. Tõmmake ümber keedetud ja toore muna „mööda meridiaani“ kummipael ja riputage munad ühesuguste nõõride külge (joon. 45). Keerake kummalegi nõõrile ühepalju keerde ja laske siis lahti. Kohe ilmneb vahe keedetud ja toore muna vahel. Keedetud muna, tulles lähteasendisse, hakkab inertsitõttu nõõri vastassuunas keerutama, siis aga jälle seda tagasi keerama, ja niiviisi mitu korda, vähendades seejuures järk-järgult keerdude arvu. Toores muna pöörduv kord või paar ja jääb seisma ammu enne keedetud muna; jälle on vedel sisu piduriks.

### „Kuradiketas“.

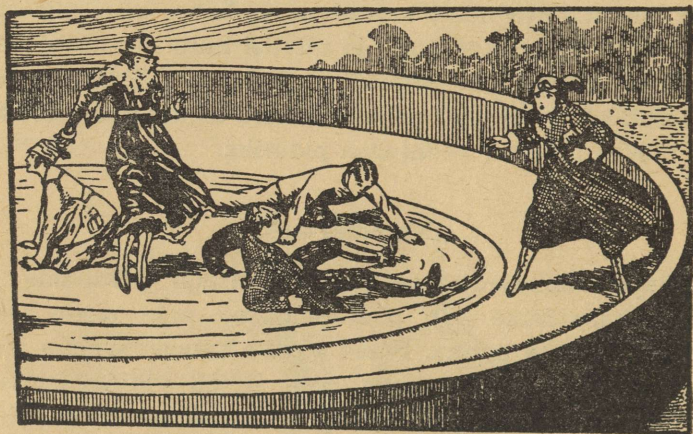
Avage vihmavari, toetage see otsaga põrandale ja pange käepideme abil pöörlema; teil pole raske teda kiiresti liikuma panna. Nüüd visake vihmavarjusse pall või kokkukärgardatud paber: ese ei jää vihmavarjusse, vaid paiskub sealt välja. See on inertsitõttu avaldus, mida aga tihti ekslikult nimetatakse tsentrifugaal- ehk keskpagevaks tungiks.

Tegelikult on pall või paber saanud pöörlevalt vihmavarjult teatava kiiruse ja jätkab liikumist sirgjooneliselt sama kiirusega (inertsitõttu). Vihmavarju igas punktis on kiirus suunatud puutujat mööda, seepärast lendavad vihmavarju asetatud kehad välja mitte raadiuse, vaid ringikujulisele liikumisteele tõmmatud puutuja suunas.

Sellele pöörlemistoimele on rajatud omapärase lõbustuse, nn. kuradiketta (joon. 46) ehitus. Seda ketast võib näha lõbustusparkides.

Külastajaile on siin antud võimalus proovida inertsitõttu iseendi nahal. Inimesed asetuvad ringikujulisele platvormile seistes, istudes, lamades, nii kuidas keegi

soovib. Platvormi all olev mootor paneb platvormi ühtlaselt vertikaalse telje ümber pöörlema, esialgu aeglaselt, siis aga üha kiiremini. Ja siis hakkavad kõik ketal asetsevad esemed inertsit tõttu ketta ääre poole nihkuma. Algul on see liikumine vaevalt märgatav, aga



Joonis 46. „Kuradiketas”. Pöörlevalt kettalt heidetakse inimesed inertsit tõttu eemale.

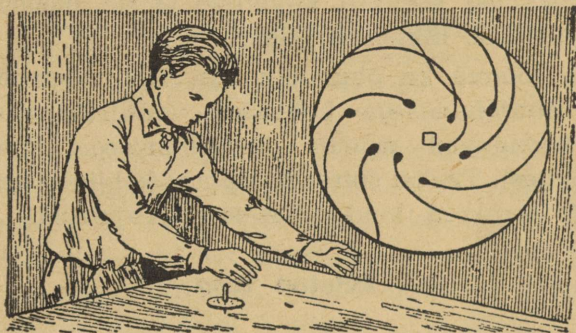
mida kaugemale keskpunktist eemalduvad „reisijad” ja mida suuremate raadiustega ringjoontele nad satuvad, seda suurem on nende pöörlemiskiirus ja seda tundavam ka inertsit mõju. Kõik pingutused paigale jääda ei aita ja inimesed viskuvad „kuradikettalt” eemale.

Siin toimub inimestega sama, mis varem palliga. Omades mingit kiirust, püüavad nad (inertsit tõttu) liikuda selle kiirusega sirgjooneliselt. Ketas aga pöörleb ja „läheb” inimeste alt ära. Et aga ketas on sile ja siin pole millestki kinni hoida, lendavad inimesed puutujat mööda sellelt minema.

Põhiolult on maakera samasugune, kuid hiiglaslike mõõtmetega „kuradiketas“. Maa ei paiska meid eneselt maha, kuid vähendab siiski meie raskust. Ekvaatoril, kus pöörlemiskiirus on kõige suurem, ulatub raskuse vähenemine sel põhjusel  $\frac{1}{300}$ -ni. Koos teise põhjusega (Maa lapikus) on kehade raskuse üldine vähenemine ekvaatoril umbes pool protsenti (s. o.  $\frac{1}{200}$ ). Täiskasvanud inimene kaalub seega ekvaatoril umbes 300 g vähem kui poolusel.

### Tindikeerised.

Kinnitage valgest siledast kartongist, kõige parem bristoli kartongist ketas teravaks tehtud, keskpunktist läbitorgatud tiku otsa: te saite vurri, mis loomulikus



Joonis 47. Kuidas tinditilgad pöörleval paberketal laiali  
voolavad.

suuruses on kujutatud joonisel 47 (paremal). Selleks, et vurri tiku teraval otsal pöörlema panna, pole tarvis palju vilumust; keerutage tikku sõrmede vahel ja asetage siis vurr kiiresti siledale pinnale.

Sellise vurriga võib teha väga näitliku katse. Enne kui te vurri keerutama hakkate, tilgutage ketta ülemisele pinnale mõned väikesed tinditilgad. Pange vurr pöörlema enne, kui need tilgad on kuivanud. Kui vurr on seisma jäänud, vaadake, mis on toimunud tilkadega: igäühel on tekkinud spiraaljoon ja kõik need jooned kokku moodustavad midagi keerisetaolist.

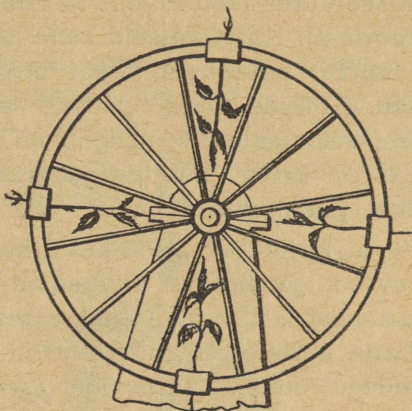
Sarnasus keerisega pole siin juhuslik. Mida näitavad tindist spiraalid kettal? Need on tinditilkade liikumise jäljed. Tinditilgaga toimub sama, mis inimesega „kuradikettal“. Tilk, liikudes keskkohast eemale, satub tsentrifugaaltungi mõjul kohtadesse, kus ketta pöörlemiskiirus on suurem tilga kiirusest. Nendes kohtades läheb ketta tilgast ette, libiseb tilga alt ära. Näib, nagu jääks tinditilk kettast maha, nagu kalduks ta eemale raadiusest. Tindipleki tee seetõttu kõverdub ja me näeme kettal kõverjoonelise liikumise jälge.

Sama toimub ka õhuvooludega, mis valguvad laiali kõrge õhurõhumisega kohtadest (antitsüklonites) või jälle koonduvad madala õhurõhumisega kohtadesse (tsüklonites). Tindist spiraalid on nende hiiglasuurte õhukeeriste sarnased, kuid vähendatud kujutised.

### **Petetud taim.**

Kiirel pöörlemisel võib tsentrifugaaltung nii suureks paisuda, et ületab raskustungi. Järgnev huvitav katse näitab, kui suureks võib tsentrifugaaltung tavalise ratta pöörlemisel kasvada. Me teame, et kasvamisel noore taime vars sirgub raskustungile vastassuunas, kasvab, lihtsamalt öeldes, ülespoole. Kui te aga panete seemned võrsuma kiiresti pöörleva ratta põiale, nagu seda tegi esimesena inglise botaanik Knight enam kui sada aastat

tagasi, siis näete hämmastusega, et idude juured suunduvad väljapoole, varred aga sissepoole ratta raadiusi mööda (joon. 48).



Joonis 48. Oataimed, mis on kasvanud pöörleva ratta põial. Varred suunduvad telje poole, juured väljapoole.

Oleme taime justkui petnud, mõjudes temasse raskustungi asemel tungiga, mis on suunatud ratta keskpunkti väljapoole. Et idu kasvab ikka raskustungile vastasuunas, siis sirgub ta sel puhul ratta keskkoha poole, põialt telje poole. Kunstlik raskus osutus tugevamaks loomulikust<sup>1</sup> ja noor taim kasvaski selle mõjul.

### „Igavesed jõumasinad“.

„Igavesest jõumasinast“, „igavesest liikumisest“ räägitakse tihti nii selle sõna otseses kui ka kaudses tähenduses.

<sup>1</sup> Nüüdisaegne vaade raskustungile ei tee siin muide põhimõtetlist vahet.

duses, aga mitte kõik ei anna endale aru sellest, mida tuleb selle väljenduse all õigupoolest mõista. Igavene jõumasin on niisugune kujutletav mehhanism, mis peatu-seta liigub ja seejuures teeb mingit kasulikku tööd (näiteks tõstab koormat). Kuigi katseid selle leiutamiseks on juba ammu tehtud, pole veel keegi niisugust mehhanismi ehitanud. Kõikide nende katsete tagajärjetus on viinud kindlale veendumusele, et igavene jõumasin pole võimalik ja et on kehtiv energia jäävuse seadus, üks moodsa teaduse põhiluseid.

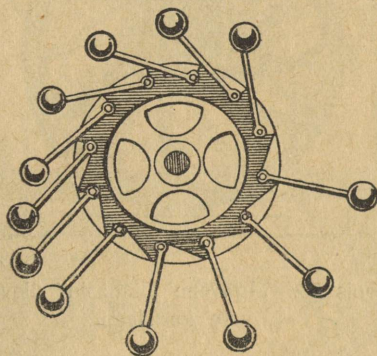
Joonisel 49 on kujutatud „iseliikuv“ mehhanism, üks vanimaid igavese jõumasina kavandeid, mis nüüdki leiab taaselustamist selle idee hädavareste — fanaatikute poolt. Ratta äärtele on kinnitatud liikuvad pulgad raskete keradega otstel. Ratta iga asendi puhul on parempoolsed kerad keskpunktist kaugemal kui vasakpoolsed; järelikult peab see pool vasakut poolt üles tõmbama ja seega ratast pöörlema panema. Tähendab, ratas peab pöörlema igavesti, vähemalt niikaua, kuni tema telg pole läbi kulunud. Nii mõtles ratta leiutaja. Kui aga selline masin ehitada, ei hakka ta siiski pöörlema. Mispärast siis leiutaja arvestus ei õigustu?

Nimelt seepärast: kuigi ratta paremal poolel on kerad alati kaugemal keskpunktist kui vasakul, siiski on paratamatu selline ratta asend, kus kerade arv paremal poolel on väiksem vastavast arvust vasakul. Vaadake joonisele 49: paremal poolel on ainult neli kera, kuna vasakul on neid kaheksa. Osutub, et kogu süsteem tasakaalustub; loomulikult ratas pöörlema ei hakka, vaid, olles selles asendis veidi kiikunud, jääb seisma <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Siin tuleb rakendada nn. momentide teoreemi.

Nüüd on vääramatult tõestatud, et pole võimalik ehitada mehhanismi, mis iseendast igavesti liiguks ja seejuures veel tööd teeks. Selle ülesande kallal on täiesti lootusetu vaeva näha. Varem al ajal, eriti keskajal, murdsid inimesed asjatult pead, et seda ülesannet lahendada, ja kulutasid „igavese jõumasina“ (ladina keeles *perpetuum mobile*) ehitamiseks palju aega ning vaeva. Sellise jõumasina omamine näis veelgi ahvatlevamana kui kunst odavatest metallidest kulda saada.



Joonis 49. „Igavesti pöörlev“ ratas keskajast.

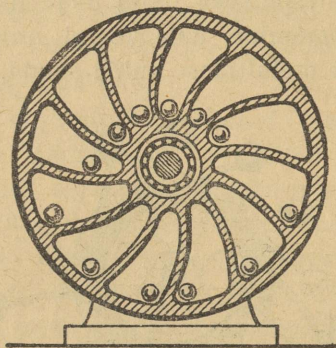
Puškin oma „Piltides rüütlite aegadest“ kirjeldab seesugust unistajat Bertoldi näol.

„Mis on *perpetuum mobile*?“ küsis Martin.

„*Perpetuum mobile*,“ vastas temale Bertold, „on igavene liikumine. Kui mul õnnestub saavutada igavest liikumist, siis ei näe ma enam piire inimese loominguks... Kas näed, armas Martin! Teha kulda on väga ahvatlev ülesanne, leiutus, mis võib-olla on huvitav ja kasulik, aga leiutada *perpetuum mobile*...oo!“

Mõeldi välja sadu „igavesi jõumasinaid“, aga ükski neist ei liikunud. Igal juhul, nagu ka kirjeldatud näites, oli leiutajal mingi asjaolu kahe silma vahele jäänud, mis purustas kogu plaani.

Veel üks „igavesi jõumasina“ näide: ratas, milles olid veerevad rasked kerakesed (joon. 50). Leiutaja

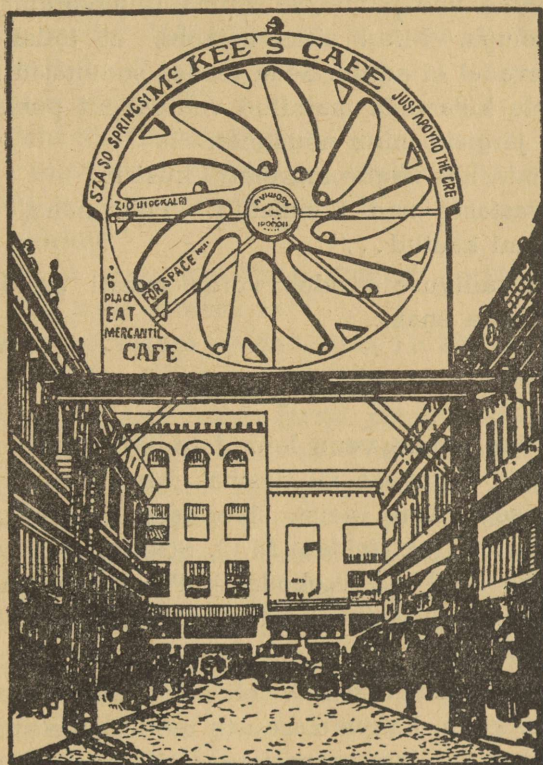


Joonis 50. „Igavene jõumasin“ üleveerevate keradega.

arvas, et ratta ühel poolel asetsevad kerad, olles selle äärtele alati lähemal, panevad oma raskusega ratta pöörlema.

Arusaadav, et see ei toimu samal põhjusel kui rattal, mis on kujutatud joonisel 49. Aga hoolimata sellest oli ühes Ameerika linnas reklaami otstarbeks, et inimesi kohvikusse meelitada, üles seatud tohutu suur seda laadi ratas (joon. 51). Kuigi vaatajaile paistis, et liikumine toimub veerevate kerade raskuse mõjul, pandi muidugi seegi „igavene jõumasin“ pöörlema osavalt peidetud mehhanismi abil. Seesüguse mehhanismi mudelit kui õpetlikku füüsikalist „pähkli“ näidati külalistele Lenin-

gradi „Huvitava Teaduse Paviljonis“. Samalaadsed olid ka teised „igavese jõumasina“ näited, mida kord pandi välja selleks, et inimesi juurde meelitada kellasepa-kaupluste vaateakendele.



Joonis 51. Reklaami jaoks ehitatud „igavene jõumasin“ Los Angeles’es (Kalifornias).

Üks reklaamilik „igavene jõumasin“ tekitas mulle kord küllaltki sekeldusi. Minu õpilased-töölised olid sellest sedavõrd haaratud, et kõik minu tõestused seesuguste

masinate võimatusest ei avaldanud neile mingit mõju. Nägemine, kuidas kerad veeredes panid ratta pöörlema ja koos rattaga üles tõusid, veenis neid tugevamalt kui kõik minu seletused. Nad ei tahtnud uskuda, et kujutletav mehhaaniline ime pannakse käima linnavõrgult saadud elektrivooluga. Mind aitas asjaolu, et tollal elektrit puhkepäevadel ei antud. Seda teades soovitasin ma oma kuulajatele külastada mainitud vaateakent puhkepäevadel. Nad järgisid minu nõuannet.

„Noh, mis, kas nägite masinat?“ küsisin.

„Ei,“ vastasid nad kohmetult. „Pole näha, on aja-lehega kinni kaetud...“

Energia säilivuse seadus võitis uuesti usalduse ega kaotanud seda enam.

### **„Pisut puudub.“**

Pole väike nende vene leiutajate-iseõppijate arv, kes vaeva nägid „igavese jõumasina“ ahvatleva probleemi lahendamisega. Ühte neist, siberlasest talupoega Aleksandr Štšeglovi, kirjeldab M. J. Štšedrin oma novellis „Kaasaegne idüll“ „väikekodanik Presentovi“ nime all. Štšedrin jutustab selle leiutaja töökoja külastamisest järgmist:

„Väikekodanik Presentov oli mees aastat kolmkümmend viis, kõhn, kahvatu, suurte mõtlikkude silmadega, pikkade, kaelani langevate juustesalkudega. Tema tare oli küllalt ruumikas, kuid pool sellest oli suure hooratta all, nii et meie seltskond vaevalt sinna ära mahtus. Ratas oli suur, kodaratega. Ratta pöid oli üsna mahukas, tehtud katisarnaselt, seest tühi, laudadest. Selle õõnsuses peituski mehhanism, mis pidi olema leiutaja saladuseks. Saladus muidugi polnud kuigi kaval. See seisnes

kottides liivaga, mis pidid üksteist vastastikku tasa-kaalustama. Ühest kodarast oli läbi torgatud varras, mis hoidis ratast paigal.

„Me oleme kuulnud, et olete igavese liikumise seaduse rakendanud tegelikkusesse?“ alustasin juttu.

„Ei tea, kuidas öelda,“ vastas ta kohmetult, „paistab, nagu oleks nii...“

„Kas võib vaadata?“

„Olge lahked! Heameelega...“

Ta viis meid ratta juurde, siis ümber selle. Osutus, et nii ees kui ka taga oli ratas.

„Kas pöörleb?“

„Paistab, et peaks pöörlema. Veidi nagu tujutseks...“

„Kas võib riivi eemaldada?“

Prezentov kõrvaldas varda. Ratas jäi liikumatuks.

„Tujutseb,“ kordas ta, „tuleb talle anda impett!<sup>1</sup>“

Ta haaras mõlema käega ratta põiast, pööras ratast paar korda üles ja alla, viimaks võngutas seda tugevasti ja laskis käima. Ratas hakkas pöörlema. Paar pööret tegi ta üsna kiiresti ja sujuvalt; oli kuulda, kuidas põias kotid liivaga kord surusid vaheseinu, kord liikusid neist eemale. Pöörlemine jäi aga üha aeglasemaks. Kuuldus raginat, naginat ja lõpuks jäi ratas seisma.

„Tähendab, väike viperus,“ seletas leiutaja segaselt, pingutas end uuesti ja andis rattale hoogu.

Aga ka teisel korral oli sama lugu.

„Võib olla, et te hõõrdumist arvesse ei võtnud?“

„Ka hõõrdumine oli arvestatud... Mis hõõrdumine? See pole hõõrdumisest, vaid... Mõnikord rõõmustab südant, kuid siis äkki hakkab tujutsema, jonnima ja

---

<sup>1</sup> Impett — tõuge, sõnast *impetus*. — Tõlkija märkus.

asjal on lõpp. Oleks ratas tehtud korralikust materjalist! Aga see siin ju igasuguseist jäätmeist!"

Asi ei seisne siin muidugi mitte „väikeses viperuses“ ega „korralikus materjalis“, vaid mehhanismi põhiolu vääruses. Ratas pöörles veidi „impetist“, mis oli saadud leiutajalt, ja pidi paratamatult seisma jääma, kui väljastpoolt saadud energia oli kulunud hõõrdumise ületamiseks.

### „Peajõud on kerades.“

Teisest „igavese jõumasina“ vene leiutajast, talupojast-permlasest<sup>1</sup> Lavrenti Goldõrevist (surnud 1884. a.) jutustab kirjanik Karonin (N. J. Petropavlovski) jutustus „*Perpetuum mobile*“. Leiutaja esineb Põhtini nime all. Selle iseõppija leiutist kirjeldatakse kirjaniku poolt, kes isiklikult Goldõrevit tundis, üsna üksikasjaliselt:

„Meie ees seisis suurte mõõtmetega imelik masin; see sarnanes esimesel pilgul seadeldisega, milles rautatakse hobuseid; paistsid silma puudulikult hõõveldatud puusambad, vahepalgid ja ratastik hoo- ja hammasrattaist; kõik see oli kohmakas, hõõveldamata, inetu. Masina all olid mingisugused malmist kerad; kõrval oli neid veel terve kuhi.

„Kas see ongi?“ küsis valitseja.

„Jah, see.“

„Noh, kas pöörleb?“

„Muidugi pöörleb!“

„Ons sul hobune, et seda pöörata?“

„Milleks mul hobune? Ta ise...“, vastas Põhtin ja

---

<sup>1</sup> Perm — nüüdne Molotov.

asus koletise ehitust näitama. Peaosa etendasid malmist kerad, mis olid siinsamas nurgas hunnikus.

„Peajõud ongi neis kerades... Vaadake siia: esiteks paisatakse kera sellele kopale... siit jookseb ta nagu välk seda renni mööda edasi, seal puutub ta kokku tolle kopaga ja lendab siis kui hull sellele rattale; annab sellele tugeva löögi, nii tugeva, et vihisema hakkab... Sel ajal kui see kera lendab, teeb seal oma tööd juba teine... Seal ta juba jälle lendab ja — kõmdi! Vaata siia! Nüüd ta jookseb juba jälle renni mööda... paiskub tollele kopale, langeb tollele rattale ja jälle korra! Ja nii edasi. Kae, selles seisnebki asi... Ma lasen ta nüüd käima...“

Põhtin jooksis rutates sinna-tänna mööda kuuri, korjates kokku laialipillatud kerasid. Viimaks, ajanud need ühte hunnikusse enda läheduses, haaras ta ühe neist kätte ja paiskas selle täie hooga lähema ratta kopa peale, siis ruttu teise, kolmanda... Kuuris tekkis midagi kujutlematut: kõrin kerade kokkupuutumisest raudkoppadega, rataste puuosade kägin, sammaste oigamine. Põrgulik vilistamine, sumin, lõgin täitis poolpimedat ruumi...“

Kirjanik kinnitab, et Goldõrevi masin olevat liikunud. See on ilmne arusaamatus. Pöörlemine oli võimalik ainult niikaua, kuni tõstetud kerad laskusid alla; siis võisid nad ratta liikuma panna nii, nagu seda teevad seinakella pommid, nimelt nende tõstmisel saadava energia arvel. Selline masina liikumine ei võinud kesta kaua: kui kõik varem koppadele paisatud kerad alla jõuavad, jääb masin seisma, kui mitte juba varem nende kerade vastumõjul, mida masin peab tõstma.

Leidur pettus ka ise hiljem oma „lapsukeses“, kui ta oli oma masina välja pannud näitusel Jekaterinburgis<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> Nüüdne Sverdlovsk.

kus ta tundma õppis tõelisi tööstusmasinaid. Küsimusele tema poolt väljamõeldud iseliikuva masina kohta vastas ta nukralt: „Mingü ta kus seda ja teist! Käskige ta lõhkuda küttepuudeks ...“

### Ufimtsevi akumulaator.

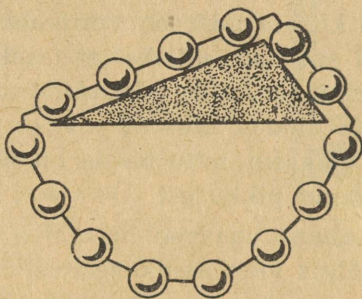
Kuivõrd kergesti võib sattuda eksiteele, kui tahetakse „igavese liikumise“ kohta otsustada ainult masina väliskuju järgi, näitab Ufimtsevi nõndanimetatud mehhaanilise energia akumulaator. Leidur A. G. Ufimtsev Kurskist ehitas uut tüüpi tuule-jõujaama odava, hooratta põhimõttele rajatud inertsakumulaatoriga. 1920. aastal ehitas Ufimtsev oma akumulaatori mudeli, mis koosnes pöörlevast kettast kuullaagritel vertikaalse telje ümber õhutühjas kestas. Kui tiirude arv on viidud kuni 20 000-ni minutis, säilitab ketas oma pöörlemise viieteistkümne päeva jooksul. Nähes seda ketast pöörlevat päevade kaupa energia juurdevooluta väljastpoolt, võib pealiskaudsel vaatelejal tekkida arvamus, et tegemist on igavese liikumise reaalse teostumisega.

### Ime ja ka mitte-ime.

„Igavese jõumasina“ lootusetu otsimine on teinud paljud inimesed sügavalt õnnetuks. Tundsin üht töölist, kes kulutas kõik oma sissetulekud ja hoiused „igavese jõumasina“ mudeli ehitamiseks ja vaesestus selle tagajärjel täielikult. Ta langes oma teostamatu idee ohvriks. Pooledi rõivastatult, alati näljasena mangus ta kõigilt raha „lõpliku mudeli“ ehitamiseks, mis pidi „tingimata liikuma“. Oli kurb tunnistada, et see inimene kannatas puudust füüsika elementaarsete aluste mittetundmise pärast.

Vaatamata sellele, et kõik igavese jõumasina otsingud jäid viljatuks, on siiski huvitav märkida, et sügav arusaamine selle teostamatusest on viinud sageli väga viljakatele avastustele.

Heaks näiteks on see viis, kuidas avastas Stevin, silmapaistev hollandi teadlane XVI sajandi lõpul ja XVII sajandi algul, kaldpinnal valitseva tasakaalu seaduse. See matemaatik on ära teeninud palju suuremat kuulsust kui see, mis talle osaks on saanud, sest ta tegi palju tähtsaid, praegu pidevalt rakendatavaid avastusi: ta leiutas kümnendmurrud, võttis algebras tarvitusele näitajad (eksponendid), avastas hüdrostaatilise seaduse, mis hiljem Pascal'i poolt uuesti avastati. Tungide tasakaalu seaduse kaldpinnal avastas ta, toetudes mitte tungide rööpküliliku reeglile, vaid kasutades ainult ka siin esitatud joonist (joon. 52). Üle kolmetahulise



Joomis 52. „Ime ja mitteime”.

prisma on heidetud 14 ühesugusest kerast kett. Mis toimub selle ketiga? Vanikuna prisma all rippuv ketiosa on tasakaalus. Kas aga ülejäänud kaks ketiosa tasakaalustavad teineteist või mitte? Teiste sõnadega, kas kaks parempoolset kera tasakaalustavad nelja vasakpoolset?

Muidugi, kui mitte, siis hakkaks kett igavesti liikuma paremalt vasakule, sest äralibisevate kerade asemele tuleksid iga kord järjest uued ja tasakaalu poleks kunagi. Kuna me aga teame, et niisugusel viisil üle prisma heidetud kett iseendast ei liigu, siis on selge, et kaks parempoolset kera tõesti tasakaalustavad nelja vasakpoolset. Tundub nagu imena: kaks kera tõmbavad sama tungiga kui neli.

Sellest näivast imest tuletas Stevin tähtsa mehhaanikaseaduse. Ta arutles nii. Mõlemad keti osad, pikem ja lühem, ei kaalu ühepalju: üks keti osa on teisest raskem niipalju korda, kuimitu korda on prisma pikem tahk pikem lühemast. Siit järeldub, et ka üldiselt kaks nõoriga ühendatud koormist tasakaalustavad teineteist kaldpindadel siis, kui nende raskused on võrdelised tasapindade pikkustega.

Erijuhul, kui kitsam tahk on vertikaalne, saame mehhaanika tuntud seaduse: selleks, et tasakaalustada keha kaldpinnal, tuleb tema külge rakendada tung, mis on suunatud kaldpinda mööda üles ja mis on keha raskusest niipalju korda väiksem, mitu korda on kaldpinna kõrgus väiksem kaldpinna pikkusest.

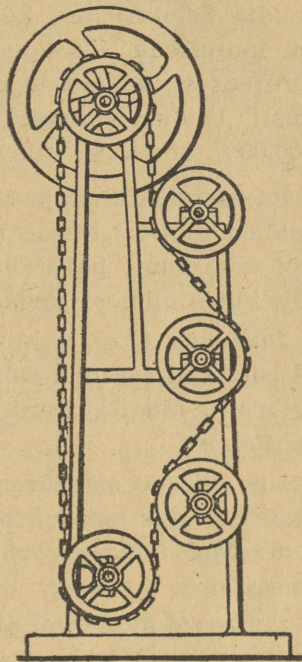
Lähtudes järelikult igavese liikumise võimatuse mõttest avastati tähtis mehhaanikaseadus.

### Veel „igavestest jõumasinatest“.

Joonisel 53 näete rasket ketti, mis on tõmmatud üle rataste nõnda, et igas asendis on keti parem pool pikem vasakust. Järelikult, arutles leidur, peab keti parem pool üles kaaluma vasaku ja paratamatult langema, pannes seejuures liikuma kogu mehhanismi. Kas on see nii?

Muidugi mitte. Praegu me nägime, et ka kerge kett võib tasakaalustada rasket, kui nende külge rakendatud tungid mõjuvad eri nurkade all. Vaadeldavas mehhanismis on vasakpoolne kett püstasendis, parempoolne on aga asetatud kaldu ja seepärast, kuigi olles raskem, ei kaalu ta üles vasakpoolset. Oodatavat „igavest“ liikumist ei teki.

Võib-olla kõige teravmeelsem kõigist „igavese jõumäšina“ leidureist oli see, kes möödunud sajandi kuuekümnendail aastail näitas Pariisi näitusel oma leiutist. Masin koosnes suurest veerevate keradega rattast. Sealjuures kinnitas leidur, et kellelgi ei õnnestu masinat seisma panna. Küllastajad katsusid üksteise järel masinat peatada, aga peale käte äravõtmist hakkas ratas kohe jälle pöörlema. Keegi ei tulnud mõttele, et ratas pöörleb ainult tänu küllastajate püüdlustele teda seisma panna: pöörates ratast tagasi, keerasid nad sellega üles osavalt peidetud mehhanismi vedru.



Joonis 53. Kas see jõumasin on igavene?

### Peeter I aegne „igavene jõumasin“.

On säilinud elav kirjavahetus, mida pidas Peeter I aastail 1715—1722, et osta Saksamaalt kellegi doktor

Orfireuse poolt ehitatud igavest jõumasinat. Leidur, kes oli kuulsaks saanud kogu Saksamaal oma „iselii-kuva rattaga“, oli nõus tsaarile oma masinat müüma ainult väga suure summa eest. Õpetatud raamatukoguhoidja Schumacher, kelle Peeter I oli saatnud läände, et muretseda igasuguseid haruldusi, kirjutas tsaarile Orfireusest, kellega ta pidas ostu üle läbirääkimisi, järgmist: „Leiduri viimased sõnad olid: ühele poolele pange 100 000 jefimkat<sup>1</sup>, siis panen teisele poolele masina.“

Raamatukoguhoidja sõnade järgi olevat leidur masina kohta ütelnud: „Masin on ehtne, keegi ei saa teda laita, või siis ainult pahatahtlikkusest, aga kogu maailm on täis kurje inimesi, keda ei saa uskuda.“

Jaanuaris 1725. a. kavatses Peeter I sõita Saksamaale, et isiklikult tutvuda selle „igavese jõumasinaga“, millest nii palju räägiti, kuid surm takistas tsaari kavatsuse teostamist.

Kes oli see salapärane doktor Orfireus ja milline oli tema „kuulus masin“, mille Peeter I oleks peaaegu ostnud? Mul õnnestus välja otsida teateid nii ühest kui teisest.

Orfireuse õige nimi oli Bäsler. Ta oli sündinud 1680. a. Saksamaal, oli õppinud usuteadust, arstiteadust, maalikunsti ja lõpuks hakkas tegelema „igavese jõumasina“ leiutamiseega. Tuhandeist selliseist leidureist oli Orfireus-Bäsler kõige kuulsam ja võib-olla ka kõige menukam, sest kuni oma elupäevade lõpuni (ta suri 1745. a.) elas ta külluses neist sissetulekuist, mida ta sai oma masina näitamisest.

Siinkohal lisatud joonisel 54 (mis on võetud ühest

---

<sup>1</sup> Jefimka (Joachimsthaler) — umbes üks rubla.

vanast raamatust) on kujutatud Orfireuse masin sellisena, nagu see oli aastal 1714. Näete suurt ratast, mis mitte ainult ei pöörelnud iseendast, vaid seejuures tõstis rasket koormist tähelepanavale kõrgusele.

Kuulsus imelikust leiutisest, mida õpetatud doktor algul näitas laatadel, levis kiiresti üle kogu Saksamaa ja Orfireus leidis varsti endale vägevaid toetajaid. Masina vastu hakkas huvi tundma Poola kuningas, hiljem Hessen-Kasseli landkrahv. See andis leidurile katsete tegemiseks kasutada oma lossi ja proovis masinat igati.

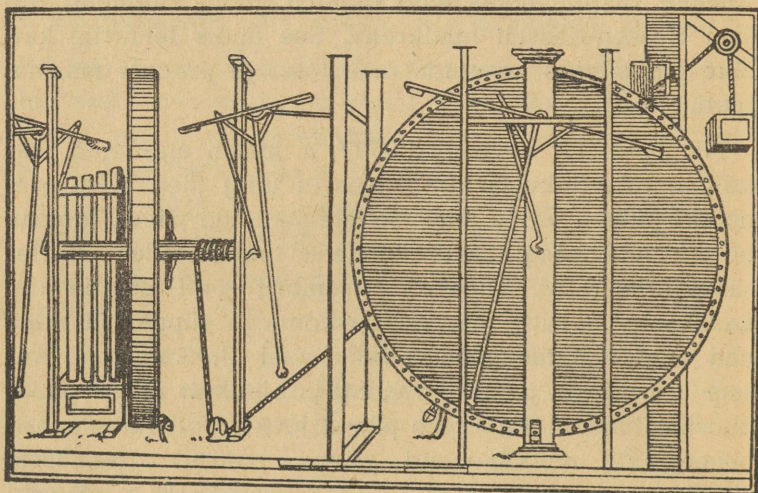
Nii pandi 12. novembril 1717. a. masin eraldatud toas käima; tuba lukustati ja pitseeriti ning jäeti kahe grenaderi pideva valve alla. Neljateistkümne päeva jooksul ei tohtinud keegi isegi läheneda toale, milles pöörles salapärane ratas. Alles 26. novembril võeti pitserid ära. Landkrahv siirdus oma saatjaskonnaga tuppa. Ja mida nad nägid? Ratas pöörles ikka veel „lakkamatu kiirusega“... Masin peatati, vaadati põhjalikult üle ja pandi uuesti käima. Neljakümne päeva jooksul oli ruum uuesti pitseeritud; nelikümmend päeva pidasid grenaderid ukse juures valvet. Ja kui 4. jaanuaril 1718. a. pitserid ära võeti, leidis ekspertide komisjon masina pöörlemast!

Ka sellega ei jäänud landkrahv rahule: tehti kolmas katse. Masin pitseeriti tervelt kaheks kuuks. Ja ka selle tähtaja möödumisel leiti ta pöörlevana.

Leidur sai vaimustatud landkrahvilt ametliku tõendi selle kohta, et tema igavene jõumasin teeb 50 tiiru minutis, on võimeline tõstma 16 kg 1,5 m kõrgusele ja võib ka käima panna sepalõõtsa ja teritamismasina. Selle tõendiga rändaski Orfireus mööda Euroopat, näidates oma masinat. Tõenäoliselt sai ta suuri sissetulekuid,

kui ta Peeter I-lt võis nõuda oma masina eest mitte vähem kui 100 000 rubla.

Teated doktor Orfireuse sedavõrd hämmastavast leiutisest levisid kiiresti üle kogu Euroopa, tungides kaugele üle Saksamaa piiride. Sõnum jõudis ka Peetrini ja kutsus esile suure huvi tsaaris, kes oli maias igasuguste „kavalate masinate“ peale.



Joonis 54. Orfireuse iseliikuv ratas. Peeter I oleks selle ratta peaaegu ära ostnud. (Vanaaegse joonise järgi.)

Juba 1715. aastal oma välismaareisul pööras Peeter I tähelepanu Orfireuse rattale; ta tegi tuntud diplomaadile Ostermannile ettepaneku selle leiutisega lähemalt tutvuda. Juba lühikese aja pärast saatis Ostermann Peetrile masinast üksikasjalise ettekande, kuigi tal ei läinud korda masinat näha. Peetril oli isegi kavatsus Orfireust kui silmapaistvat leidurit enda juurde ametisse kutsuda ja ta soovis selle kohta teada saada Christian

Wolf'i, toleaege se tuntud filosoofi (Lomonossovi õpetaja) arvamust.

Kuulsale leidurile tehti austavaid ettepanekuid igalt poolt. Selle maailma vägevad külvasid ta üle oma kõrge armuga; luuletajad pühendasid sellele imerattale oma oode ja hümne. Aga leidus ka pahatahtlikke, kes nägid siin osavat pettust. Üksikud julged mehed süüdistasid Orfireust avalikult tüssamises; lubati tuhandemargane preemia sellele, kes pettuse avastab. Ühes süüdistavas pamfletis leiame ka siin esitatud joonise (joon. 55). Paljastaja arvamuse järgi seisnes „igavese jõumasina“ saladus lihtsalt selles, et osavalt peidetud mees tõmbab nõõrist, mis on mähitud vaatlejate eest varjatult ratta võlli toes asetsevale osale.

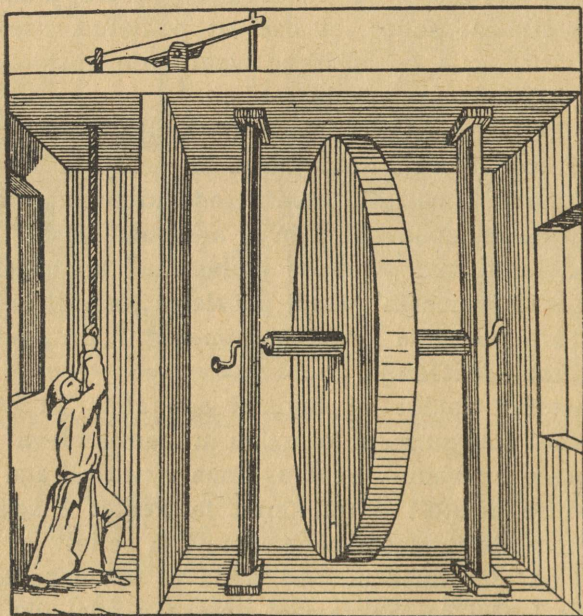
Peen pettus avastati juhuslikult ainult seetõttu, et õpetatud doktor läks tülli oma naise ja teenijaga, kes tundsid masina saladust. Kui poleks seda juhtunud, oleksime tõenäoliselt tänapäevani jäänud arusaamatusse selle nii palju kõmu teinud „igavese jõumasina“ kohta. Osutus, et „igavene jõumasin“ pandi pöörlema tõepoolest peenikese nõõri abil, mida tõmbasid inimesed. Pöörajateks olid leiduri vend ja teenija.

Paljastatud leidur ei andnud aga alla. Ta kinnitas visalt kuni oma surmani, et naine ja teenija olevat vihast tema peale kaevanud. Usaldus tema vastu oli aga kadunud. Mitte asjatult ei rääkinud ta Peeter I saadikule Schumacherile inimeste pahameelest ja sellest, et „kogu maailm on täis kurje inimesi, keda ei saa uskuda“.

Peeter I ajal sai Saksamaal kuulsaks veel üks teine, kellegi Gärtneri „igavene jõumasin“. Schumacher kirjutas sellest masinast järgmist: „Härra Gärtneri *perpetuum mobile*, mida ma nägin Dresdenis, koosneb liivaga täidetud lõuendist ja käia moodi tehtud masinast. See

liigub iseendast sinna ja tagasi, teda pole aga leiduri sõnade järgi võimalik ehitada kuigi suurena." Kahtlemata ei saavutanud seegi masin oma sihti ja oli paremal juhul samuti osavalt peidetud keeruline mehhanism, hoopiski mitte „igavese“ elava käivitajaga.

Schumacheril oli täiesti õigus, kui ta kirjutas Peeter I-le, et prantsuse ja inglise teadlased „ei pea millekski selliseid *perpetuum mobile*'sid ja ütlevad, et seesugused masinad on matemaatiliste printsiipidega vastuolus“<sup>1</sup>.



Joonis 55. Orrifireuse ratta saladus (vanaaegse joonise järgi).

<sup>1</sup> Lugeja leiab „igaveste jõumasinate“ ajaloo V. L. Kirpitševi raamatust „Vestlused mehhaanikast“ (1933). Seda suurepäraselt raamatut peab lugema igaüks, kes on huvitatud füüsikast ja mehhaanikast, kui ta tunneb matemaatikat.



Viies peatükk.

## Vedelikkude ja gaaside omadused.

### Ulesanne kahest kohvikannust.

Teie ees seisab kaks ühesuguse laiusuga kohvikannu (joon. 56): üks kõrgem, teine madalam. Milline on neist mahukam?



Joonis 56. Missugusesse neist kohvikannudest on võimalik valada rohkem vedelikku?

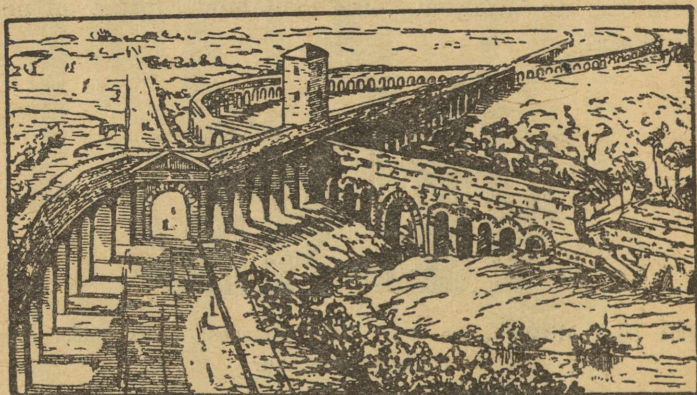
Tõenäoliselt ütlevad paljud mõtlemata, et kõrgem kohvikann on madalamast mahukam. Kui te aga hakkaksite valama vett kõrgemasse kohvikannu, saaksite seda teha ainult toru otsa tasemeni: kui valate rohkem, hakkab vesi välja voolama. Et aga toru otsa kõrgus mõlemal kohvikannul on võrdne, siis osutub, et madalam kohvi-

kann mahutab endasse niisama palju vedelikku kui lühikese toruga kõrgem kann.

See on ka arusaadav: kannus ja torus kui ühendatud anumais peab vedelik seisma ühel kõrgusel, kuigi vedelik kannu torus kaalub palju vähem kui see osa vedelikku, mis täidab kohvikannu ülejäänud osa. Kui kohvikannu toru ots pole küllalt kõrge, pole kohvikannu võimalik täita ääreni: vesi jookseb välja. Tavaliselt on toru ots isegi kõrgem kannu äärest, et oleks võimalik kannu veidi kallutada, ilma et selle sisu välja voolaks.

### Mida vanasti ei teatud.

Tänapäevani kasutavad nüüdse Rooma elanikud vanal ajal ehitatud veevärgi jäänuseid: nii soliidselt olid veevärgiehitised püstitatud orjade poolt.



Joonis 57. Vana-Rooma veevärgiehitised nende esialgsel kujul.

Sedasama ei saa aga öelda neid töid juhatanud Rooma inseneride teadmiste kohta: nad ei tundnud ilmselt küllaldaselt füüsika aluseid. Heitke pilk juurdelisatud joonisele 57, mis on reprodutseeritud pildilt Saksa Muu-

seumis Münchenis. Te näete, et Rooma veevärgi torustik polnud sängitatud maa alla, vaid asetses kõrgeil kivi-sambail. Milleks seda tehti? Kas poleks lihtsam olnud torud maa alla panna, nagu seda tehakse praegusajal? Muidugi lihtsam, kuid tolelaegsetel Rooma inseneridel oli väga udune kujutus ühendatud anumate seadusest. Nad kartsid, et väga pika toruga ühendatud vesistutes vesi ei tõuse ühesugusele kõrgusele. Kui torud on pandud maa alla maa kallakuid järgides, tuleb veel kohati voolata ülespoole; seda nimelt kartsidki vanad roomlased, arvates, et vesi ülespoole ei voola. Seepärast nad andsid veevärgitorudele tavaliselt ühtlase kallaku ülalt alla kogu nende teel ja seetõttu tuligi vett tihti juhtida ringi või jälle ehitada kõrgeid kaartügesid. Üks Rooma veevärgi torustikest, Aqua Martia, on 100 km pikk, kuna selle toru otste vaheline kaugus on otseteel kaks korda lühem.

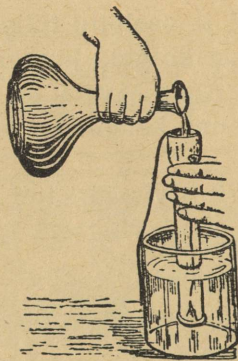
Pool sada kilomeetrit kivimüüri tuli ehitada ainult seepärast, et ei tuntud elementaarseid füüsikaseadusi!

### **Vedelikud rõhuvad ... ülespoole!**

Seda, et vedelikud avaldavad rõhumist allapoole, anuma põhjale ja külgedele, anuma seintele, teavad ka need, kes kunagi pole füüsikat õppinud. Vedelike rõhumist ülespoole aga paljud ei aimagi. Harilik lambiklaas aitab väenda, et seesugune rõhumine on tõepoolest olemas. Lõigake paksust papist ketas, mis kataks lambiklaasi avause. Pange see vastu klaasi ääri ja asetage klaas vette nii, nagu on näidatud joonisel 58. Selleks et ketas vette asetamisel alt ära ei kukuks, hoidke seda kinni läbi selle keskpunkti tõmmatud niidi abil või jälle suruge ta sõrmega lihtsalt vastu klaasi. Kui asetate klaasi teatava sügavuseni vette, näete, et ketas püsib

antud asendis sõrmega kinni hoidmata või niidist tõbbamata: teda hoiab vesi, mis avaldab rõhumist alt üles.

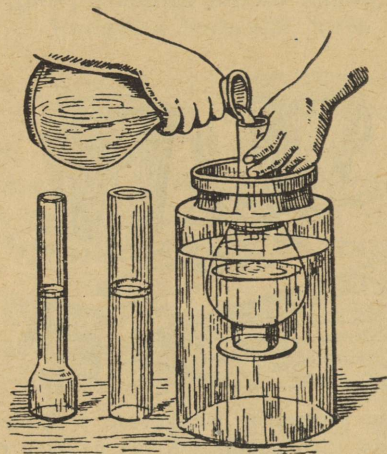
Seda rõhumist võite isegi mõõta. Valage ettevaatlikult klaasi vett: kui veepind klaasis hakkab lähenema anuma veepinna kõrgusele, siis ketas eraldub. Tähendab, vee rõhumine kettale alt üles tasakaalustub rõhumisega veesamba poolt, mille aluseks on ketta pindala ja kõrguseks ketta sügavus. Selline on vedeliku rõhumine igale vedelikku asetatud kehale. Sellest rõhumisest muide tuleneb ka kehade kaalu „kaotus“, millest kõneleb kuulus Archimedese seadus.



Joonis 58. Lihtne viis veendumiseks, et vedelik rõhub alt üles.

Kui teil on käepärast mitu erinevakujulist lambiklaasi ühesuuruse avaga, võite järele proovida ühe teise vedelike kohta käiva seaduspärasuse kehtivust. Nimelt: vedeliku rõhumine anuma põhjale oleneb ainult põhja pindalast ja vedeliku pinna kõrgusest; anuma kujust see rõhumine ei sõltu. Järeleproovimine seisneb selles, et teete ülalkirjeldatud katse eri klaasidega, lastes neid vette ühesuguse sügavuseni (selleks tuleb klaasidele ühesugusele kõrgusele kleepida paberiribad). Te täheldate, et

papist ketas eraldub iga kord ühesugusel veepinna kõrgusel klaasis (joon. 59). Tähendab, erikujuliste veesammaste rõhumised on võrdsed, kui on võrdsed sammaste põhjapinnad ja kõrgused. Pange tähele, et siin on jutt



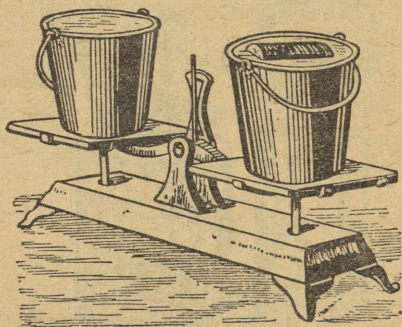
Joonis 59. Vedeliku rõhumine anuma põhjale oleneb ainult põhja pinnast ja vedeliku nivoo kõrgusest. Joonisel on näidatud, kuidas seda seadust kontrollida.

samba kõrgusest, mitte aga pikkusest, sest pikk ja kaldu asetatud sammas rõhub niisama tugevasti kui lühike ja püsti asetatud sama kõrgusega sammas (kui põhjapinnad on võrdsed).

### Mis on raskem?

Kaalude ühele kausile on asetatud veega ääreni täidetud pang, teisele kausile samasugune samuti veega ääreni täidetud pang, milles ujub aga puutükk (joon. 60). Kumb pang on raskem?

Selle küsimuse olen esitanud mitmesugustele inimestele ja olen saanud ka väga mitmesuguseid vastuseid. Ühed vastasid, et pang puutükiga peaks olema raskem, sest „peale vee on panges veel puu“. Teised jälle arvasid, et raskem peaks olema esimene pang, „sest vesi on puust raskem“.



Joonis 60. Mõlemad panged on ühesugused ja ääreni veega täidetud; ühes neist ujub puutükk. Kumb neist on raskem?

Ei üks ega teine vastus pole õige: mõlemad panged kaaluvad ühepalju. Teises panges, tõsi küll, on vett vähem, sest ujuv puutükk on osa vett välja tõrjunud. Ujumisseaduse põhjal aga tõrjub iga ujuv keha oma vees asetseva osaga kaalult niipalju vett välja, kuipalju kaalub kogu see keha. Nii on ka selge, miks kaalud peavad olema tasakaalus.

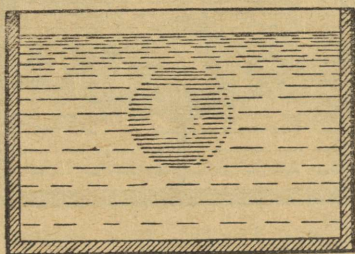
Nüüd lahendage teine ülesanne. Ma asetan vaekausile klaasi veega ja klaasi kõrvale vihi ning tasakaalustan kaalud. Kui see on tehtud, panen vihid veeklaasi. Mis toimub kaaludega?

Archimedese seaduse järgi kaalub viht vees vähem kui enne. Võiks arvata, et kaalukauss klaasiga läheb kergemaks. Tõeliselt jäävad aga kaalud tasakaalu. Kuidas seda seletada?

Viht klaasis tõrjub osa vett välja. Vee vaba pind selle tagajärjel tõuseb; seega suureneb ka vee rõhumine anuma põhjale suuruse võrra, mis võrdub vihi kaalukao-tusega vees.

### Vedeliku loomulik kuju.

Me oleme harjunud arvama, et vedelikel puudub oma kuju. See pole õige. Iga vedeliku loomulik kuju on kera kuju. Harilikult raskustung ei luba vedelikul seda kuju omandada. Vedelik jookseb anumast välja-valatuna õhukese kihina laiali või jälle võtab selle anuma kuju, millesse ta on valatud. Vedelik, olles teises



Joonis 61. Plateau katse. Õil on lahjendatud piiritusega anumast kera kuju. See kera ei upu ega tõuse lahuse pinnale.

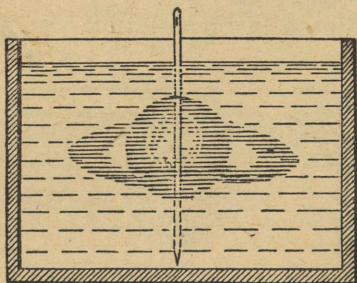
sama erikaaluga vedelikus, kaotab Archimedese seaduse põhjal oma kaalu: ta nagu ei kaaluks enam, raskustung ei näi temasse mõjuvat ja vedelik omandab oma loomuliku kuju (joon. 61).

Provanksõli ujub vee peal, kuid upub piirituses. Järelikult on võimalik veest ja piiritusest valmistada seesugust segu, milles provanksõli ei upu ega tõuse ka pinnale. Kui säärasesse segusse pritsi abil panna veidi õli, näeme imelikku nähtust: õli ripub liikumatult

segus suure kerakujulise tilgana: ta ei tõuse pinnale ega vaju põhja<sup>1</sup>.

Katse tuleb teostada kannatlikult ja ettevaatlikult, muidu saadakse ühe suure tilga asemel mitu vähemat. Aga ka sellisel kujul on katse küllaltki huvitav.

Ometi see pole veel kõik. Torgates puust pulgakese või traadi läbi vedela õlikera keskpunkti, paneme kera pöörlema. (Katse õnnestub paremini, kui teljele on asetatud väike õliga immutatud pappketas, mis aga peab jääma tervena kera sisse.) Pöörlemise mõjul hakkab õlitilk muutuma lapikuks ja siis, mõne sekundi pärast,



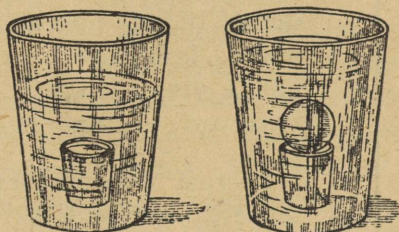
Joonis 62. Kui piirituselahusesse asetatud õlikera sellest läbitorgatud varva ümber kiiresti pöörlema panna, eraldub kerast rõngas.

eraldab endast rõnga. Rõnga lagunemisel tükkideks ei teki vormitud õliosad, vaid kerakujulised tilgad, mis jätkavad oma pöörlemist ümber keskse kera (joon. 62).

Esimesena korraldas selle õpetliku katse belgia füüsik Plateau. Siin on Plateau katse kirjeldatud selle klassilisel kujul. Palju kergemalt, aga niisama õpetlikult võib katset teha nii, nagu seda soovitas kadunud Leningradi

<sup>1</sup> Et kera kuju ei paistaks meile moonutatuna, tuleb katse sooritada kandilises anumask. Kui katse tehakse ükskõik millises anumask, siis tuleb anum paigutada veega täidetud kandilisse nõusse.

füüsik ja pedagoog Rosenberg. „Väike klaas täidetakse peale veega loputamist provanksõliga ja asetatakse siis suure klaasi põhjale. Viimasesse valatakse ettevaatlikult niipalju piiritust, et väike klaas oleks sellega kaetud. Nüüd valatakse ettevaatlikult piiritusele lusikaga vähehaaval vett, aga nii, et vesi jookseks alla klaasi seinu mööda. Õli pind väikeses klaasis muutub kumeraks; kumerus üha suureneb ja küllaldaselt juurdelisatud veehulga puhul tõuseb õli klaasikesest, moodustades üsna suure piirituse ja vee segus rippuva kera“ (joon. 63).



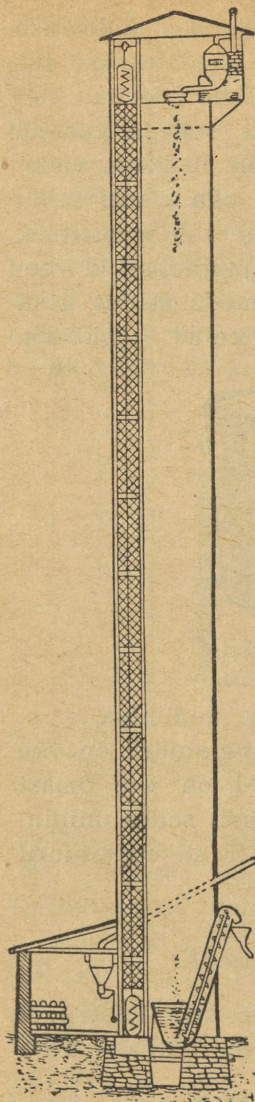
Joonis 63. Lihtsustatud Plateau katse.

Piirituse puudumisel võib teha katse aniliiniga, s. o. vedelikuga, mille erikaal harilikul temperatuuril on vee erikaalust suurem, kuid  $75-85^{\circ}\text{C}$   $t^{\circ}$ -l on vee omast väiksem. Vett soojendades õnnestub meil selles aniliini suure keraja tilgana ujuda lasta. Toatemperatuuril aniliinitilk tasakaalustub soolalahuses <sup>1</sup>.

### Miks on haavlid ümmargused?

Me rääkisime sellest, et iga vedelik, kui temasse ei mõju raskustung, võtab oma loomuliku kuju — kera

<sup>1</sup> Teistest vedelikest võib kasutada ortotoluidiini. See on tume-punane vedelik, mille erikaal on niisama suur kui soolasel veel. Katsel valatakse seda vedelikku soolalahusesse.



Joonis 64.  
Haavlivalamisvabriku torn.

kuju. Kui te nüüd meenutate seda, mis oli varem öeldud langeva keha kaalutuse kohta, ja võtate arvesse, et ainult langemise algul võib võrdlemisi tühine õhutakistus tähelepanematuks jääda<sup>1</sup>, siis mõistate, et väikestel langevatel vedelikuosadel peab olema kera kuju. Ja tõepoolest: langevad vihmatilgad on kerakujulised. Haavliterad pole midagi muud kui sulatatud tina tardunud tilgad, mis tööstuslikul tootmisel lastakse suurelt kõrguselt külma vette langeda: siin nad kõvastuvad korrapärasteks keradeks.

Niiviisi valatud haavleid nimetatakse „tornihaavleiks“, sest valmistamisel lastakse neil langeda kõrge „haavlivalutorni“ tipust alla (joon. 64). Haavlivalutehase tornid on kuni 45 m kõrged raudehitised; kõige kõrgemas osas asetseb valukoda sulatamiskateldega, all aga paak veega. Niiviisi valatud haavel läheb sortimisele ja viimistlemisele. Sulatina tilk tardub haavleiks juba lange-

<sup>1</sup> Vihmatilgad laskuvad ainult langemise algul vabalt langevate kehadena, kuid juba langemise esimese sekundi teise poole algul muutub liikumine suureneva õhutakistuse tõttu ühtlaseks. Üksikasju selle kohta leiate minu raamatu „Huvitav mehhaanika“ 9. peatükist, artiklist „Vihmatilkade kiirus“.

misel; veepaak on tarvilik vaid selleks, et nõrgendada põrget kukkumisel ja vältida sellega kera kuju muutmist. (Haavlid läbimõõduga üle 6 mm, nn. kartetšid, valmistatakse teisiti, nimelt traaditükikesed rullitakse keradeks.)

### „Põhjatu“ peeker.

Te valasite peekri ääreni vett täis. Peekri kõrval on nõöpnõelu. Võib-olla on peekris veel ruumi ühe-kahe nõöpnõela jaoks? Proovige järele!

Hakake peekrisse langetama nõöpnõelu ja loendage neid. Tuleb visata ettevaatlikult: hoolikalt kastke teravik vette ja eemaldage siis ettevaatlikult käsi tõuketa ja rõhumiseta, et vesi välja ei loksuks. Üks, kaks, kolm nõöpnõela langesid põhjale. Veepind jäi muutumatuks. Kümme, kakskümmend, kolmkümmend nõöpnõela... Vedelikku ei voola üle. Viiskümmend, kuuskümmend, seitsekümmend. Tervelt sada nõöpnõela on peekri põhjas, aga vesi ikkagi veel ei jookse üle peekri ääre (joon. 65).

Mitte ainult ei jookse üle ääre, vaid pole ka äärtel märgata vähimatki veepinna tõusu. Jätkake nõöpnõelte heitmist peekrisse. Teine, kolmas, neljas sada nõöpnõelu on juba peekris, aga tilkagi vett pole veel üle voolanud; nüüd on vaid näha, et vedeliku pind on paisunud, veidi üles tõusnud. Selles paisutises seisnebki kogu selle arusaamatu nähtuse seletus. Vesi märgab klaasi väga vähe, kui viimane pole täiesti puhas rasvast. Peekri, nagu ka kõigi teiste tarvitataivate nõude ääred on kokkupuuteist sõrmedega kaetud rasvajälgedega. Nõöpnõelte poolt väljatõrjutud vesi, märgamata peekri ääri, tekitab pinna kumeruse; selle kõrgus on silmale vaevalt märgatav. Aga kui võtate vaevaks arvutada nõöpnõela ruumala ja

võrrelda seda üle ääre ulatuva vee ruumalaga, siis näete, et esimene ruumala on sadu kordi väiksem teisest, ja seepärast on ka „täidetud“ peekris ruumi veel mitmesajale nööpnõelale. Mida laiem on anum, seda rohkem nõelu mahub sellesse, seda suurem on „veekuhja“ ruumala.



Joonis 65. Hämmastav katse nööpnõeltega veega täidetud peekris.

Selgituseks teeme ligikaudse arvutuse. Nööpnõela pikkus on umbes 25 mm, paksus 0,5 mm. Sellise silindri ruumala on tuntud geomeetria valemi järgi  $\left(\frac{\pi d^2 h}{4}\right)$ , mis on 5 mm<sup>3</sup>. Koos peaga ei ületa nööpnõela ruumala 5,5 mm<sup>3</sup>.

Leiame nüüd üle peekri ääre kerkinud veekihi ruumala. Peekri läbimõõt on 9 cm = 90 mm. Niisuguse ringi pindala võrdub 6400 mm<sup>2</sup>. Oletades, et vee kumeruse kõrgus on ainult 1 mm, saame mainitud veesamba ruumalaks 6400 mm<sup>3</sup>, mis on nööpnõela ruumalast 1200 korda suurem. Teiste sõnadega: veega „täidetud“ peeker võib mahutada üle tuhande nööpnõela! Ja tõepoolest, seda ettevaatlikult tehes võib peekrisse lasta terve

tuhande nööpnõelu; näib, nagu oleks kogu peeker nendega täidetud ja osa neist ulatub isegi üle peekri ääre, kuid vett peekrist siiski üle ei jookse.

### Petrooleumi huvitav iseärasus.

Kellel on petrooleumilambiga tegemist olnud, see tõenäoliselt on tuttav nende vastumeelsete ootamatus-tega, mida tingib üks petrooleumi eriomadusi. Te täidate lambi reservuaari ja hõõrute selle väljastpoolt kuivaks. Tunni aja pärast on ta aga jällegi märg.

Asi seisneb selles, et te pole lambipead küllalt tihedalt sisse kruvinud ja petrooleum, püüdes klaasil laiali valguda, tungib välja reservuaari välispinnale. Kui soovite vältida selliseid üllatusi, peate lambipea võimalikult tihedalt sisse kruvima<sup>1</sup>.

Petrooleumi laialivalguvus annab ennast väga eba-meeldival viisil tunda laevadel, millede masinate kütteks kasutatakse petrooleumi või naftat. Sellistel laevadel, kui pole tarvitusele võetud vastavaid abinõusid, on täiesti võimatu vedada muid kaupu peale petrooleumi või nafta, sest need vedelikud valguvad märkamataste avauste kaudu paakidest välja tungides laiali mitte ainult nende paakide metallpindadel, vaid tungivad kõikjale, isegi reisijate rõivastesse, andes kõigile esemeile oma hävitamatu lõhna. Katsed selle pahega võidelda ei anna pahatihti tulemusi. Inglise humorist Jerome ei liialda kuigi palju, kui ta oma

---

<sup>1</sup> Lambipead tihedalt sisse kruvides ärge unustage vaatamast, et lambi reservuaar ei oleks ääreni täidetud. Soojendamisel paisub petrooleum üsna tunduvalt (ta ruumala suureneb ühe kümnendiku ulatuses temperatuuri tõusul 100° võrra). Selleks et reservuaar ei lõhkeks, tuleb sellesse jätta ruumi petrooleumi paisumiseks.

naljajutustuses „Kolm meest paadis“ kirjutab petrooleumist järgmist:

„Ma ei tunne ainet, mis oleks võimelisem kõikjale läbi immitsema kui petrooleum. Me hoidsime teda käilas, kuid ta tungis sealt paadi teise otsa, oma lõhnaga läbi immutades kõik, mis talle teele ette juhtus. Tungides läbi paadi seinte tilkus ta vette, rikkus õhku ja taevast, mürgistas elu. Mõnikord puhus uus tuul — põhjapetrooleum; teinekord jälle lõuna, lääne või ida oma ja kus tuul ka iganes sündis, ikka lendas ta meile vastu täis petrooleumi aroomi. Õhtuti rikkus see „hur mav“ lõhn loojangu ilu ja isegi kuupaiste jagas meile lahkesti petrooleumi. Sidunud paadi silla külge, läksime linna jalutama — hirmus lõhn aga järgnes meile. Paistis, nagu oleks kogu linn sellega läbi immutatud.“ (Tegelikult olid muidugi petrooleumiga immutatud vaid reisijate rõivad.)

Muide, petrooleumi võime laiali valguda lambireservuaari välispinda mööda tekitas väärvamuse, et petrooleum võib tungida läbi metallide ja klaasi.

### **Kopikas, mis vees põhja ei vaju,**

ei esine mitte ainult muinasjutus, vaid ka tõelisuses. Te veendute selles, kui teete paar kergesti teostatavat katset. Algame võimalikult väikeste esemetega — nõeltega. Näib võimatu olevat sundida terasnõela veepinnal püsima, kuid seda pole kuigi raske teostada. Pange veepinnale tükike paberrossipaberit ja sellele täiesti kuiv nõel. Nüüd tuleb vaid ettevaatlikult kõrvaldada nõela alt paber. Seda tehakse nii: varustatuna teise nõela või nõöpnõelaga, lükatakse paberi ääred veidi vee alla, üha lähenedes paberi keskkohale. Kui paberitükk on kogu ulatuses märjaks saanud, vajub ta põhja, nõel aga jääb veepinnale. Magnetiga, mida hoitakse klaasi seinte juu-

res veepinna kõrgusel, võib isegi juhtida selle vee peal ujuva nõela liikumist (joon. 66).

Teatava vilumuse puhul õnnestub katse ka ilma paberita: võttes nõela keskelt sõrmede vahele laske ta horisontaalses asendis väikeselt kõrguselt veepinnale kukkuda.



Joonis 66. Nõel, mis püsib vee peal. Ülal: nõela (jämedus 2 mm) läbilõige ja vees tekkiva lohu täpne kuju (suurendatud kaks korda).

All: võte, kuidas nõela paberitüki abil vee peal ujuma panna.

Nõela asemel võib võtta nõöpnõela (nõel ja nõöpnõel mitte jämedamad kui 2 mm), kerge nõöbi, väikesi lame-daid metallesemeid. Olles saanud küllalt osavaks, proo-vige kopikaski vee peal seisma panna.

Nende metallesemete vee peal püsimise põhjus on järgmine: vesi märgab halvasti metalli, mis on olnud meie kätes, ja seetõttu on metall kaetud äärmiselt õhu-kese rasvakihiga. Seetõttu tekib veepinnal oleva nõela

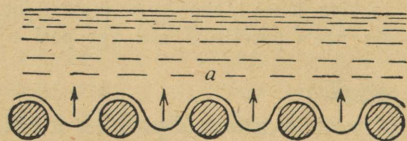
ümber lohk, mida ka näha võib. Vedeliku pindkile, püüdes sirguda, avaldab nõelale rõhumist alt üles ja hoiab teda vee peal. Nõela aga hoiab veepinnal vee üleslüke vastavalt vedelikku asetatud keha seadusele: üleslüke võrdub nõela poolt väljatõrjutud vee raskusega.

Kõige lihtsam on saavutada nõela püsimist vee peal, kui katta ta õliga. Niisugusel juhul võite nõela otse veepinnale panna ja see ei vaju põhja.

### Vesi sõelas.

Osutub, et vett võib sõelaski kanda mitte ainult muinasjutus. Füüsika tundmine võimaldab selle klassilise võimatuse teostamist. Tuleb võtta traadist sõel läbimõõduga sentimeetrit 15 ning mitte väga väikeste silmadega (umbes 1 mm) ja asetada sulatatud parafiini. Parafiinist väljavõetuna on traat kattunud õhukese, vaevaltmärgatava parafiinikihiga.

Sõel jäi sõelaks, selles on silmad, mida vabalt läbib nõõpnõel, aga nüüd võite selles sõna otseses mõttes vett kanda. Säärane sõel hoiab üsna kõrget veekihti, ilma et vesi silmadest läbi tungiks: on tarvis vaid ettevaatlikult vett valada ja hoiduda tõugetest.



Joonis 67. Mispärast vesi ei voola läbi parafineeritud sõela.

Mispärast siis vesi ei jookse läbi sõela? Sellepärast, et vesi, mitte märjates parafiini, moodustab sõela silmadest õhukesed, kumerusega allapoole suunatud kiled, mis vett ülal hoiavad (joon. 67).

Niisugust parafineeritud sõela võib ka vee peale seisma panna. Tähendab, sõelaga võib mitte ainult vett kanda, vaid sõel võib ka vee peal püsida.

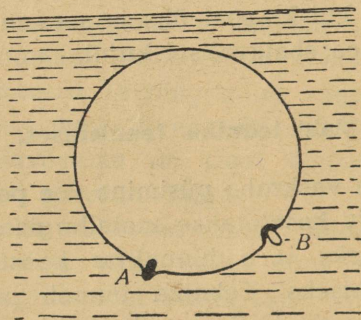
See paradoksaalne katse seletab meile hulga tavalisi nähtusi, milledega oleme sedavõrd harjunud, et me ei tavatse nende põhjuste üle järele mõelda. Vaatide ja paatide tõrvamine, korkide ja punnide määrimine rasvaga, värvimine õlivärviga ja üldse kõigi nende esemete õliga katmine, mida tahame veekindlaks teha, aga ka riiete gummeerimine, — kõik see pole muud midagi kui sellise sõela valmistamine, mida äsja kirjeldasime. Asjaolu on nii siin kui ka seal üks ja seesama, ainult sõela puhul ilmneb see ebatavalisel kujul.

### Vaht tehnika teenistuses.

Terasnõela ja vaskraha püsimine vee peal on sarnane nähtusega, mida kasutatakse metallurgiatööstuses maakide rikastamiseks, s. o. hinnaliste koostisosade sisalduse suurendamiseks. Tehnika tunneb paljusid maagi rikastamise menetlusi. See, millest juttu on praegu ja mida nimetatakse flotatsiooniks, on üks mõjukamaist; seda rakendatakse edukalt ka neil juhtudel, kus teised menetlused ei anna tulemusi.

Flotatsiooni (ülesujumise) põhiolu seisneb järgmises. Peenendatud maak asetatakse veepaaki koos õliliste ainetega, millel on omadus kasuliku mineraali osakesed katta väga õhukese kilega, mida vesi ei märga. Segu segatakse põhjalikult õhuga, tekitades palju väga väikesi mulle — vahtu. Seejuures jäävad kasuliku mineraali hinnalised osakesed, mis on kaetud õhukese õlikilega, õhumulli kestaga kokku puutudes selle külge rippuma ja õhumull tõstab nad veepinnale, nagu õhupall atmosfääris gondli (joon. 68). Kivimi tarbetud osakesed,

milledel puudub õlikile, ei kleepu õhumulli kesta külge ja jäävad seetõttu vedelikku. Tuleb märkida, et õhumull vahus on oma ruumalalt palju suurem maagiosakesest ja ta üleslüke on küllalt suur, et tõsta maagiosakesi vedeliku pinnale. Tulemuseks on, et peaaegu kõik maagi kasulikud osad asetsevad vedeliku pinda katvas vahus. Vaht võetakse vedelikult ära ja suunatakse edasisele töötlemisele, nn. kontsentraadi saamisele. Kontsentraat on kasuliku mineraali poolest kümneid kordi rikkam esialgsest maagist.



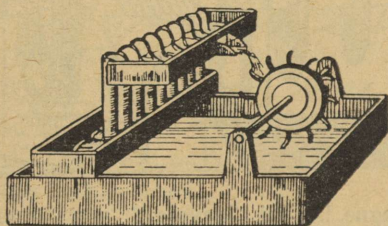
Joonis 68. Kuidas toimub flotatsioon.

Flotatsiooni tehnika on praegusel ajal nii põhjalikult läbi uuritud, et juurdelisatavate vedelikkude vastava valikuga on võimalik eraldada iga kasulikku mineraali igasugusest tarbetu kivimi koostisest. Tarvisminevate vedelikkude valmistamist hoitakse välismaa rikastamisvabrikute poolt saladuses, kuid nõukogude keemikutel on korda läinud leitud täiesti iseseisvalt häid ja odavaid flotatsioonivedelikke, mis omadustelt ei jää maha välismaistest. Ühtlasi on NSV Liidus korraldatud vastavate masinate valmistamine.

Vaatamata flotatsiooni laiale rakendusele tööstuses pole selle protsessi füüsikaline külg veel kõigis üksikasjus selgitatud. Siin praktika ennetab teooria. Flotatsiooni-ideele ei viinud teooria, vaid juhusliku fakti tähelepanelik vaatlemine. Möödunud sajandi lõpul täheldas ameerika naisõpetaja (Carry Everson), pestes õliga määrdunud kotte, milledes varem hoiti vasepüriiti, et selle mineraali kübemed ujuvad pinnale koos seebivahuga. See tähelepanek andiski tõuke flotatsioonmenetluse arengule. Seda rakendatakse edukalt alles käesoleva sajandi algusest peale. Flotatsiooniaparatuur on võrdlemisi lihtne ega nõua palju teenindajaid.

### „Igavene“ jõumasin.

Raamatuis kirjeldatakse mõnikord ehtsa „igaves“ jõumasinana järgmise ehitusega riista. Anumasse kallatud õli (või vesi) tõuseb tahti mööda üles teise anumasse,

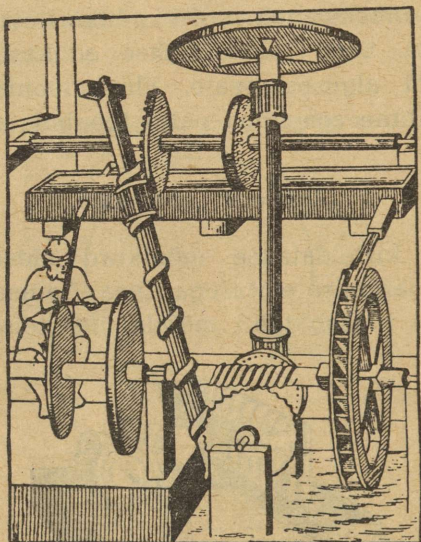


Joonis 69. Teostamatu vesikike.

siit uusi tahte mööda veelgi kõrgemale; ülemine anum on varustatud renniga õli äravooluks; siit langeb õli ratta kühvlitele, pannes niiviisi ratta pöörlema. Allavoolanud õli tõuseb uuesti tahti mööda ülemisse anumasse. Rattale voolav õlijuga ei katke seega sekundiski, ja ratas peaks igavesti pöörlema (joon. 69).

Kui autorid, kes seda riista kirjeldasid, oleksid vae-  
vaks võtnud seda ehitada, oleksid nad muidugi veen-  
dunud, et ratas ei pöörle ja ka tilkagi vedelikku ei satu  
ülemisse anumasse!

Seda võib muide taibata ka riista ehitamata. Tõepoo-  
lest: mispärasest leiutaja arvab, et vedelik hakkab alla  
jooksma tahi ülemisest painutatud otsast? Kapillaarsus,



Joonis 70. Vanaaegne kavand „igavesest” vesijõumasinast, mis käivi-  
tab käia.

ületanud raskuse, tõstis vedeliku tahti mööda üles. Sama  
põhjus hoiab aga ka vedelikku märja tahi poorides kinni  
ega luba seda alla tilkuda. Kui oletada, et vedelik võib  
kapillaarsuse tõttu sattuda riista ülemisse anumasse, siis  
peavad ka samad tahid samal põhjusel selle vedeliku  
jälle uuesti alla viima.

See „igavene“ jõumasin meenutab üht teist „igavese“ liikumise vesimasinat, mis mõeldi välja kolm ja pool sajandit tagasi (1575. a.) itaalia mehhaaniku Strada Vanema poolt. Me esitame siin selle naljaka projekti (joon. 70). Archimedese kruvi tõstab pööreldes vett ülemisse paaki, kust see joana rennist alla voolates langeb vesiratta kühvlitele (all paremal). Vesiratas paneb käima teritamisseadise, samaaegselt aga ka vett ülestõstva Archimedese kruvi. Kruvi pöörab ratas, ratas omakorda kruvi!...

Kui sellised mehhanismid oleksid võimalikud, oleks ju lihtsam korraldada nii: üle ploki tõmmata nõör ja nõöri otstele kinnitada üheraskused koormised: üks koormis tõstaks alla langedes samaaegselt teist koormist ja too jälle sellelt kõrguselt laskudes esimest. Miks pole see „igavene“ jõumasin?

### Seebimullid.

Kas oskate puhuda seebimulle? See pole nii lihtne, nagu paistab. Ka mulle näis, et mingit vilumust pole vaja, kuni ma veendusin vastupidises. Osata puhuda ilusaid ja suuri mulle on omaette kunst, mis nõuab harjutamist. Ons aga mõtet aega viita sellise tühise asjaga, nagu seda on seebimullide puhumine?

Igapäevases elus on neil halb kuulsus; vähemalt kõnes me meenutame neid mitte just kiitvateks võrdlusteks. Hoopis teisiti vaatab neile füüsik. „Puhuge seebimull,“ kirjutab suur inglise füüsik Kelvin, „ja vaadelge seda: te võite tegelda kogu eluaja selle uurimisega, järjest ammutades sellest füüsika õppetunde.“

Tõepoolest teevad need nõiduslikud värvide sillerdu-sed imeõhukeste seebimullide pinnal füüsikule võimalikuks mõõta valguslaine pikkust, sest nende õrnade

kilede pinevuse uurimine aitab tundma õppida molekulidevaheliste tungide toime seaduspärasusi, neid kohe-sioontunge, ilma milleta poleks maailmas midagi peale peenima tolmu.

Need üksikud katsed, mida kirjeldame allpool, ei taotle nii tähtsaid ülesandeid. See on vaid huvitav aja-viide, mis meid tutvustab seebimullide puhumise kunstiga. Inglise füüsik Ch. Boyce oma raamatus „Seebimullid“ kirjeldas üksikasjaliselt paljusid mitmesuguseid katseid seebimullidega. Asjast huvitatuile anname nõu tutvuda selle suurepärase raamatuga; siin kirjeldame vaid lihtsamaid katseid.

Seebimulle võib saada hariliku kollase seebi lahusest<sup>1</sup>. Ilusate ja suurte seebimullide saamiseks soovitame kasutada nn. marsei või ka puht oliiviõli- või mandliõli-seepi.

Tükk seepi lahustatakse ettevaatlikult puhtas külmas vees niikaua, kuni saadakse üsna tihe lahus. Kõige parem on kasutada puhast vihma- või lümevett, selle puudumisel aga keedetud ja jahutatud vett. Selleks et mullid säiliks kauem, soovitab Plateau seebilahusele lisandada glütseriini ( $\frac{1}{3}$  ruumalast). Lahuse pinnalt kõrvaldatakse lusikaga vaht ja mullid. Seejärel kastetakse lahusesse õhuke savist toruke, mille ots seest ja väljast on kaetud seebiga. Häid tulemusi võib saada ka 10 sentimeetri pikkuste, otsast ristitaoliselt lõhestatud õlekõrtega.

Mulli puhutakse nii: kui toru on lahusesse kastetud, hoitakse teda püsti, et toru otsa juurde tekiks õhuke vedelikukile, ja puhutakse siis ettevaatlikult sellesse. Et seebimull täitub seejuures meie kopsude sooja õhuga,

---

<sup>1</sup> Tualettseebid on selleks otstarbeks vähem kõlvulised.

mis on kergem ümbritsevast toaõhust, siis tõuseb välja puhutud mull otsekohe õhku.

Kui õnnestub kohe välja puhuda seebimull läbimõõduga 10 cm, on lahus kõlblik; vastasel korral tuleb lahusele lisandada veel seepi niipalju, et oleks võimalik puhuda mainitud suurusega mulle. Aga sellest katsest veel ei piisa. Sõrm kastetakse seebilahusesse ja katsutakse väljapuhutud seebimulli sõrmega läbi torgata; kui mull ei lõhke, võib asuda katsete tegemisele, kui aga mull torget välja ei kannata, tuleb veel veidi seepi lisada.

Katseid tuleb teostada aeglaselt, ettevaatlikult, rahulikult. Valgustus peab olema võimalikult ere: muidu pole näha mullide vikerkaarevärvilisi sillerdusi.

Nüüd mõningaid huvitavaid katseid mullidega.

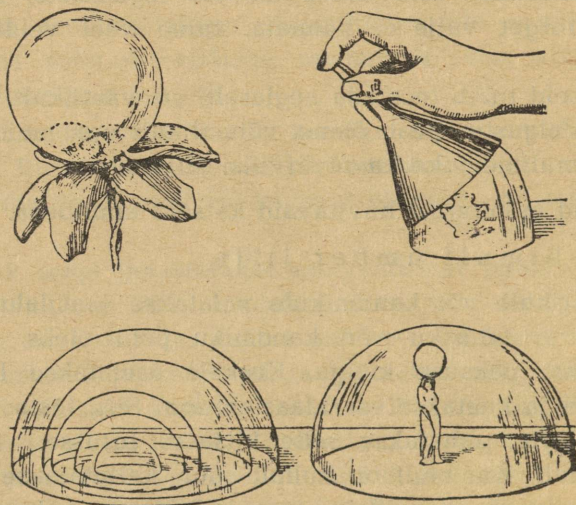
S e e b i m u l l ü m b e r l i l l e .

Taldrikule või kandmikule valatakse seebilahust niipalju, et taldriku või kandmiku põhi oleks kaetud 2—3 mm paksuse kihiga. Keskele asetatakse lill või vaasike ja kaetakse see klaaslehtiga. Siis, tõstes aeglaselt letrit, puhutakse selle kitsasse torusse, — tekib seebimull. Kui mull on küllalt suur, kallutatakse lehter küljeli (nagu on näidatud joonisel 71) ja vabastatakse seebimull selle alt. Lill lamab poolkerakujulise läbinähtava kõigis vikerkaarevärvides sillerdava seebimulli sees.

Lille asemel võib võtta k u j u k e s e, kroonides selle pea väikese seebimulliga (joon. 71). Selleks on tarvis tilgutada algul veidi lahust kujukese pea peale ja siis, kui suur mull on juba puhutud, see läbi torgata ja selle sees välja puhuda väike mull.

M i t u m u l l i ü k s t e i s e s e e s (joon. 71).

Eespool kirjeldatud katseks kasutatud lehtriga puhutakse, nagu eelmiselgi korral, suur seebimull. Nüüd kasutatakse õlekõrs peaaegu täielikult seebilahusesse, jättes kuivaks ainult suhu võetava otsa, ja lükatakse kõrs ettevaatlikult läbi esimese seebimulli kuni selle keskpunktini. Aeglaselt õlekõrt tagasi tõmmates, kuid mitte ääreni, puhutakse välja teine seebimull, siis kolmas, neljas jne.



Joonis 71. Katsed seebimullidega: mull lille peal; mull vaasikese ümber; hulk mulle üksteise sees; mull kujukese pea peal teise mulli sees.

Silinder seebiveekilest (joon. 72) saadakse kahe traadist rõnga vahel. Alumisele rõngale paigutatakse harilik kerajas seebimull, siis pannakse selle peale märjaks tehtult teine rõngas ja viimast üles tõstes venitatakse seebimulli niikaua, kuni see muutub silindriliseks. Seejuures on huvitav tähele panna, et kui ülemist

rõngast tõsta kõrgemale, kui on rõnga ümbermõõt, siis silinder ühel pool kitseneb, teisel pool laieneb ja jaguneb seejärel kaheks mulliks.

Seebimulli kile on kogu aeg pinevil ja rõhub mulli sees olevat õhku. Kui leetri kitsas ots juhtida küünlaleegile, siis võite näha, et nende õhukeste kilede rõhumine polegi nii väga väike: küünlaleek kaldub märgatavalt kõrvale (joon. 73).



Joonis 72. Kuidas saada silindrikujulist seebimulli.

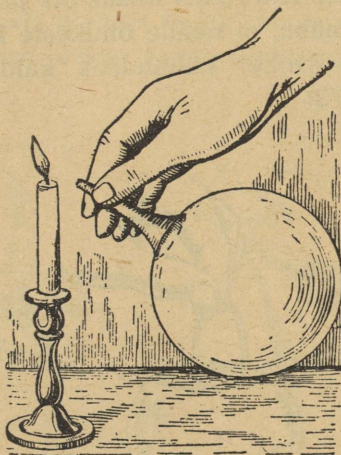
On huvitav jälgida mulli, kui see satub soojast ruumist külma: ta väheneb tunduvalt ruumalalt ja, vastupidi, suureneb, kui satub külmast toast sooja.

Põhjus seisneb muidugi mulli sees oleva õhu kokkumõbumises ja paisumises. Kui näiteks mulli ruumala  $-15^{\circ}\text{C}$  t<sup>0</sup>-l on  $1000\text{ cm}^3$  ja ta satub ruumi, kus temperatuur on  $+15^{\circ}\text{C}$ , siis suureneb ta ruumalalt

$$1000 \times 30 \times \frac{1}{723} = \text{umbes } 110\text{ cm}^3 \text{ võrra.}$$

Tuleb veel märkida, et tavalised kujutlused seebimullide lühiaegsusest pole täiesti õiged: vastava käitle-

misega võib neid säilitada kümneid päevi. Inglise füüsik De w a r (kes on kuulsaks saanud oma töödega õhu vedeldamise alal) säilitas seebimulle erilistes pudelites, mis olid hästi kaitstud tolmu, väljaauramise ja



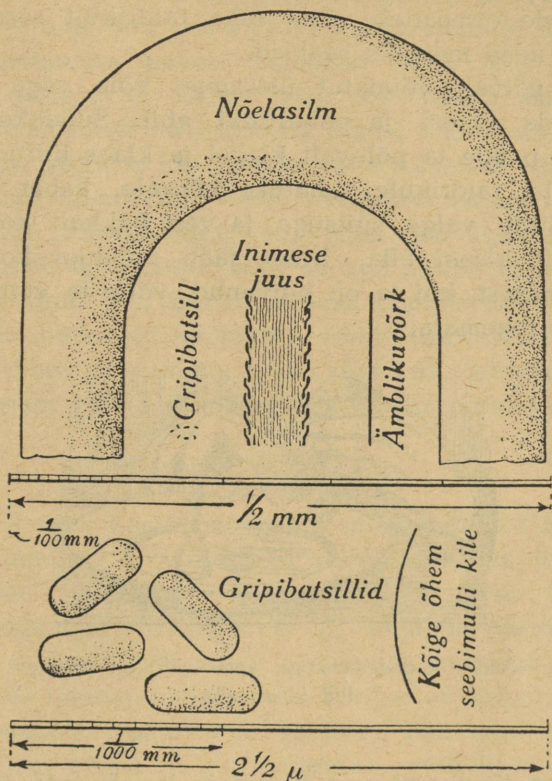
Joonis 73. Seebimulli seinad suruvad mullist õhku välja.

tõugete eest; seesugustel tingimustel läks tal korda üksikuid mulle alal hoida kuu ja enam. Lawrence'il Ameerikas õnnestus klaaskuplite all seebimulle säilitada aastaid.

### Mis on kõige õhem?

Tõenäoliselt ainult vähesed teavad, et seebimulli kile on üks kõige õhemaid asju, mida palja silmaga on võimalik näha. Tavalised võrdlusesemed, mida kasutatakse keeles õhuksuse väljendamiseks, on väga jämedad võrreldes seebiveekilega. „Peen kui juus“, „õhuke kui paberossipaber“ väljendavad tohutut paksust võrreldes seebimulli kilega, mis on juuksest ja paberossipaberist 5000 korda õhem. Kahesajakordsel suurendusel on

juus umbes sentimeetri paksune, kuna aga seebimulli kile paksus pole veel paljale silmale märgatav. Tuleb veel suurendada 200 korda, et seebimulli kile paksust



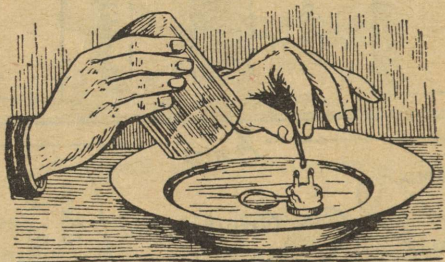
Joonis 74. Ülal: nõelasilm, inimese juus, pisikud ja ämblikuvõrgu niit 200 korda suurendatult. All: batsillid ja seebimulli kile paksus 40 000 korda suurendatult.

näha õhukese joonena; juukse paksus on seesugusel suurendusel (40 000 korda) juba enam kui 2 meetrit. Joonis 74 annab näitliku ettekujutuse nendest suurusvahekordadest.

## Kuivalt veest välja.

Pange suurele lamedale taldrikule metallraha, valage sellele niipalju vett, et münt oleks vee all, ja tehke külalistele ettepanek võtta raha taldrikult sõrmedega, ilma et need märjaks saaksid.

Seda näivalt võimatut ülesannet võib väga lihtsalt lahendada klaasi ja paberitüki abil. Süüdake paber põlema, pange ta põlevalt klaasi ja klaas kiiresti, põhi ülespoole, taldrikule rahatüki kõrvale. Paber kustub, klaas täitub valge suitsuga ja vesi hakkab kogunema taldrikult klaasi alla. Münt jääb muidugi kohale ja minuti pärast, kui ta on kuivanud, võite ta võtta sõrmi märjaks tegemata.



Joonis 75. Kuidas koondada kogu vesi taldrikult põhjaga ülespööratud klaasi alla.

Milline jõud ajab vee klaasi ja hoiab seda määratud kõrgusel? Õhu rõhumine. Põlev paber soojendas õhku klaasis, õhu rõhumine suurenes seejuures ja osa õhku lahkus klaasist. Kui paber oli kustunud, jahenes õhk jälle, õhurõhk klaasis vähenes ja välisõhu rõhumise mõjul tungis vesi taldrikult klaasi alla.

Paberi asemel võib kasutada ka tuletikke, mis on torgatud korgitükki, nagu on näidatud joonisel 75.

Usna tihti võib kuulda ja isegi lugeda selle katse ebaõiget seletust<sup>1</sup>. Räägitakse nimelt, et seejuures „hapnik põleb ära“ ja seetõttu gaasi hulk klaasi all väheneb. Selline seletus on jämedalt ekslik. Peapõhjus seisneb ainult õhu soojenemises, mitte aga hapniku kadumises paberi põlemise tõttu. See järeldub esiteks sellest, et katset võib korraldada ka paberi põlemiseta, ainult soojendades klaasi loputamiseega keevas vees. Teiseks, kui põleva paberi asemel võtta tükk piiritusega immutatud vatti, mis põleb kauemini ja ka soojendab rohkem õhku, siis võib vesi klaasis tõusta klaasi poole kõrguseni; meil on aga teada, et hapnikku on õhus ainult  $\frac{1}{5}$  õhu ruumalast. Lõpuks tuleb arvesse võtta, et „põlenud“ hapniku asemele tekivad süsihappegaas ja veeaur; esimene neist, tõsi küll, lahustub vees, kuid veeaur jääb, asendades osaliselt hapnikku.

### Kuidas me joome?

Kas ka selle küsimuse juures tuleb mõelda? Muidugi. Me paneme klaasi või lusika vedelikuga suu juurde ja „tõmbame“ nende sisu endasse. Seda lihtsat vedeliku „sissetõmbamist“, millega me nii väga harjunud oleme, tulebki seletada. Mispärast tõepoolest suundub vedelik suhu? Mis tõmbab seda sinna? Põhjus on järgmine: joomisel laieneb rinnakorv ja seetõttu õhk suus hõreneb; välisõhu rõhumisel suundub vedelik sinna, kus rõhumine on väiksem, ja vedelik tungibki niiviisi meile suhu. Siin toimub sama, mis ühendatud anumates: kui ühes harus hõrendada vedeliku kohal õhku, tõuseb vedelik selles harus õhkkonna rõhumise tõttu. Vastupidi, võttes pudelikaela huulte vahele te ei saa, vaata-

<sup>1</sup> Selle katse esimese kirjelduse ja õige seletuse andis vanaaja füüsik Philon Bütsantsist, kes elas umbes 250 aastat e. m. a.

mata kõigile pingutustele, pudeli sisu suhu „tõmmata“, sest õhurõhk suus on niisama suur kui vedeliku kohal.

Järelikult, õieti me joome mitte ainult suuga, vaid ka kopsudega; on ju kopsude laienemine vee suhuringimise põhjuseks.

### **Parandatud lehter.**

Kes on juhtunud pudelisse lehtriga vedelikku valama, see teab, et aeg-ajalt tuleb lehtrit veidi kergitada, muidu vedelik ei voola lehtrist välja. Pudelis olev õhk, leidmata väljapääsu, hoiab oma rõhumisega vedelikku lehteris kinni. Vedelikku, tõsi küll, voolab natuke lehtrist pudelisse ja ta surub õhu selles veidi kokku. Aga kokkusurutud õhk vähendatud ruumalas avaldab suurendatud rõhumist, mis on küllaldane selleks, et vett lehteris kinni pidada. On arusaadav, et lehtrit kergitades me avame kokkusurutud õhule väljapääsu ja vedelik hakkab uuesti lehtrist välja voolama.

Seepärast olekski väga praktiline lehtreid nõnda teha, et nende kitsa osa välispinnal oleksid pikutised ribad, mis takistaksid lehtrit pudelikaelaga tihedalt kokku puutumast. Sääraseid lehtreid pole ma tarvitusel näinud; ainult laboratooriumides kasutatakse seesugusel viisil valmistatud filtreid.

### **Tonn puitu ja tonn rauda.**

Üldtuntud on naljaküsimus: mis on raskem, kas tonn puitu või tonn rauda? Tavaliselt vastatakse järelemõtlematult, et tonn rauda on raskem, ja kutsutakse sellega esile juuresolijate naeru.

Väga tõenäoliselt hakkavad need naljahambad veel valjemini naerma, kui vastata, et tonn puitu on raskem

kui tonn rauda. Kuigi selline väide näib olevat mõttetu, on see siiski, tõtt öeldes, õige!

Asi seisneb selles, et Archimedese seadus pole raken-datav mitte ainult vedelike, vaid ka gaaside kohta. Iga keha „kaotab“ õhus oma kaalust niipalju, kuipalju kaalub tema poolt väljatõrjutud õhk.

Puit ja raud muidugi kaotavad õhus osa oma kaalust. Selleks et kätte saada nende tõelist kaalu<sup>1</sup>, tuleb õhus mõõdetud kaalule lisada kaalukaotus. Järelikult ühe tonni puidu tõeline kaal võrdub ühe tonniga + õhu kaal puidu ruumala suuruses; raua tõeline kaal võrdub aga ühe tonniga + õhu kaal raua ruumala suuruses.

Et aga ühel tonnil puidul on palju suurem ruumala kui tonnil raual (umbes 15 korda suurem), siis on ühe tonni puidu tõeline kaal ühe tonni raua tõelisest kaalust suurem. Täpselt väljendades peaksime ütleva: see puidutükk, mille kaal õhus on üks tonn, kaalub tõeliselt r o h k e m kui rauatükk, mille kaal õhus on samuti üks tonn.

Ühe tonni raua ruumala on  $\frac{1}{8} m^3$ , ühe tonni puidu ruumala aga  $2 m^3$ , järelikult nende poolt väljatõrjutud õhu kaalu vahe on umbes  $2\frac{1}{2} kg$ . Niipalju on siis üks tonn puitu tõeliselt raskem tonnist rauast.

### Mees, kes midagi ei kaalunud. ■

Kergem olla mitte ainult udusulest, vaid saada kergemaks ka õhust<sup>2</sup>, et siis, olles vabanenud raskustungi tülitavaist köidikuist, vabalt tõusta kõrgele maa pealt

<sup>1</sup> Tõeline kaal on keha kaal tühjas ruumis. — *Tõlkija märkus.*

<sup>2</sup> Udusulg pole, väga levinud arvamuse kiuste, õhust kergem, vaid sadu kordi raskem. Udusulg hõljub õhus ainult seepärast, et tal on võrdlemisi suur pindala ja õhutakistus on tema liikumisel suur, võrreldes ta kaaluga.

sinna, kuhu soovid, — see on unistus, mis paljudele pais-  
tab juba lapseeast alates veetlevana. Seejuures aga  
unustatakse üks asjaolu: Maa peal saavad inimesed  
vabalt liikuda ainult tänu sellele, et nad on r a s k e -  
m a d õ h u s t. Tõesti, „me elame õhuookeani põhjas”,  
nagu väitis Torricelli, ja kui me millegipärast äkki 1000  
korda kergemaks muutuksime, s. o. kergemaks kui õhk,  
siis paratamatult tõuseksime selles õhuokeanis lendu.  
Meiega toimuks sama, mis Puškini husariga: „Jõin klaasi  
tühjaks: usu või ära usu, aga lendasin äkki udusulena  
üles.” Me lendaksime üles paljude kilomeetrite kõrgu-  
sele, lendaksime seni, kuni hõreda õhu tihedus saab  
võrdseks meie keha tihedusega. Unistused vabast hõl-  
jumisest mägede ja orgude kohal langeksid põrmu, sest,  
olles vabanenud raskustungi köidikuist, saaksid meist  
teiste jõudude — õhuvoolude — vangid.

Selline ebatavaline olukord on süžeeks ühele kirjanik  
Wells'i teaduslik-fantastilisele jutustusele.

Keegi liiga paks mees soovis, maksku mis maksab, oma  
paksusest lahti saada. Jutustajal aga olevat parajasti  
olnud imettegev retsept, millel oli võime vabastada pakse  
inimesi üleliigsest raskusest. Paks mees palus temalt ret-  
septi ja võttis arstimi sisse. Jutustajat tabas ootamatu  
hämmastus, kui ta oma tuttava külastamisel tema uksele  
koputas:

„Kaua aja jooksul ust ei avatud. Kuulsin, kuidas kee-  
rati võtit. Siis ütles Paycrafti (nii oli paksu mehe nimi)  
hää:

„Sisse!”

Vajutasin käepidemele ja avasin ukse. Muidugi loot-  
sin Paycrafti eest leida.

Aga kas teate, teda polnud!

Kabinet oli korratuses: taldrikud ja vaagnad olid

raamatute ja kirjutustarvete vahel, paar tooli oli ümber visatud, aga Paycrafti ei olnud...

„Ma olen siin, vana! Sulgege uks!“ ütles ta. Ja siis leidsin ma tema (joon. 76).

Ta oli otse karniisi all, nurgas, ukse kõrval, täpselt nii, nagu oleks keegi ta lae külge kleepinud. Ilme oli tal vihane ja väljendas hirmu.



Joonis 76. „Ma olen siin, vana!“ ütles Paycraft.

„Kui miski järele annab, siis te, Paycraft, võite alla kukkuda ja kaela murda,“ ütlesin.

„Oleksin väga rõõmus,“ tähendas ta.

„Tegelda säärase gümnaastikaga teie aastates ja teie kaalu juures... Muide, kuidas te seal, kurat võtku, ennast kinni hoiate?“ küsisin ma.

Ja siis ma äkki märkasin, et ta ennast üldse kinni ei hoi, vaid hõljub õhus kui gaasiga täidetud põis.

Ta pingutas end, et laest lahti saada ja seina mööda minu juurde roomata. Ta haaras kinni gravüüri raamist, see andis aga järele ja ta tõusis uuesti lae alla. Ta põrkas sellega kokku ja nüüd ma mõistsin, mispärast ta oli kriidiga määrdunud. Suure ettevaatusega püüdis ta uuesti laskuda, nüüd juba mööda kaminat.

„See arstim oli liiga tugev,“ ütles ta ähkides. „Kaalukaotus on peaaegu absoluutne.“

Ja nüüd mõistsin ma kõik.

„Paycraft!“ ütlesin, „teil oli ju tarvis ravida end paksumest, aga teie nimetasite seda kaaluks... Oodake veidi, ma aitan teid,“ ütlesin, püüdes õnnetut kättpidi alla tõmmata.

Ta hüples toas ringi, püüdes leida kindlat jalgealust. Veider vaatepilt! See kõik tuletas väga meelde purje kinnihoidmist tuulise ilmaga.

„See laud on väga tugev ja raske,“ ütles õnnetu Paycraft, jäädes hüplemisest jõuetuks. „Kui teil õnnetuks mind selle alla lükata...“

Ma tegin seda. Aga ka kirjutuslaua alla lükatuna vaarus ta seal kui kinniseotud õhupall, mitte minutikski paigale jäädes.

„Üks asi on selge,“ ütlesin, „nimelt see, mida te ei tohi teha. Kui te näiteks mõtleksite majast lahkuda, siis tõuseksite üha kõrgemale õhku...“

Ma andsin talle nõu oma uue olukorraga kohaneda. Vihjasin sellele, et tal poleks raske ära õppida kätel käimist laes.

„Ma ei saa magada,“ kaebas ta.

Ma ütlesin talle, et on täiesti võimalik kinnitada voodi võre külge pehme madrats, siduda paeltega selle külge magamisaseme alumised tarbed ja selle külge nõõpidega vaip ja lina.

Talle püstitati toas redel ja söögid asetati raamatukapile. Me tulime ka teravmeelsele võttele, tänu millele Paycraftil oli võimalus iga kord, kui ta seda soovis, põrandale laskuda. See võte rajanes sellele, et „Briti entsüklopeedia“ asetses lahtise raamatukapi ülemisel riiulil. Selleks et põrandale laskuda, tarvitses mu paks sõber vaid paar köidet kätte võtta.

Ma veetsin tema korteris tervelt kaks päeva. Puuri ja vasara abil ma varustasin teda kõigi võimalike teravmeelsete seadmetega: tõmbasin traadi, mille abil ta küündis kellani, jne.

Istudes kamina juures, sellal kui tema oma armastatud nurgas karniisi juures lõi türgi vaipa lae külge, tuli mulle mõte:

„Eh, Paycraft!“ hüüatasin. „Kõik see on täiesti liigne! Tinast vooder rõivaste alla, ja asi on tehtud!“

Paycraft puhkes rõõmust peaaegu nutma.

„Ostke,“ ütlesin, „lehtina ja õmmelge see oma rõivaste alla. Kandke tinataldadega saapaid ja hoidke käes massiivsest tinast sumadani, ja kõik on korras! Te ei ole siis enam siin vang; võite sõita välismaale, võite reisida. Pole teil kunagi tarvis karta laevaõnnetusi: visake endalt kas osa rõivaid või kõik, ja te võite alati õhus lennata.““

Esimesel hetkel näib, nagu oleks see kõik füüsikaseadustega täielikus kooskõlas. Ei saa siiski jätta vastuväideteta selle jutustuse üksikuid osi. Kõige tõsisem vastuväide on see, et mees, olles kaotanud oma keha kaalu, poleks siiski lae alla tõusnud!

Ja tõepoolest: Archimedese seaduse põhjal oleks Paycraft pidanud lae alla tõusma ainult sel korral, kui tema rõivad koos taskute sisuga oleksid kaalunud vähem kui tema jämeda keha poolt väljatõrjutud õhk. Pole raske määrata inimese keha poolt väljatõrjutud õhu kaalu, kui

arvestada seda, et inimese kaal võrdub vee kaaluga samas ruumalas. Me kaalume kilogrammi kuuskümmend, vesi samas ruumalas umbes niisama palju, õhk on aga hariliku tiheduse juures 770 korda kergem kui vesi; tähendab, õhk meie keha ruumalas kaalub ainult 80 g. Kui paks ka mister Paycraft ei oleks olnud, poleks ta ikkagi kaalunud rohkem kui 100 kg, ja järelikult oleks ta välja tõrjunud mitte üle 130 g õhku. Kas tõesti ülikond, jalatsid, taskukell, rahatasku ja kõik muu, mis Paycraftil oli, ei kaalunud rohkem kui 130 g? Muidugi rohkem. Ja kui nii, siis oleks ta pidanud jääma põrandale, kuigi tõesti üsna ebastabiilses olekus, ega oleks lennanud lae alla „nagu kinniseotud õhupall“. Ainult täielikult lahtirõivastatuna oleks ta tõesti lae alla lennanud. Rõivastes oleks ta aga sarnanenud hüpikpalli külge kinnitatud inimesega. Väike lihaste pingutus, kerge hüpe oleks tõstnud ta maapinnast kõrgele, kust ta aga vaikse ilmaga oleks jälle sujuvalt alla laskunud<sup>1</sup>.

### „Igavene“ kell.

Selles raamatus oleme arutlenud juba mitmeid kujutletavalt „igavesi“ jõumasinaid ja oleme selgitanud nende leiutamise püüdluste lootusetust. Vestelgem nüüd „tasutust“ jõumasinast, s. o. masinast, mis võib töötada määramatu aja, ilma et ta meie hoolt nõuaks, sest ta ammutab endale tarvismineva energia ümbritseva looduse tühjendamatuist energiavarudest.

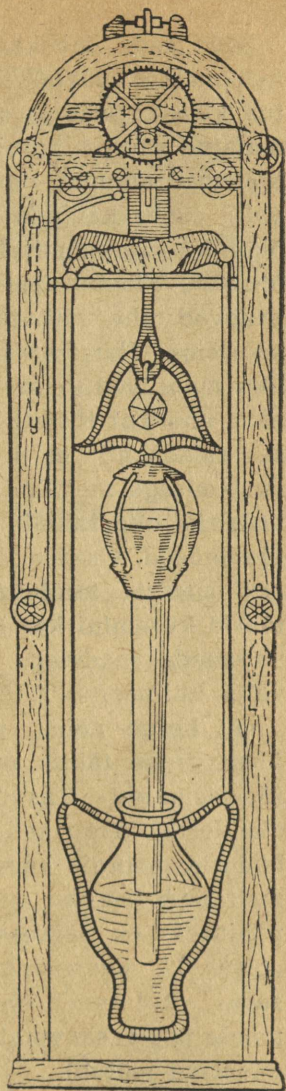
Muidugi on kõik näinud kas elavhõbe- või metallbaromeetrit. Esimeses neist elavhõbedasammas pidevalt tõuseb või langeb, vastavalt õhurõhu muutumistele; metallbaromeetris võngub samal põhjusel pidevalt osuti.

---

<sup>1</sup> Lähemalt hüpikpallidest leiate minu raamatu „Huvitav mehhaanika“ IV peatükist.

Neid baromeetri liikumisi kasutas XVIII sajandil üks leidur kellamehhanismi käivitamiseks ja ehitas niiviisi kella, mis ise ennast üles tõmmates käis vahetpidamata. Tuntud inglise mehhaanik ja astronoom Fergusson nägi seda huvitavat leiutist ja avaldas oma arvamuse (1774. a.) selle kohta järgmiselt: „Ma vaatasin läbi ülalkirjeldatud kella, mida käivitab pidev elavhõbeda liikumine üles ja alla omapäraselt ehitatud baromeetris. Pole alust arvata, et see kell võiks seisma jääda, sest sellesse kogunenud liikumapanevast jõust piisaks kella käiguhoidmiseks kogu aastaks, ka siis, kui on kõrvaldatud baromeeter. Tutvunud üksikasjaliselt selle kella, pean avameelselt tunnistama, et see on oma ideelt ja ehituselt kõige teravmeelsem mehhanism, mida ma kunagi olen näinud.“

Kahjuks pole see kell säilinud meie ajani, see varastati ära ja tema asukoht on teadmata. Selle kella konstruktsioonist on aga säilinud joonised, mis on tehtud ülalmainitud astronoomi poolt; seega oleks võimalik kella taastada.

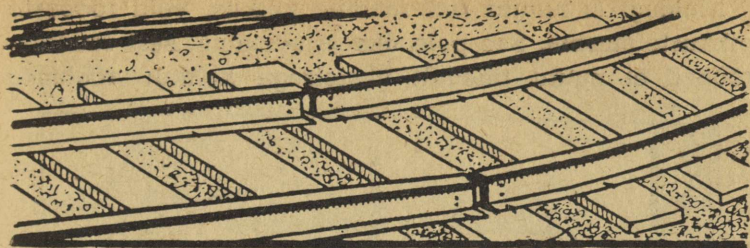


Joonis 77. XVIII sajandist pärineva tasutaült töötava jõumasina ehitus.

Selle kella mehhanismi juurde kuulub üsna suuremõõtmeline elavhõbebaromeeter. Raami külge kinnitatud klaasanumas ja selle peale kaelaga allapoole kummutatud suures kolvis on umbes 150 kg elavhõbedat. Mõlemad anumad on kinnitatud teineteise suhtes liikuvalt: osava kangide süsteemiga saavutatakse seda, et õhurõhu suurenemisel kolb langeb ja klaasanum tõuseb, õhurõhu vähenemisel aga vastupidi. Mõlemad liikumised panevad ühe väikese hammasratta alati ühes suunas pöörlema. Hammasratas on liikumatu ainult õhurõhu täieliku muutumatuse korral; nende pauside ajal saab mehhanism energiat tõstetud pommide langemisest. Pole kerge korraldada nii, et pommid tõuseksid ja paneksid oma langemisega mehhanismi käima, kuid vanaaegsed kella-meistrid olid küllalt nupukad, et toime tulla ka selle ülesandega. Osutus isegi, et õhurõhu kõikumistest saadud energia tunduvalt ületas tarviduse, s. t. pommid tõusid kiiremini kui langesid; seepärast oli tarvilik kell varustada seadmega, mis lülitas pommid perioodiliselt välja, kui need olid tõusnud oma kõige kõrgemasse seisu.

On kerge näha, milles seisneb säärase „tasutute“ jõumasinate tähtis põhimõtteline erinevus „igavestest“ jõumasinatest. „Tasutuis“ jõumasinais ei saada energiat eimillestki, nagu sellest unistavad „igavese“ jõumasina leidurid; energia ammutatakse väljastpoolt, antud juhul meid ümbritsevast atmosfäärist, kus energia kogunemise põhjuseks on päikesekiired. Praktiliselt oleksid sellised „tasutud“ jõumasinaad niisama kasulikud kui „igavesedki“, kui nende ehitus poleks liiga kallis, võrreldes nende poolt saavutatava energiahulgaga (nagu see ka enamasti juhtub).

Veidi hiljem tutvume veel teiste tasutult töötavate jõumasinate tüüpidega ja selgitame näidete najal, mispärast säärase mehhanismide tööstuslik kasutamine ei osutu pahatihti tasuvaks.



Kuues peatükk.

## Soojusnähtused.

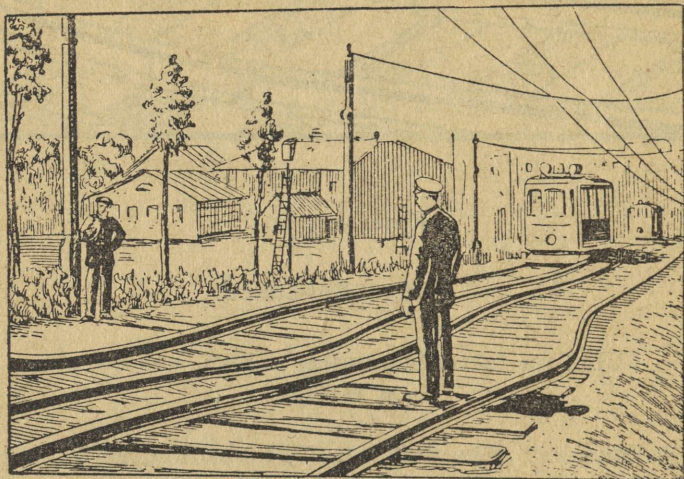
**Millal on Oktoobriraudtee pikem, kas suvel  
või talvel?**

Küsimusele: „Kui pikk on Oktoobriraudtee?“ vastas keegi:

„Keskmiselt kuussada nelikümmend kilomeetrit; suvel umbes kolmsada meetrit pikem kui talvel.“

See ootamatu vastus pole nii mõttetu, nagu võib paista. Kui raudtee pikkuseks nimetada ainult rööbastee pikkust, siis on raudtee tõepoolest suvel pikem kui talvel. Ei tohi unustada, et rööpad soojenemisel pikenevad, — iga Celsiuse kraadi kohta üle ühe sajatuhandiku võrra oma pikkusest. Palavatel suvepäevadel võib rööpa temperatuur tõusta kuni 30—40°-ni ja enam; mõnikord soojeneb rööbas päikese käes nii, et põletab kätt. Talviste pakaste ajal jaheneb rööbas kuni —25°-ni ja veel enam. Kui peatuda suvise ja talvise temperatuuri 55-kraadisel vahel, siis, korrutades üldpikkuse 640 km 0,00001-ga ja 55-ga, saame umbes  $\frac{1}{3}$  km. Osutub, et rööbastee Moskva ja Leningradi vahel on suvel tõepoolest  $\frac{1}{3}$  km, s. o. umbes kolmesaja meetri võrra pikem kui talvel.

Muidugi ei muutu siin raudtee pikkus, vaid rööbaste pikkuste summa. See pole üks ja seesama, sest raudteerööpad ei puutu tihedalt üksteisega kokku: rööbaste



Joonis 78. Trammirööbaste kõverdumine tugeva kuumenemise tagajärjel.

otste vahel on väikesed vahemikud rööpa vabaks pikenemiseks soojenemisel<sup>1</sup>. Meie arvutus näitab, et kõigi

<sup>1</sup> Nende vahemike pikkus peab olema 8-meetriste rööbaste ja  $0^{\circ} t^{\circ} - 16$  mm. Sellise vahemiku täitmiseks peab temperatuuride vahe olema  $65^{\circ} C$ . Trammirööbaste mahapanekul pole tehnilistel põhjustel võimalik vahemikke jätta. See asjaolu ei põhjusta tavaliselt rööbaste kõverdumist, sest pinnases, kuhu rööpad on maha pandud, pole temperatuuri võnkumised nii suured, ja ka kinnitusviis ei luba rööbastel küljele kõverduda. Siiski võib väga palavate ilmadega juhtuda ka trammirööbaste kõverdumist, nagu seda näitab juurdelisatud joonis 78, mis on tehtud päevapildi järgi.

Sedasama võib mõnikord juhtuda ka raudteerööbaste puhul. Asi seisneb selles, et rongi liikuv koosseis kisub kallakutel kaasa rööpaid (mõnikord isegi koos liipritega); seetõttu võivad vahemikud kohati ära kaduda ja rööpad puutuvad üksteisega tihedalt kokku.

rööbaste pikkuste summa suureneb nende vahemikkude arvel; üldine pikenemine suvistel palavatel päevadel võrreldes talviste pakastega on umbes 300 m.

Järelikult on Oktoobriraudtee raudosa suvel tõesti 300 m pikem kui talvel.

### **Karistamata varastamine.**

Leningrad-Moskva liinil läheb igal talvel täiesti jäljetult kaduma mitusada meetrit kallist telefoni- ja telegraafitraati ja keegi pole sellest häiritud, kuigi kadumise süüdlane on hästi tuntud.

Ka teie muidugi tunnete teda: varas on pakane. Kõik see, mida rääkisime rööbastest, on täiesti rakendatav ka traatide kohta, ainult selle vahega, et vasest telefoniaat pikeneb soojenemisel 1,5 korda rohkem kui teras. Siin pole aga mingeid vahemikke ja seepärast võime üldse kinnitada, et telefoniliin Leningradi ja Moskva vahel on talvel meetrit viis-sada lühem kui suvel. Pakane varastab karistamatult igal talvel peaaegu pool kilomeetrit traati, see ei kutsu aga esile mingeid häireid telefoni ja telegraafi töös; pealegi annab ta varastatud traadi soojade ilmade tulekul korralikult tagasi.

Kui aga selline kokkutõmbumine külma tõttu toimub mitte traatidega, vaid sildadega, võivad tagajärjed mõnikord olla väga tunduvad. Detsembris 1927. a. kirjutasid ajalehed säärasest juhtumist:

„Erakordselt külmad ilmad Prantsusmaal, mis kestsid juba mitu päeva, olid põhjustanud vigastusi ühele Seine'i sillale Pariisi südalinnas. Silla raudtoestik tõmbus külмага kokku; selle tagajärjel suruti silda katva sillutise kivid üles ja need paiskusid laiali. Sillast ülesõit on ajutiselt suletud.“

## Eiffeli torni kõrgus.

Kui nüüd küsitakse, kui kõrge on Eiffeli torn, siis enne, kui vastata: „300 meetrit“, pärite tõenäoliselt järele:

„Millise ilmaga — külma või soojaga?“

Niisuguse tohutu raudehitise kõrgus ei või ju olla ühesugune iga temperatuuri puhul. Me teame, et raudvarras, mille pikkus on 300 m, pikeneb ühekraadisel soojenemisel 3 mm võrra. Umbes niisama palju peab suurenema ka Eiffeli torni kõrgus soojenemisel  $1^{\circ}$  võrra. Sooja päikesepaistelise ilmaga võib torni raudmaterjal Pariisis soojeneda kuni  $+40^{\circ}$ -ni, kuna jaheda vihmase ilmaga temperatuur võib langeda kuni  $+10^{\circ}$ -ni, talvel aga kuni  $0^{\circ}$ -ni ja isegi kuni  $-10^{\circ}$ -ni (suured külmad on Pariisis haruldased). Nagu näeme, võivad temperatuuri kõikumised olla 40 ja enam kraadi. Tähendab, Eiffeli torni kõrguses võivad esineda kõikumised kuni  $3 \times 40 = 120$  mm ehk 12 cm (suuremad kui selle raamatu rea pikkus).

Otsesed mõõtmised on isegi näidanud, et Eiffeli torn on temperatuuri kõikumiste suhtes tundlikum kui õhk: ta soojeneb ja jahtub kiiremini ja reageerib varem päikese ilmumisele pilvise ilma puhul. Eiffeli torni kõrguse muutused tehti kindlaks erilise terasnikkeltraadi abil, millel on see omadus, et tema pikkus peaaegu ei olene temperatuurist. See märkimisväärne sulam kannab invari nimetust (ladinakeelsest sõnast *invarius*, mis tähendab „muutumatu“).

Järelikult tõuseb kuuma päevaga Eiffeli torni tipp kõrgemale kui külмага nii suure osa võrra, mis ligikaudu võrdub selle raamatu rea pikkusega. See osa on rauast, kuid ei maksa muide ühtegi santiimi.

## Teeklaasist veemõõtjani.

Kogenud perenaine ei unusta enne tee valamist panna klaasidesse teelusikad, eriti siis, kui lusikad on hõbedast. Elukogemused on siin välja töötanud täiesti õige võtte. Millele on see rajatud?

Kõigepealt katsume endale selgeks teha, miks lõhkevad klaasid kuuma vee tõttu.

Põhjus seisneb klaasi ebaühtlases soojenemises. Klaasi valatud kuum vesi ei soojenda klaasi seinu korraga. Esmalt soojeneb seinte seesmine kiht, kuna väline kiht ei jõua samal ajal veel soojeneda. Soojendatud seesmine kiht hakkab kohe paisuma, väline kiht on aga veel muutumatu, järelikult tekivad tugevad seesmised pinged. Klaas lõhkeb.

Arge arvake, et kindlustate end säärase üllatuste vastu, kui muretsete paksude seintega klaasid. Paksud klaasid on ses suhtes kõige vähem vastupidavad: nad lõhkevad palju sagedamini kui õhukesed. See on ka arusaadav: õhukese klaasi läbisoojenemine toimub ruttu, ta saavutab kiiresti ühtlase temperatuuri ja ühesuguse paisumise; seda pole aga paksus klaasis, mille läbisoojenemine toimub aeglaselt.

Muretsedes endale õhukesi klaasnõusid ei tohi aga unustada ühte asjaolu: õhukesed ei tohi olla mitte ainult külgseinad, õhuke peab olema ka põhi. Keeva vee valamisel klaasi soojeneb peamiselt klaasi põhi; kui põhi on paks, lõhkeb klaas sellest hoolimata, et seinad on õhukesed. Kergesti purunevad ka klaasid ja portselan-tassid, millel on all rõngakujuline äär.

Mida õhem on klaasanum, seda kindlamini võib teda soojendada. Keemikud kasutavad väga õhukesi klaasanumaid ja soojendavad neis vett otse põletil, kartmata nende purunemist.

Ideaalseks nõuks oleks muidugi selline, mis soojendamisel ei paisu. Äärmiselt vähe paisub k v a r t s: 15—20 korda vähem kui klaas. Paksuseinalist läbipaistvast kvartsist anumat võib soojendada kuidas tahes, see ei lõhke. Punase hõõgeni kuumutatud kvartsanumat võib julgesti kasta jäisesse vette, ilma et seejuures oleks karta anuma purunemist<sup>1</sup>. Põhjuseks on siin osaliselt ka see, et kvartsi soojusejuhtivus on palju suurem kui klaasi oma.

Klaasid purunevad mitte ainult kiirel soojendamisel, vaid ka järsul jahutamisel. Põhjuseks on ebaühtlane k o k k u t õ m b u m i n e: väline kiht tõmbub jahenemisel kokku ja avaldab tugevat survet veel jahenemata ja kokkutõmbumata seesmisele kihile. Seepärast pole soovitatav näiteks purki kuuma keedisega viia suure külma kätte, panna külma vette jne.

Kuid pöördugem tagasi teelusika juurde klaasis. Millel põhineb teelusika kui kaitsevahendi toime?

Anuma seinte seesmise ja välise kihi soojendamisel tekib suur vahe ainult siis, kui anumasse valada korraga väga kuuma vett; leige vesi ei tekita järsku vahet soojendamisel, tähendab, ka pingete vahel klaasi üksikuis osades. Leigest veest klaasnõud ei lõhke. Mis toimub, kui klaasi on pandud lusikas? Kuum vedelik, kokku puutudes anuma põhjaga, annab enne, kui ta seda soojendada jõuab (klaas juhiv halvasti soojust), osa oma soojust ära heale juhile metallile; vedeliku temperatuur langeb; kuum vedelik muutub soojaks ja seetõttu klaasile peaaegu ohutuks. Edasine kuuma tee juurdevalamine pole enam nii ohtlik, sest klaas on nüüd juba jõudnud soojeneda.

---

<sup>1</sup> Kvartsanumaid on veel selle poolest kasulik laboratooriumides tarvitada, et nad on väga raskesti sulavad: kvarts pehmeneb alles 1700° t<sup>o</sup>-l.

Uhe sõnaga, metall-lusikas klaasis, eriti siis, kui ta on massiivne, takistab klaasi ebaühtlast soojenemist ja väldib sellega klaaside purunemise.

Mille poolest on parem, kui lusikas on hõbedast? Seepärast, et hõbe on hea soojusejuht; hõbelusikas võtab veest kiiremini soojust ära kui vasklusikas. Meenutage, et hõbelusikas kuumas tees põletab kätt! Selle tunnuse järgi võite ka otsustada lusika aine üle: vasklusikas kätt ei põleta.

Klaasseinte ebaühtlane paisumine on ohuks mitte ainult teeklaasidele, vaid ka väga vastutusrikastele aurukatla osadele, nimelt veemõõtjatele, mis näitavad, kui kõrgel seisab vesi aurukatlas. Nende klaastorude seesmised osad paisuvad kuuma vee ja auruga kokkupuutumisel enam kui välised osad. Pingetele, mida kutsub esile äsjamainitud põhjus, liitub veel suur auru ja vee rõhk torus, mille tõttu toru võib kergesti lõhkeda. Et seda vältida, tehakse veemõõtjad mõnikord kahest eri sorti klaasist, kusjuures seesmisel kihil on väiksem paisumiskoefitsient kui välisel (Schott'i toru).

### Legend saapast saunas.

„Miks on talvel päev lühike ja öö pikk, suvel aga vastupidi? Seepärast on talvel päev lühike, et ta nagu iga teinegi nähtav ja mittenähtav asi külma käes kokku tõmbub, öö aga igasuguste lampide ja laternate poolt soojendatuna paisub.“

„Doni vägede eru-urjadniku“ veider arutlus Tšehhovi jutustuses kutsub meil esile naeratuse oma ilmse mõtte-tusega. Kuid inimesed, kes naeravad selliste „teaduslike“ arutluste üle, loovad pahatihti teooriaid, mis võib-olla on niisama mõttetud. Kes poleks kuulnud või lugenud saapast saunas, mis ei tahtnud kuumaks läinud

jalga minna just seepärast, et „jalg oli soojendamisel paisunud“? See kuulus näide on muutunud peaaegu klas-siliseks, kuigi sellele antakse täiesti väär seletus.

Esiteks ei tõuse inimese keha temperatuur saunas pea-aegu üldse<sup>1</sup>. Inimese organism võitleb edukalt igasuguste väliskeskkonna soojuslike mõjude vastu ja säilitab oma temperatuuri teataval kõrgusel.

Meie keha ruumala suurenemine soojendamisel 1—2° võrra on niivõrd väike, et seda pole võimalik tähele panna saabaste jalgatõmbamisel. Inimese keha kõvade ja pehmete osade paisumise koefitsient ei ületa vähe-seid kümnetuhandikke. Järelikult võivad talla laius ja sääre paksus suureneda ainult mõne sajandiku senti-meetri võrra. Kas siis tõepoolest saapaid valmistatakse täpsusega kuni 0,01 cm (s. o. juuksekarva paksus)?

Fakt ise aga on kaheldamatu: saapaid on pärast sauna raske jalga tõmmata. Põhjus ei seisne siiski mitte paisu-mises soojenemisel, vaid vere juurdevoolus, naha välis-katte tursumises, niiskes nahapinnas ja teistes sama-laadsetes nähtustes, millel pole midagi ühist soojus-liku paisumisega.

### Kuidas tehakse imesid?

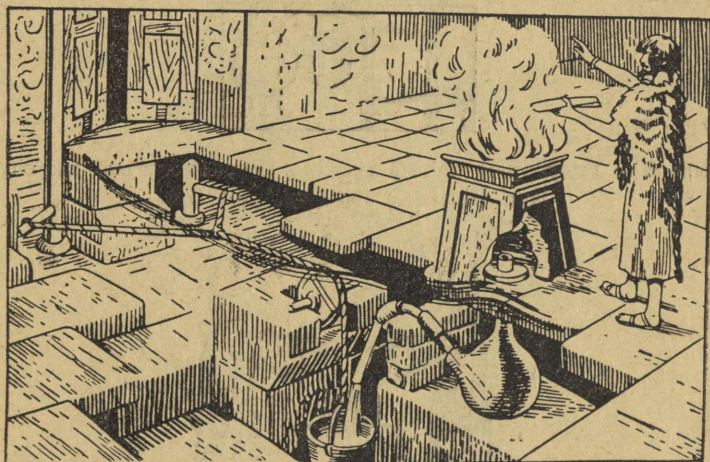
Vana-kreeka mehhaanik Heron Aleksandriast, kes leiutas tema nime kandva purskkaevu, jättis meile kirjeldused kahest teravmeelsest viisist, kuidas egiptuse preestrid tüssasid rahvast, sisendades temale usku ime-  
desse.

Joonisel 79 näete seest tühja metallist ohvrilauda, selle all maa-aluses ruumis aga mehhanismi, mis pani liikuma templi ukse. Ohvrilaud asetseb väljaspool temp-

---

<sup>1</sup> Inimese keha temperatuuri tõus saunas ei ületa 1°, äärmisel juhul 2° (laval).

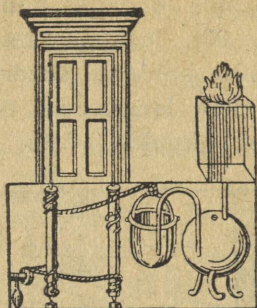
lit. Kui ohvrilaual tehti tuld, siis hakkas õhk soojenemise tõttu avaldama suuremat rõhumist veele anumad, mis oli varjatud põranda alla. Väljasurutud vesi jooksis toru mööda pange, mis langedes pani käima ust avava mehhanismi (joon. 80). Hämmastunud palvetajad, kel polnud aimu maa alla peidetud seadmest, nägid „imet“: kui ohvrilaual hakkab leegitsema tuli, avaneb templi uks nagu iseendast, „kuulda võttes preestrite palvet“.



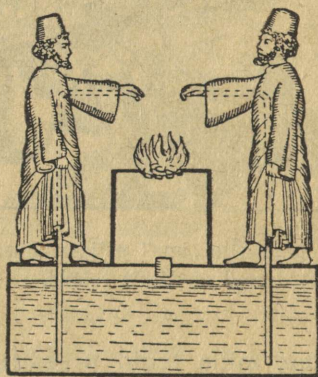
Joonis. 79. Egiptuse preestrite „ime“ paljastamine: templi uksed avanevad ohvritule toimetel.

Teine näilik ime, mida tegid preestrid, on kujutatud joonisel 81. Kui ohvrilaual läidetakse tuli, avaldab õhk paisudes survet õlile allpool asetsevas anumad; õli liikus mööda torusid, mis olid peidetud preestrite kujudesse, ja tilkus siis imekombel tulle... Ohvrilaua preestril oli tarvis ainult märkamatuult välja võtta kork õlianuma kaanelt ja õli väljavool katkes (sest liigne õhk pääses nüüd tekkinud avause kaudu välja); seda

võtet kasutasid preestrid siis, kui palvetajate annetused olid liiga kasinad.



Joonis 80. Templi uste ehituse skeem. Uksed avanevad, kui ohvri-  
laual läidetakse tuli (vrd. joon. 79).



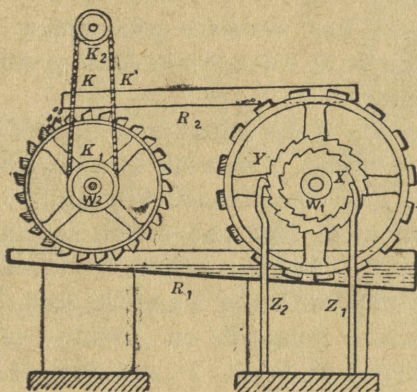
Joonis 81. Vanaaja teine ebaime: õli voolab ise tulle.

### **Kell, mida polnud tarvis üles keerata.**

Me kirjeldasime juba varem kella, mida inimesel endal polnud tarvis üles keerata. Tolle kella ehitus põhines välisõhu rõhu muutumistel. Kirjeldame nüüd ise-

ennast käimapanevat kella, mille ehitus on aga rajatud soojuslikule paisumisele.

Sellise kella mehhanism on kujutatud joonisel 82. Kella peaosaks on vardad  $Z_1$  ja  $Z_2$ , mis on valmistatud erilisest suure paisumiskoeffitsiendiga sulamist. Varras  $Z_1$  toetub ratta  $X$  hammastele nii, et varda pikene-  
misel soojenemise tõttu hammasratas veidi pöördub.



Joonis 82. Kell, mis iseennast üles keerab.

Varras  $Z_2$  lühenemisel külmast haarab ratta  $Y$  hammastest kinni ja paneb ta pöörlema samas suunas. Mõlemad hammasrattad on kinnitatud võlli  $W_1$  külge, mille pöörlemisel pöördub suur ratas koppadega. Koppad võtavad kaasa elavhõbedat alumisest rennist ja tõstavad selle ülemisse; seda renni mööda jookseb elavhõbe vasakpoolsele rattale, mis on samuti varustatud koppadega; langedes nendele koppadele paneb elavhõbe ratta pöörlema. Vasakpoolse ratta pöörlemisel liigub kett  $KK$ , mis on tõmmatud ratastele  $K_1$  (võllil  $W_2$ , mis on ühine suure ratta omaga) ja  $K_2$ ; viimane ratas keerab üles kella vedru.

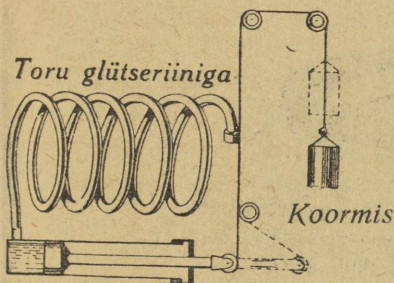
Mis toimub aga elavhõbedaga, mis voolab vasakpoolse ratta koppelalt? Ta voolab kallakat renni mööda tagasi parempoolsele rattale, et siit uuesti alata oma ringvoolu.

Nagu näeme, on mehhanism peatumatult käigus niikaua, kui vardad  $Z_1$  ja  $Z_2$  pikenevad või lühenevad. Järelikult on tarvis kella käimiseks, et temperatuur tõuseks või langeks. See toimub aga iseendast, ilma et nõuaks meie hoolt: iga temperatuurimuutus ümbruskonnas kutsub esile kas varraste pikenemise või lühenemise; selle tagajärjel keeratakse kella vedru aeglaselt, aga pidevalt üles.

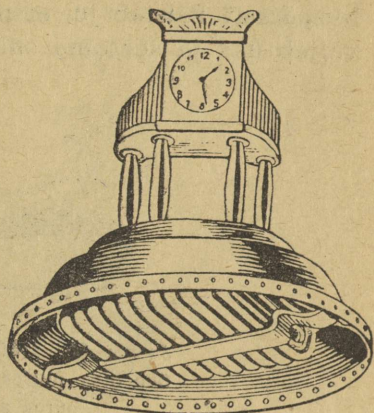
Kas võime seda kella nimetada „igaveseks“ jõumasinaks? Muidugi mitte. Kell võib olla käigus määramata kaua, niikaua, kuni mehhanism ära kulub, — energiaallikaks aga on meid ümbritseva õhu soojus. Soojusliku paisumise energiat kogub see kell väikeste annuste kaupa, et siis pidevalt seda kulutada kella osutite käimapanemiseks. See jõumasin on „tasutu“, sest ta ei vaja meie poolt kulusid ja hoolt. Ta muidugi ei loo energiat eimillestki: tema energia algallikaks on Maad soojendava Päikese soojus.

Teine näide iseennast üleskeerava kella kohta, mis ehituselt sarnaneb eelmisega, on kujutatud joonistel 83 ja 84. Peaosaks on siin glütseriin, mis temperatuuri tõusul paisub ja seejuures tõstab teatavat koormist; koormise langemine panebki käima kella mehhanismi. Et glütseriin tahkub ainult  $-30^{\circ}$  C ja keeb  $290^{\circ}$  C  $t^{\circ}$ -l, siis võib seda kella kasutada väljas, linnaväljakutel ja teistes lahtistes kohtades. Kahekraadised temperatuuri muutumised on juba küllaldased selle kella käimapanemiseks. Uhte sellist kella prooviti kogu aasta ja hoolimata sellest, et selle aja jooksul mehhanismiga ei puutunud kokku ükski käsi, näitas ta aega täiesti rahuldavalt.

Kas on kasulik samal põhimõttel ehitada suuremaid jõumasinaid? Esimesel pilgul paistab, et selline „tasutu“ jõumasin peaks olema väga kasulik. Arvutus aga näitab vastupidist. Hariliku kella vedru üleskeeramiseks üheks



Joonis 83. Iseennast üleskeerava kella teist laadi ehituse skeem.



Joonis 84. Iseennast üleskeerav kell; kella alusesse on peidetud toru glütseriiniga.

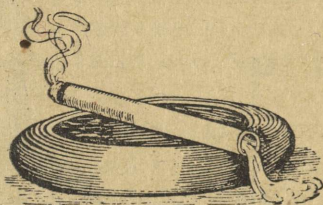
päevaks läheb vaja energiat umbes  $\frac{1}{7}$  kilogramm-meetrit, ühes sekundis seega ümmarguselt üks kuuesajatuhandik osa kilogramm-meetrist; et aga hobujõud on 75 kg-meetrit sekundis, siis on sellise kella mehhanismi võimsus üks 45 000 000-ndik osa hobujõust. Tähendab, kui arvestada, et eespooltoodud kella paisuvad vardad või teise kella seadeldis maksavad üks kopikas, siis tuleb säärase jõumasina ehitamisel ühe hobujõu kohta kulu-tada

$$1 \text{ kop.} \times 45\,000\,000 = 450\,000 \text{ rubla.}$$

Peaaegu pool miljonit rubla ühe hobujõu saamiseks on siiski kallivõitu „tasutu“ jõumasina kohta.

## Õpetlik paberross.

Tuhatoosis on paberross (joon. 85). See suitseb mõlemast otsast. Aga suits, mis väljub paberossi suulisest, laskub alla, kuna teise otsa juures suits tõuseb üles. Mispärast? Paistab ju, et nii ühest kui ka teisest otsast väljub üks ja seesama suits.



Joonis 85. Mispärast paberossisuits ühe otsa juures tõuseb üles, teise otsa juures aga laskub alla?

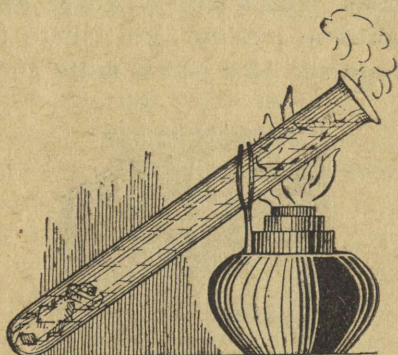
Õige, suits on üks ja seesama, aga paberossi hõõguva otsa juures on tõusev soe õhuvool, mis viib ka suitsukübemed kaasa. Õhk, mis koos suitsuga väljub suulisest, on aga juba jahtunud ja seetõttu ei tõuse üles; et suitsukübemed on õhust raskemad, siis langevad nad alla.

### Jää, mis keevas vees ei sula.

Võtke katseklaas, täitke veega, pange vette katseklaasi põhja tükike jääd ja et see üles ei ujuks (jää on veest kergem), selle peale tinakuul, tükike vaske või midagi selletaolist, seejuures aga silmas pidades, et veel oleks vaba pääs jää juurde. Nüüd lähendage katseklaas piirituspõleti leegile, aga nii, et leek puutuks kokku ainult katseklaasi ülemise osaga (joon. 86). Varsti hakkab vesi keema, eraldades aurupilvekesi. Aga imelik

asi: jää katseklaasi põhjas ei sula! Meie ees oleks nagu ime: jää, mis ei sula keevas vees...

Mõistatuse lahendus seisneb selles, et katseklaasi põhjas vesi üldse ei kee, vaid jääb külmaks. Vesi keeb vaid klaasi ülemises osas. Meil pole „jää keevas vees“, vaid „jää keeva vee all“. Paisudes soojendamisel muu-



Joonis 86. Katseklaasi ülemises osas vesi keeb, all aga jää ei sula.

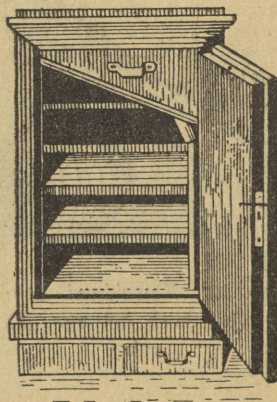
tub vesi kergemaks ega lasku alla, vaid jääb katseklaasi ülemisse ossa. Sooja vee voolud ja veekihtide segunemine toimuvad ainult klaasi ülemises osas ega tungi vee alumiste tihedamate kihtideni. Soojenemine võib allapoole levida ainult soojusejuhtivuse teel, vee juhtivus on aga väga väike.

### Jää peale või jää alla?

Soovides soojendada vett asetame anuma veega leegi peale, aga mitte leegi kõrvale. Me toimime siinjuures täiesti õigesti, sest leegi poolt soojendatud õhk, muutudes kergemaks, tõuseb üles ja soojendab anumad igast

küljest. Asetades soojendatava keha leegi peale kasutame järelikult kõige paremini soojust ära.

Kuidas tuleb aga toimida, kui, vastupidi, soovime mingit keha ja hutada jääga? Vanast harjumusest panevad paljud keha jää peale, panevad näiteks kruusi piimaga jää peale. See pole otstarbekohane, sest õhk jää peal jahtumisel laskub alla ja asendub sooja õhuga. Siit praktiline järeldus: kui tahate jahutada toitu või jooki, asetage see jää alla, mitte aga jää peale.



Joonis 87. Tubase külmutuskapi sisevaade; väljatõmmatav sahtel jää jaoks asetseb kapi ülemises osas.

Selgitame seda üksikasjalisemalt. Kui asetada anum veega jää peale, siis jahtuvad ainult vee alumised kihid, muu osa veest on aga ümbritsetud jahutamata õhuga. Vastupidi, kui panna tükk jääd anuma kaanale, siis toimub anuma sisu jahtumine kiiremini. Vedeliku ülemised, jahenenud osad laskuvad alla, asendudes sooja vedelikuga, mis tõuseb alt üles; see kestab niikaua, kuni

on jahtunud kogu vedelik anumast<sup>1</sup>. Teiselt poolt ka jääd ümbritsev õhk laskub alla ja ümbritseb anumast<sup>2</sup>. Seepärast on ka tubastes külmutuskappides jää alati kapi ülemises, mitte alumises osas.

### Miks puhub kinnisest aknast tõmbetuul?

Tihti on tunda tõmbetuult akna juures, mis on täiesti tihedalt suletud ega oma vähimatki pragu. See näib ime-lik olevat. Siiski pole siin midagi imestatavat. Õhk pole toas kunagi paigal, selles on alati olemas nähtamatuid voole, mida tekitavad õhu soojenemine ja jahtumine. Soojenemisel õhk hõreneb ja järelikult kergeneb; jahenemisel, vastupidi, õhk tiheneb ja raskeneb. Lambist või köetud ahjust surutakse soojendatud kerge õhk külma õhu poolt üles lae alla; külm ja raske õhk langeb akende ja külmade seinte juures alla, põranda poole.

Neid voolusid võib kergesti nähtavaks teha laste õhupalli abil, mille külge on kinnitatud mõni raskus, et pall vabalt õhus hõljuks ega lendaks vastu lage. Selline õhupall, lahtilastuna köetud ahju juures, hakkab mööda tuba rändama: ahju juurest lae alla akna juurde, siit laskub alla ja siirdub tagasi ahju juurde, et siis uuesti alata oma teekonda.

Seepärast tunnemegi, eriti jalgade juures, talvel akna ligiduses tõmbetuult, kuigi aken on nii tihedalt suletud, et välisõhk sisse ei pääse.

---

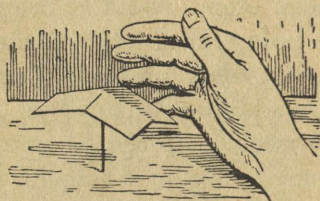
<sup>1</sup> Seejuures jahtub puhas vesi mitte 0 kraadini, vaid nelja Celsiuse kraadini; veel on sellel temperatuuril suurim tihedus. Tegelikus elus polegi tarvidust jahutada jookke nullini.

<sup>2</sup> Seetõttu pole õige märkus, nagu kehtiks öeldu ainult ääreni täidetud anuma kohta.

## Salapärane virel<sup>1</sup>.

Lõigake õhukesest paberossipaberist välja väike ristkülik. Murdke see keskjooni mööda kokku ja tehke siis jälle sirgeks: nüüd teate, kus asetseb selle nelinurga raskuskese. Pange see paber püsti asetatud nõela teravikule nii, et paberi raskuskese langeks teraviku peale.

Paber on tasakaalus: ta toetub raskuskeskmega nõelale. Vähimgi puhang paneb ta pöörlema.



Joonis 88. Miks paber pöörleb?

Veel ei avalda see riistake mingit salapärasust. Lähendage aga sellele käsi, nagu on näidatud joonisel 88; tehke seda ettevaatlikult, et õhuvool paberit teravikult maha ei paiskaks. Te näete imelikku asja: paber hakkab pöörlema, alguses aeglaselt, siis üha kiiremini. Tõmmake käsi tagasi — liikumine katkeb. Lähendage käsi uuesti paberile — liikumine algab uuesti.

Oli kord aeg — möödunud sajandi seitsmekümendatel aastatel — kus see mõistatuslik liikumine andis paljudele põhjust arvata, et inimese keha omab mingeid üleloomulikke omadusi. Müstitsismi harrastajad nägid selles katses tõestust oma udustele õpetustele salapärasest jõust, mis kiirgub välja inimese kehast. Muide, nähtuse põhjus on täiesti loomulik ja väga lihtne: õhk, mis on soojendatud käe alumise osa poolt, tõuseb üles ja

<sup>1</sup> Virel — laste tuuleveski.

rõhudes paberile paneb selle pöörlema, samuti nagu ta paneb pöörlema spiraalse „lohekese“ lambiklaasi peal. Pöörlemine tekib seepärast, et paberi kokkumurdmisel andsite selle osadele väikese kallakuse.

Tähelepanelik vaatleja näeb ka, et mainitud riistake pöörleb kindlas suunas: käerandmest piki peopesa, sõrmede poole. Seda võib seletada temperatuuride vahega käe mainitud osade juures: sõrmeotsad on alati külmemad kui peopesa; seepärast siis ka tekib peopesa juures tugevam ülestõusva õhu vool, mis avaldab paberile suu-remat rõhku kui sõrmede poolt tekitatud õhuvool<sup>1</sup>.

### Kas kasukas soojendab?

Mis ütleksite, kui teile hakataks kinnitama, et kasukas põrmugi ei soojenda? Te muidugi arvaksite, et teiega naljatatakse. Aga kui teile hakataks seda väidet tõestama rea katsetega? Tehke näiteks järgmine katse.

Olles märkinud, kui palju kraade näitab termomeeter, mässige ta kasukasse. Paari tunni pärast võtke ta kasukast välja. Te näete, et ta pole soojenenud veeranditki kraadi: niisama palju, kui ta näitas enne, näitab ta ka nüüd. Näete, ongi tõestus, et kasukas ei soojenda! Teil võib tekkida kahtlus, kas kasukad isegi ei jahahta. Võtke kaks pudelikest jääga; üks mässige kasukasse, teine jätke lahtiselt tuppa. Kui jää teises pudelikeses on sulanud, tehke kasukas lahti: näete, et jää kasuka sees olnud pudelikeses pole veel sulama hakanudki. Tähen-  
dab, kasukas pole jälle soojust andnud, vaid näib, nagu

---

<sup>1</sup> Võib ka tähele panna, et palaviku ja üldse kõrgendatud temperatuuri puhul see riistake pöörleb kiiremini. Sellele õpetlikule, kunagi paljusid segadusse viinud asjakesele oli omal ajal isegi pühendatud väike füüsikalise-füsioloogiline uurimistöö, mis kanti ette Moskva Arstiteaduslikus Seltsis 1876. a. (N. P. Netšajev, Kergete kehade pöörlemine käe soojuse mõjul.)

oleks ta jääd koguni jahutanud, aeglustades tema sulamist!

Mida sellele vastu väita? Kuidas need tõendused ümber lükata?

Mitte kuidagi. Kasukad tõesti ei soojenda, kui soojendamise all mõista soojuse andmist. Lamp soojendab, ahi soojendab, inimese keha soojendab. Kõik see pärast, et need kehad on soojusallikad. Kasukas aga sõna selles mõttes sugugi ei soojenda. Ta ei anna endast soojust, vaid ainult takistab meie keha soojuse lahkumist. Seepärast soojavereline loom, kelle keha on ise soojusallikaks, tunneb end kasuka sees soojemas olevat kui ilma selleta. Termomeeter aga soojust ei anna ja tema temperatuur sellest ei muutu, kui me ta kasukasse mässime. Jää, mis on mässitud kasukasse, säilitab oma madala temperatuuri pikemat aega, sest kasukas kui halb soojusejuht takistab toaõhu soojuse pääsu jää juurde.

Samas mõttes nagu kasukas, soojendab maapinda ka lumi. Olles, nagu kõik pulbritaolised kehad, halb soojusejuht, takistab ta soojuse kadumist tema poolt kaetud pinnasest. Lumekihiga kaitstud pinnases näitab termomeeter sageli kraadi kümme rohkem kui lumikatteta pinnases. Lumikatte selline „soojendav“ toime on hästi tuntud talurahvale.

Küsimusele, kas kasukas soojendab, tuleb seega vastata, et kasukas vaid aitab meid iseennast soojendada. Õigem oleks öelda, et meie soojendame kasukat, mitte aga kasukas meid.

### **Missugune aastaaeg on meie jalgade all?**

Kui maapinnal on suvi, missugune aastaaeg on siis näiteks kolme meetri sügavuses?

Te arvate, et ka seal on suvi? Eksite! Aastaajad pealpool maapinda ja pinnases pole samad, nagu tavaliselt arvatakse. Pinnas juhib soojust väga halvasti. Veevärgitorud Leningradis, mis on kahe meetri sügavuses, ei külmu kinni ka suurima pakasega. Temperatuuri muutumised, mis toimuvad maapinnal, tungivad maa sügavusse väga aeglaselt ja jõuavad pinnase eri kihtidesse suure hilinemisega. Otsesed temperatuuri mõõtmised näiteks Slutskis (Leningradi oblast) näitasid, et kolme meetri sügavusse jõuab aasta kõige soojem aeg 76-päevase hilinemisega, kõige külmem aga 108-päevase hilinemisega. See tähendab, et kui maapinnal oli kõige soojem päev näiteks 25. juulil, siis kolme meetri sügavuses on selleks alles 9. oktoober! Kui kõige külmem päev oli 15. jaanuaril, siis mainitud sügavuses on see alles maikuus! Need hilinemised on veelgi suuremad sügavamates kihtides.

Temperatuuri kõikumised pinnase sügavusse siirdumisel mitte ainult ei hiline, vaid ka nõrgenevad ja teatavas sügavuses on need täiesti kadunud: kogu aasta läbi sajandite jooksul püsib jääv temperatuur, ja nimelt antud koha keskmine aastatemperatuur. Pariisi observatooriumi keldrites, 28 m sügavuses, hoitakse juba poolteist sajandit alal Lavoisier' poolt sinna paigutatud termomeetrit, ja saja viiekümne aasta jooksul pole temperatuur muutunud, püsides pidevalt samal kõrgusel (+11,7<sup>o</sup> Celsiuse järgi).

Seega pinnases, millele toetume jalgadega, pole kunagi see aastaaeg, mis on pealpool maapinda. Kui maa peal on talv, siis kolme meetri sügavuses on veel sügis, küll mitte samasugune sügis, nagu oli varem maapinnal, vaid sügis mõõdukama temperatuuri alanemisega. Kui aga maapinnal on suvi, siis maa sügavuses on veel tunda talviste külmade nõrku järelkajasid.

Kõike seda on vaja silmas pidada iga kord, kui räägitakse maa all elutsevate loomade elutingimustest (näiteks lehepõrnika tõukude omadest) või taimede maa-alustest osadest. Ei tule aga imestada selle üle, et näiteks puude juurtes toimub uute rakkude paljunemine nimelt aasta külmemal poolel ja mähkkoe tegevus võib peaaegu terveks soojaks aastaajaks, täiesti vastupidisena sellele, mis toimub puutüves maa peal.

### Talvine küte suvise Päikesega.

Algame mõningate huvitavate arvudega. Teadlastel on õnnestunud määrata soojushulka, mida annab Päike, kiiritades mingit pinda.

Kui võtta Moskva, siis tema pinna iga ruutmeeter saab Päikeselt kolme talvekuu jooksul (november, detsember, jaanuar) 30 tuhat kalorit, kevade- ja suvekuudel aga 500 tuhat kalorit. Kuipalju ruutmeetreid on meie pealinna pindala, niipalju korda pool miljonit kalorit annab talle Päike kogu sooja aastaaja jooksul. Kuhu jääb see tohutu suur soojushulk? Suurem osa sellest soojusest läheb kaotsi ja haihtub laiali samal ajal, kui ta saadakse. Ainult tühine osa soojusest soojendab maapinda mitte sügavalt ja lühikeseks ajaks: kui tulevad esimesed sügiskülmad, on pinnasesse kogunenud soojus juba haihtunud.

Lühidalt öeldes, meie päevase valguseandja helled annid ei jää meile, vaid lähevad meist mööda. Kas pole võimalik kinni pidada ja ära kasutada seda suurt soojuskapitali, mis ise annab end meie kättesse?

Niisuguse mõttega tegeles oma elu viimaseil aastail silmapaistev Moskva füüsik professor V. A. Mihhelson (surnud 1927. a. veebruaris).

Tema mõtted kujunesid korrapäraseks ja täpseks kavaks, mis seisnes selles, et ära kasutada suvist Päikesee soojust Moskva majade talviseks kütmiseks ja muuta pealinna kliima järk-järgult paremaks. See surnud teadlase põhjalikult läbitöötatud projekt ilmus omal ajal spetsiaalses „Rakendusfüüsika Ajakirjas“.

Mihhelson lähtus oma arvestustes järgmistest andmetest. Mõni Moskva maja, põhipinnaga 1000 ruutmeetrit, saab Päikeselt seitsme kuu jooksul (kevadest ja suvel)  $500\,000 \times 1000 = 500\,000\,000$  kalorit soojust. Selle maja kütteks viie sügise- ja talvekuu jooksul läheb aga tarvis 360 000 000 kalorit.

„Järelikult,“ väidab teadlane, „annab Päike igale majale niipalju soojust, et see katab liiaga soojushulga, mis on tarvilik selle maja kütmiseks talvel. Ulesanne seisneb ainult selles, kuidas seda soojushulka alal hoida kevadest ja suvest talveni ja kaitsta seda kasutu haihtumise eest.“

Koht, kus Mihhelsoni kava kohaselt tuleb päikesee soojust koguda ja alal hoida, asetseb — kus teie seda arvaksite? — maa all, 20 ja enama meetri sügavuses.

Esimesel pilgul näib mõttetu olevat päikesekiirte annid peita sügavale maa alla. Aga kui meenutada pinnase head omadust säilitada soojust, siis polegi see nii väga mõttetu. Pinnas on suurepärase soojuseisolaator; temast kaob soojus väga aegamööda.

„Kui meil õnnestuks,“ kirjutab Mihhelson, „suve jooksul soojendada päikeseenergiaga tüsedat maakihti linna all sügavuses 20 ja 30 meetri vahel, siis leviks see soojus talveks igale poole külgedele, alla ja üles mitte kaugemale kui 10 m ega jõuaks isegi maapinnani.“

Kuidas mõtles projekti autor maa all päikeseenergiat tagavaraks koguda?

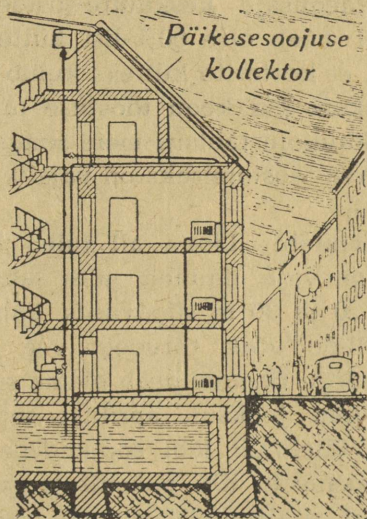
Selleks et mõista selle teravmeelse projekti põhiideed, meenutagem kaht elementaarset fakti füüsikast. Kõigile on tuntud külma tekkimine aurumisel: auruv vedelik jahutab teda ümbritsevaid kehasid (meenutage külmatunnet märgades rõivastes), s. o. ta võtab neilt soojust. Vähem on tuntud vastupidine nähtus: aur, tihenedes uuesti vedelikuks, tagastab aurumissoojuse, soojendades seejuures ümbruskonda. Juba aurumasina leiutaja Watt märkas imestusega, et „vesi auru kujul on tihendamisel võimeline soojendama kuni 100<sup>0</sup>-ni kaalult kuus korda suuremat veehulka“. Ära märkides veel teist fakti, et gaas kokkusurumisel soojeneb, pöördume jälle tagasi Mihhelsoni projekti juurde.

Kevadel ja suvel on meie majade katused üle ujutatud päikesekiirtest ja muidugi ka nende poolt soojendatud. See soojus läheb öösel katuste jahtumisel kaotsi; ta hajub laiali ümbruskonda. Nagu juba öeldud, seisneb Mihhelsoni idee selles, et mainitud soojusele mitte anda võimalust kasutult haihtuda, vaid seda alal hoida tagavaraks ja ära kasutada talvel majade kütmiseks. Torude süsteem majade katustel peab vahetpidamatult Päikese poolt soojendatud vett ära viima maa alla, 20—30 meetri sügavusse.

Välised temperatuuri muutumised ei tungi selle sügavuseni; siin on temperatuur jääv, näiteks Moskvas +6<sup>0</sup> C. Katusel soojenenud vesi, liikudes maasse pandud torusid mööda, annab oma soojuseülejäägi pinnasele ja jahenenult tõuseb hiljem uuesti pumpade abil katusele, et siis pärast soojenemist minna jälle maa alla, jne. Lühidalt öeldes: suvel Päikeselt saadud soojus hoitakse alal pinnases maja all (joon. 89).

Rääkigem nüüd sellest, kuidas oleks võimalik selle maa-aluse ahju soojust ära kasutada majade kütmiseks talvel. Mihhelsoni ettepanekul oleks seadeldis järgmine.

Torude võrk katusel lülitatakse talveks välja. Soe maa-  
alune vesi juhitakse erilisse spiraalitoruga varustatud  
anumasse (aurustajasse), milles toimub vähendatud  
rõhul mingi vedeliku, näiteks piirituse aurumine. Piiri-  
tuse aurustamiseks kulub osa spiraalтору ümbritseva



Joonis 89. Projekt, kuidas maju  
talvel kütta suvise Päikese soo-  
jusega.

vee soojusest. Piirituse aur juhitakse erilise pumba abil  
teise anuma (tihendaja) spiraaltorusse, kus see kõrgen-  
datud rõhu mõjul jälle vedelikuks tiheneb. Siin annab  
piiritus oma aurumissoojuse spiraalтору ümbritsevale  
veele. Mainitud protsessiga võib tõsta vee temperatuuri  
kuni 55 kraadini (Mihhelsoni arvestuse järgi). Seda vett  
võib nüüd kasutada vesikütteks.

Muidugi on paratamatu teatav kütte (või elektrienergia) kulu selleks, et alal hoida vee tsirkulatsiooni (kuigi väga aeglast) torudes katuselt maasse ja ka pumpade tööks aurustajas ja tihendajas. See kulu pole suur. Arvutused näitavad, et Mihhelsoni kava puhul kasutatakse küte ära kolm korda tulusamalt kui kõige täiuslikumais praegusaja keskkütte-süsteemides. Teiste sõnadega, kava näeb ette 60%-list kütte kokkuhoidu. Kui meenutada, et korterite kütteks kulub lõviosa küttematerjalist, rohkem kui kogu tööstuse tarviduseks, siis tõuseb selle kokkuhoiu tähtsus meie silmis veelgi.

Ülaltoodud kava teostamiseks on vajalikud kapitaalsed maa-alused tööd.

Mihhelson kirjutab: „Linna all tuleb teostada suuri kaevamistöid: on vaja ehitada mitu šahti sügavusega 30 m, seejärel 20 ja 30 m sügavuses kahekordne horisontaalsete stollide võrk torudega vee tsirkulatsiooni jaoks. Torude võrgu tihedus peab olema selline, et oleks võimalik kuue kuu jooksul, aprillist septembrini, Päikese soojusega täielikult läbi soojendada pinnase kiht 20 või 30 m paksuselt. Kui paksult ja millise kraadini õnnestub pinnast soojendada, oleneb peamiselt sellest, kui suure pindalaga soojuse vastuvõtjaid on võimalik ehitada majade katustele.

Neidsamu torusid, mida kasutatakse suvel maa soojendamiseks, võib talvel kasutada linna majade kütmiseks. Maa-alune torude võrk on suvel pumpade abil ühendatud katustel asetsevate soojust vastuvõtivate torude võrguga. Talvel on aga maa-alune torustik ühendatud kõigi kütmissinate aurustajatega. Need kütmissinad soojendavad vett kuni 55<sup>0</sup>-ni ja toidavad vesikeskkütte katlaid. Soojusenergia vastuvõtjad on päikesevaestel kuudel (novembrist veebruarini) välja lülitatud. Märtsikuu päikesepaistelisel päeval võib

maa-aluse torustiku välja lülitada, kuna kütmissüsteemide aurustajaid võib otseselt toita katustelt saadud soojendatud veega.“

See pole aga kõik, mida lubab anda Mihhelsoni kava pärast selle võimalikku teostamist. Torude võrk katustel võib olla arvestatud niiviisi, et soojushulk, mis saadakse suvel Päikeselt, on suurem sellest hulgast, mis kulub kütmiseks. Nii jääb iga aasta lõpuks teatav hulk soojust kasutamata. See soojusetagavara suureneb iga aastaga. Mis juhtub selle tagajärjel?

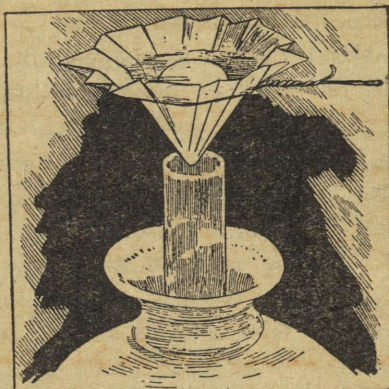
„Pinnase aasta keskmine temperatuur hakkab järkjärgult tõusma. Talvine pinnase külmumine jääb varsti ära. See järkjärguline soojuse kuhjumine pinnasesse võib paljude aastate järel avaldada väga tunduvat mõju linna kliimale, seda suuremat, mida suurem on linn. Lumikate kaob varem ja tekib hiljem kui linna ümbritsevail aladel. Üldine pinnase ja järelikult ka õhu temperatuuri tõus vähendab kütmissüsteemi vajadust. See omakorda aga suurendab neid soojushulki, mis lähevad pinnase soojendamiseks, ja linna kliima pehmenemine toimub kiirendatult. Ja siis muutub linn nagu soojaks oasiks, mis on üle toodud lõunast põhjalaiustesse.“

Te näete, et võrdlemisi lühikese ajavahemiku jooksul on võimalik meie pealinna kliimat kuni tundmatuseni muuta, teha lume poolt ülekülvatavast põhjamaa linnast lähistroopilise vöötme soojaõhuline õnnistusrikas paik ...

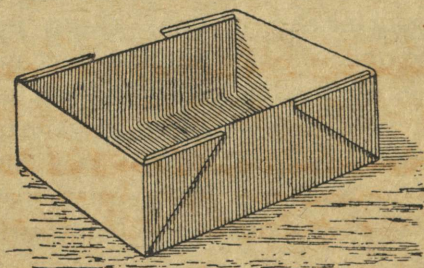
### **Paberist kastrul.**

Vaadake joonist 90: muna keeb vees, mis on valatud paberist lehttrisse! „Aga paber süttib ju kohe põlema ja vesi voolab lampi,“ ütlete teie. Proovige siiski seda katset teha, võttes selleks tihedat pärgamentpaberit, mis on korralikult traadi külge kinnitatud. Te veendute, et

paber tules sugugi ei kannata. Põhjus seisneb selles, et vett võib lahtises anumast soojendada ainult kuni vee keemistemperatuurini, s. o.  $100^{\circ}$ -ni; seepärast ei luba



Joonis 90. Muna keetmine paberist kastrulis.

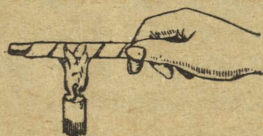


Joonis 91. Paberist karp vee keetmiseks.

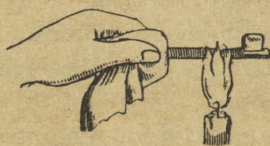
soojendatav vesi, millel on pealegi veel suur soojusmahtuvus ja mis neelab ära paberi soojuse ülejäägi, paberil soojeneda tunduvalt üle 100 kraadi, s. o.

temperatuurini, millel paber võiks süttida. (Praktilisem võib-olla on kasutada paberist karbikest, nagu see on kujutatud joonisel 91.) Vaatamata sellele, et paber puutub kokku leegiga, ta ei sütti.

Mainitud nähtuste hulka kuulub ka ebameeldiv nähtus, mis võib juhtuda hajameelsete inimestega ja mis seisneb selles, et hakatakse soojendama teemasinat ilma veeta: teemasin muidugi sulab lahti. Põhjus on arusaadav: jooke on võrdlemisi kergesti sulav ja ainult lähedane naabrus veega kaitseb seda ohtliku temperatuuritõusu eest. Muidugi ei tohi ka joodetud kastruleid veeta soojendada. Vee soojenemine kaitseb ka maksimumilipidujat sulamise eest.



Joonis 92. Mittepõlev paber.



Joonis 93. Mittepõlev niit.

Ka tinaplombi võite sulatada mängukaardist tehtud karbikeses. Tuleb vaid jälgida seda, et leegile lähendatakse see paberi osa, mis vahenditult kokku puutub tinaga: tina kui võrdlemisi hea soojusejuht võtab kiiresti paberilt soojust ära ega luba selle temperatuuri tõusta kõrgemale kui tina sulamistemperatuur, s. o.  $335^{\circ}$ ; sellest temperatuurist aga ei piisa paberi süttimiseks.

Hästi õnnestub ka järgmine katse (joon. 92). Jäme nael või rauast (veel parem vasest) varras mähkige tihedalt kruvitaoliselt ümber kitsa paberiribaga. Nüüd pange varras paberiribaga leeki. Tuli noolib pabe-

rit, teeb ta tahmaseks, aga enne põlema ei süüta, kui varras hõõguma hakkab. Nähtuse seletus seisneb metalli heas soojusejuhtivuses. Klaaspulgaga ei õnnestu selline katse. Joonis 93 kujutab samalaadset katset „tulekindla“ niidiga, mis on tihedalt mähitud ümber võtme.

### Ainus libe keha looduses.

Siledaks hõõrutud põrandal võib kergemini libiseda kui tavalisel. Näib, et sama peaks toimuma ka jääl, s. o., et sile jää peaks olema libedam konarlikust, karedast jääst.

Aga kui olete juhtunud kunagi vedama koormaga kelku konarlikul karedal jääpinnal, siis olete vist veendumusele jõudnud, et ootuste kiuste libiseb kelk seesugusel pinnal paremini kui siledal jääl. Kare jää on libedam kui peegelsile? See seletub asjaoluga, et jää libedus ei olene peamiselt tema siledusest, vaid hoopis teisest põhjusest: nimelt sellest, et jää sulamistemperatuur langeb rõhu suurenemisel.

Arutleme, mis toimub, kui sõita saaniga või uisutada. Seistes uiskudel toetume väga väikesele pinnale, ainult mõnele ruutmillimeetrile. Ja sellele väikesele pinnale avaldab rõhumist kogu meie keha raskus. Kui meenu-tate seda, mis oli öeldud rõhust teises peatükis, siis peaksite teadlik olema sellest suurest rõhust, mida avaldab jääle uisutaja. Suure rõhu all aga sulab jää madalamal temperatuuril; kui näiteks jää temperatuur on  $-5^{\circ}$  ja uiskude all oleva jää sulamis-temperatuur on langenud enam kui  $5^{\circ}$ , siis peab see jää osalt sulama hakkama. Mis juhtub? Uiskude ja jää vahele tekib õhuke veekiht; pole siis ime, et uisutaja

jää libiseb. Ja kui ta tõstab jala teise kohta, toimub seal seesama. Kõikjal tekib uisutaja jalgade all jää sulamisest õhuke veekiht. Kõigist olemasolevaist kehadest on säärane omadus ainult jää; üks nõukogude füüsik nimetas jääd „ainsaks libedaks kehaks looduses“. Teised kehad võivad olla küll siledad, aga mitte libedad.

Nüüd võime tagasi pöörduda küsimuse juurde, millega algas see artikkel. Me teame, et sama koorem avaldab seda suuremat rõhku, mida väiksem on pind, millele ta toetub. Missugusel juhul avaldab inimene toetuspinna suuremat rõhku: kas seistes peegelsiledal või karedal jää? On selge, et teisel juhul: siin toetub ta ainult jää üksikuile väljaulatuvaile kohtadele ja konaraile. Aga mida suurem on rõhk jääle, seda laiaulatuslikum on jää sulamine ja järelikult on ka jää libedam (muidugi ainult siis, kui jalased on küllalt laiad; kitsaste, lumme sissetungivate uiskude kohta see ei kehti, sest liikumisenergia kulub siin kühmude läbilõikamiseks).

Jää sulamistemperatuuri alanemisega suurte rõhkude puhul seletatakse rida nähtusi igapäevases elus. Tänu jää niisugusele omadusele külmuvad tema üksikud tükid kokku, kui neid tugevasti üksteise vastu suruda. Ka poiss lumesõda pidades surub tugevasti rusikas lund kokku, et saada lumepalli; siin kasutab ta ebateadlikult samuti lumehelvete omadust kokku külmuda suurel rõhul, mis alandab sulamistemperatuuri. Veeretades lund lumimemme tegemisel kasutame jällegi seda lumeomadust: lumehelbed sulavad lumepatsaka alumises osas raskuse mõjul kokku. Teile on nüüd arusaadav, mispäraselt külma ilmaga lumepallid laiali pudenevad ja pole võimalik lumimemme teha. Jalgteedel tiheneb

lumi käijate jalgade all aegamööda jääks: lumehelbed külmuvad kokku üheks tükiks.

Teoreetilised arutlused näitavad, et jää sulamistemperatuuri alandamiseks ühe kraadi võrra läheb vaja väga suurt rõhku, nimelt 130 kg ruutsentimeetri kohta. Siinjuures võetakse arvesse, et sulamisel on jää ja vesi ühesuuruse rõhu all. Kirjeldatud nähtustes on aga ainult jää suure rõhu all, kuna sulamisel saadav vesi on tavalise õhurõhu all; niisugusel tingimusel on rõhu mõju sulamistemperatuuri alanemisele veel palju suurem. Rõhu suurenedes sulamistemperatuur alaneb mitte ainult jääl, vaid ka mõnedel teistel ainetel.

### Ulesanne jääpurikaist.

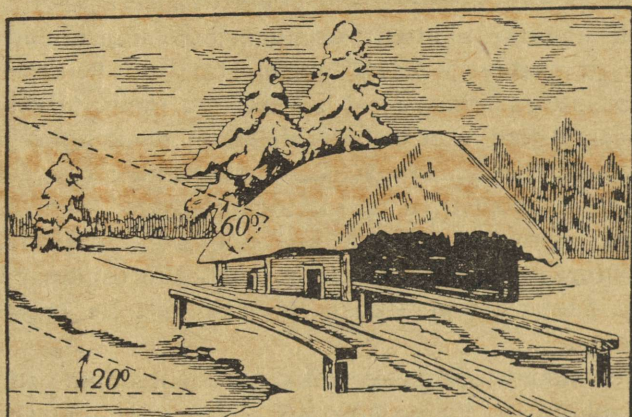
Kas olete juhtunud mõtisklema selle üle, kuidas tekivad jääpurikad, mida sageli näeme rippuvat katustelt?

Missuguse ilmaga tekivad jääpurikad: kas sula või külma ilmaga? Kui sula ilmaga, kuidas siis külmub vesi temperatuuril, mis on kõrgem nullist? Kui külma ilmaga, kust tuli siis vesi kütmata ruumide katusele?

Te näete, ulesanne polegi nii lihtne, nagu see algul paistab. Selleks et jääpurikad tekkida võiksid, peab olema üheaegselt kaks temperatuuri: sulamiseks — üle nulli ja külmumiseks — alla nulli.

Nii tõeliselt ongi: lumi sulab katuse nõlval, kus päikesekiired soojendavad teda temperatuurini üle nulli; katuse allajooksnud veetilgad külmuvad aga jääks katuse räästa juures, sest siin on temperatuur alla nulli. (Muidugi me ei räägi siin jääpurikate tekkimisest juhul, kui seda tingib katuse all asetseva köetud ruumi soojus.)

Kujutlege järgmist pilti. Selge ilm; külma kõigest 1—2 kraadi. Päike külvab kõike oma kiirtega üle. Kuid need viltused kiired ei soojenda lund sellisel määral, et see võiks sulama hakata. Aga Päikese poole suunatud katusenõlvale ei lange kiired nii kaldu nagu maapinnale, vaid järsemalt, peaaegu täisnurgi. On teada, et valgustus ja ka soojenemine kiirte mõjul on



Joonis 94. Päikesekiired soojendavad kallakut katust tugevamini kui rõhtsat maapinda (arvud näitavad nurkade suurust).

seda suurem, mida suurem on nurk kiirte ja langemispinna vahel (kiirte mõju on võrdeline selle nurga siinusega; juhul, mis on kujutatud joonisel 94, saab lumi katusel soojust  $2\frac{1}{2}$  korda enam kui niisama suur horisontaalne lumepind, sest  $60^{\circ}$ -se nurga siinus on  $2\frac{1}{2}$  korda suurem kui  $20^{\circ}$ -se nurga oma). Seepärast soojenebki katuse nõlv tugevamini ja lumi võib sellel sulama hakata. Sula vesi jookseb katust mööda alla ja jääb tilkadena katuse räästa külge rippuma. Katuse räästa all aga on temperatuur alla nulli ja jahtudes,

osalt ka aurumise tagajärjel külmub tilk jääks. Külmunud tilgale lisandub teine tilk, mis samuti jääb, siis kolmas jne.; aegamööda tekib väike jääkülm. Teinekord sama-suguse ilmaga need külmud suurenevad; lõpuks on tekkinud jääpurikas, mis kasvab nagu lubjastalaktiit maa-alustes koobastes. Nii tekivadki jääpurikad küünide ja teiste kütmata hoonete katustel.

Sama põhjus kutsub meie silme ees esile veel suurejoonelisemaidki nähtusi: on ju erinevused kliimavöötmetes ja aastaaegades peamiselt tingitud päikesekiirte langemismurruga erinevusest<sup>1</sup>. Päike on meist talvel peaaegu samal kaugusel kui suvel; ta on ühekaugusel poolustest kui ka ekvaatorist (kauguste vahe on nii tühine, et ei oma tähtsust). Kiirte kaldenurk Maa pinna suhtes on aga ekvaatoril suurem kui poolustel; suvel on see nurk suurem kui talvel. See kutsub esile tunduvald erinevusi päeva temperatuuris ja järelikult ka kogu looduse elus.

Selle raamatu eelmiste trükkide üksikud lugejad osutasid sellele, et jääpurikate tekkimist saab lihtsamaltki seletada: lumi, mis vahetult katusega kokku puutub, on ülemiste lumekihtide rõhu all ja seepärast alaneb tema sulamistemperatuur; lumi sulab, aga sula vesi, olles vabanenud suuremast rõhust, külmub uuesti jääks.

---

<sup>1</sup> Kuid mitte täiesti: teine tähtis põhjus seisneb päeva pikkuse erinevuses, s. o. pole võrdsed need ajavahemikud, millede jooksul Päike soojendab Maad. Need mõlemad põhjused on muide tingitud ühest astronoomilisest asjaolust, nimelt Maa telje ja ekliptika (pind, milles Maa tiirleb ümber Päikese) vahelisest nurgast.



Seitsmes peatükk.

## Valguskiired.

### Kinnipüütud varjud.

Oo, varjud, varjud mustad,  
Kellele te järele ei jõua?  
Kellest te ette ei jõua?  
Ainult teid, musti varje,  
ei saa püüda, haarata!

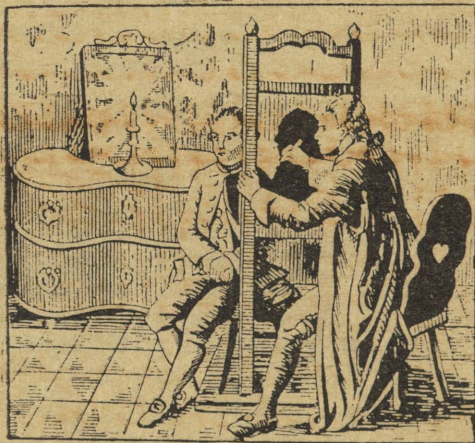
*Nekrassov.*

Meie esiisad, kuigi nad ei osanud oma varje püüda, oskasid neid siiski kasutada: varjude abil joonistati inimestest siluette — varipilte.

Tänu fotograafiale on praegusajal igaühel võimalik saada endast päevapilti või säilitada kallite inimeste näojooni. Kuid XVIII sajandil polnud inimesed nii õnnelikud: portreesid telliti kunstnikelt, need maksid palju ja olid vaid vähestele kättesaadavad. Seepärast olidki väga levinud siluetid, mis asendasid teataval määral praegusaegseid päevapilte. Siluetid on kinnipüütud ja kinnistatud varjud. Neid saadi mehhaanilisel teel ja ses suhtes nad sarnanevad neile vastandlike päevapiltidega.

Meie kasutame valgust, meie esiisad aga kasutasid samaks otstarbeks valguse puudumist — varju.

Kuidas valmistati siluette, selgub jooniselt 95. Pea pöörati nii, et vari andis iseloomustava profiili; selle kujutis piirati pliiatsijoonega. Kontuur kaeti tušiga, lõigati välja, kleebiti valgele paberile ja siluett oligi valmis. Soovi korral vähendati teda erilise riista, pantograafi abil (joon. 96).



Joonis 95. Siluettportreede vanaaegne saamisviis.

Ärge mõtelge, et selline lihtne must joonis ei anna ettekujutust originaali iseloomustavaist joontest. Päril vastupidi, õnnestunud siluetil on mõnikord tähelepanuväärne sarnasus originaaliga.

Varijooniste iseärasus, anda lihtsa kontuuriga originaalile sarnaseid kujutisi, meeldis ka mõningaile kunstnikele, kes hakkasid samas stiilis joonistama terveid stseene, maastikke jm. Siluettide joonistamine lõi aega-

mööda terve koolkonna kunstnikke. Joonisel 97 on kujutatud Schilleri siluett.

Sõna „siluett“ tekkimine on kurioosne: see sõna on tuletatud XVIII sajandi keskpaiga Prantsuse rahaministri Etienne de Silhouette'i nimest. See minister kutsus oma kaaskodanikke üles mõistlikule kokkuhoiule ja tegi etteheiteid Prantsuse aadlile, et see teeb liiga suuri kulutusi piltide ja portreede peale. Variportreede odavus andiski naljahammastele põhjust nimetada neid portreedeks „à la Silhouette“.



Joonis 96. Siluettportree vähendamine.

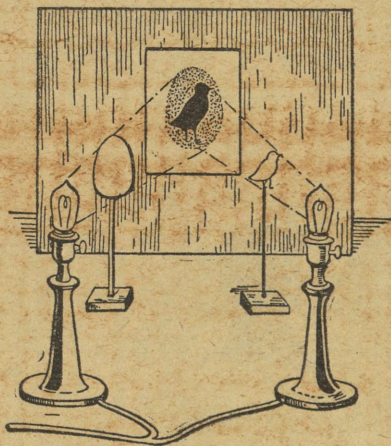


Joonis 97. Schilleri siluett (1790. a.).

Meil leidsid need siluett-kujutised viimasel ajal kasulikku rakendamist teaduslike uurimiste praktikas, nimelt loomade ja inimese elundite vormide muutumise arvestamisel. Paljusid elundeid ei saa nende pehmuse ja õrnuse tõttu harilikul viisil (näiteks varbsirkliga) mõõta. Nõukogude teadlase poolt selleks otstarbeks ehitatud erilise riista (prof. Nemilovi siluetomeeter) mõtte seisnebki selles, et elundite asemel mõõdetakse nende varjude kujutisi.

## Kanapoeg munas.

Varje võite kasutada selleks, et näidata sõpradele huvitavat nalja. Õliga immutatud paberist tehke ekraan; sellise paberiga katke ruudukujuline väljalõige kartongis. Ekraani taha asetage kaks lampi; pealtvaatajad istuvad teisel pool, ekraani ees. Üks lampidest, näiteks pahempoolne, pange põlema.



Joonis 98. Eba-röntgenülesvõte.

Põleva lambi ja ekraani vahele asetage traadi külge kinnitatud ovaalne tükk pappi. (Pahempoolne lamp veel ei põle.) Nüüd andke külalistele teada, et panete käima röntgeniaparadi, millega võib näidata, et munas on... kanapoeg! Ja tõepoolest, hetke pärast muna helendab äärtelt, kuna selle keskel on selgesti nähtav kanapoja siluett (joon. 98).

Kunsttüki lahendus on lihtne: te panete põlema pahempoolse lambi, mille kiirte teel ekraani taga on papist kana-

poja kujund. Osa ovaalist, millele langeb ka „kana-poja“ vari, on valgustatud parempoolse lambi poolt, seepärast ongi „muna“ ääred heledamad kui selle sisemine osa. Vaatajad, kes istuvad teisel pool ekraani ega aima teie toiminguid, eriti veel, kui neil puuduvad teadmised füüsikast ja anatoomiast, võivad tõepoolest arvata, et olete läbi kanamuna lasknud röntgenikiiri.

### Signaal Kuult.

Kes teist on näinud õpetlikku filmi „Kosmiline reis“, see tõenäoliselt mäletab ka episoodi eredast sähvatuses Kuu peal, mis oli tehtud selleks, et signaliseerida Maa astronoomidele esimeste kosmiliste reisijate õnnelikust päralejõudmisest reisu sihtkohta. Paljudel vaatajaist võib siinjuures tekkida kahtlus selle üksikasja usutavuse kohta: kas on mõeldav maapealsete teleskoopidega kinni püüda valgussignaali, mis on saadetud Kuult? Kas pole selleks tarvis ebaloomulikult suurt, täiesti kättesaamatut heledust?

Muidugi, valgusallika tugevus peab siin olema erakordselt suur, aga siiski mitte selline, mis ületaks inimese tehnilised võimed. Selleks piisavad praegusaegse tehnika juba olemasolevad vahendid. Praegusajal on olemas valgustusseadmeid, mis on suutelised andma nii tugevat valgust, et seda võiks näha maapealsetes suurtes teleskoopides, kui need seadmed oleksid Kuul. Chicagos näiteks on püstitatud lennuasjanduse tarviduseks tule torn, mille valgustugevus on 2000 miljonit küünalt.

Võrdluseks mainigem, et valgustugevus tavalisel tule tornil, mille tuli peab olema nähtav väga suurele kaugusele, ei ületa 60 miljonit küünalt. Chicago lennu-

majaka tuli on nähtav kuni 400 km kaugusele. Kui sää-rane majakas asetseks Kuu valgustamata osas, oleks võimalik selle tuld näha Maa observatooriumide suurte teleskoopidega.

Siinjuures pole oluline teleskoobi suurendus, vaid tema objektiiviläbilõikepind, sest selle pinna ja objektiivisse langeva valgusenergia hulga vahel on võrdeline olenevus. Objektiiviläbilõikepind, mis on võrdeline objektiiviläbilõikepinnaga, on valgustuse suhtes isegi kahjulik, kui on tegemist kehaga, millel on nähtav pind: mida suurem on suurendus, seda vähem valgust langeb kujutise pinna ühikule, seda tumedam on kujutis.

Hoopis teisiti on asi, kui vaadeldaval valgusallikal pole nähtavat pinda, kui temale võib vaadata kui punktile; siis on ka kujutis teleskoobis ligikaudu punktitaoline, seega ei näi ta suurendatuna. Punktitaolise kujutise valgustugevus on võrdeline objektiiviläbilõikepinnaga. Nii me näeme teleskoobis tähti, s. o. väga kaugeid valgusallikaid, mida pole võimalik näha palja silmaga. Sama kehtib ka kujutletava Kuult saadud valgussignaali vaatlemisel. Atmosfääri, pilvede ja udu puudumine Kuul ainult kergendab säärast vaatlust.

### Karikatuursed fotod.

Paljud ei tea, et fotoaparaati võib tarvitada ka ilma läätseta (ilma objektiivita), kasutades selle asemel lihtsalt väikest ümmargust ava. Kujutis on sel juhul ainult vähem valgustatud. Sellise objektiivita fotoaparaadi erikuju moodustab pilukaamera, milles väikese ava asemel on kaks teineteist lõikavat pilu. Kaamera eesosas on kaks lauakest; ühes neist on vertikaalne, teises horisontaalne pilu. Kui mõlemad lauakesed on lähestikku teineteise

vastas, siis ei erine saadud kujutis sellest, mille annab ümarguse auguga kaamera, s. t. kujutis pole moonutatud. Hoopis muud me näeme, kui lauakesed asetsevad teineteisest eemal (need tehakse meelega liikuvatena); nüüd on kujutis veidralt moonutatud (joon. 99 ja 100). Saadakse pigem karikatuur kui foto.



Joonis 99. Karikatuurne foto, mis on saadud pilukaamera abil. Kujutis on rõhtsuunas välja venitatud.

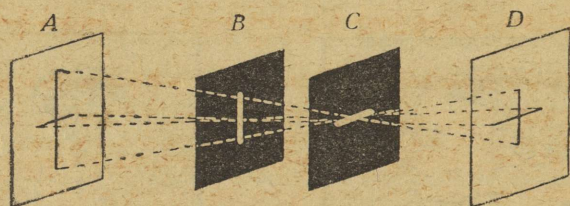


Joonis 100. Püstsuunas välja venitatud karikatuurne foto, mis on saadud pilukaamera abil.

Kuidas seletada säärast moonutamist?

Vaatleme juhtu, kus horisontaalne pilu on vertikaalse pilu ees (joon. 101). Esimest pilu *C* läbivad kiired kujundi *D* (risti) vertikaalsest joonest nii nagu hari-likkugi ava; tagumine pilu ei takista sugugi nende kiirte käiku. Järelikult vertikaalse joone kujutis mattklaasil *A* tekib suuruses, mis vastab klaasi *A* kaugusele lauakesest *C*.

Teisiti aga tekib pilude sama asendi puhul h o r i s o n -  
t a a l s e joone kujutis. Esimest (horisontaalset) pilu läbi-  
vad kiired takistamatult, ristudes mitte varem kui verti-  
kaalses pilus B; seda pilu nad läbivad kui harilikku ava  
ja annavad mattklaasil A kujutise suuruses, mis vastab  
klaasi A kaugusele teisest lauakesest B.



Joonis 101. Mispärast annab pilukaamera moonutatud kujutisi.

Lühidalt öeldes, antud pilude asendi puhul oleks ver-  
tikaalsete joonte jaoks olemas nagu ainult e e s p o o l n e  
pilu; horisontaalsete joonte jaoks, vastupidi, ainult  
t a g u m i n e. Aga et eespoolne pilu on mattklaasist  
k a u g e m a l kui tagumine, siis peavad ka vertikaal-  
sete joonte kujutised mattklaasil olema suuremad kui  
horisontaalsete joonte kujutised: kujutis näib vertikaal-  
suunas väljavenitatuna.

Vastuoksa, pilude vastupidisel asendil peab tekkima  
kujutis, mis on välja venitatud horisontaalsuunas (võrdle  
joon. 99 ja 100).

On arusaadav, et pilude v i l t u s e asendi puhul teki-  
vad vastavalt teist laadi moonutused.

Sellist kaamerat võib kasutada mitte ainult karika-  
tuuride saamiseks, vaid ka tõsisemateks praktilisteks  
ülesanneteks, näiteks selleks, et valmistada arhitektuuri-  
liste kaunistuste variante, vaipade ja tapetite mustreid

jm., üldse, et saada ornamente ja mustreid, mis oleksid soovikohaselt kindlas suunas venitatud või kokku surutud.

### Ülesanne päikesetõusust.

Te panite tähele, et Päike tõusis täpselt kell 5. On teada, et valgus ei levi silmapilkselt: valguskiirte levimiseks valgusallikast vaateleja silmani kulub aega. Seepärast võib siis küsida: millal te oleksite Päikese tõusu täheldanud, kui valgus oleks levinud silmapilkselt?

Valgus läbib kauguse Päikesest Maani 8 minutiga. Näiks nagu, et valguse silmapilksel levimise puhul oleksite pidanud nägema Päikese tõusu 8 minutit varem, seega kell 4 52 minutit.

Paljudele on vist täielikuks ootamatuseks, et see vastus on täiesti vale. Päike „tõuseb“ seepärast, et meie maakera pöörab oma pinna uusi kohti juba valgustatud ruumi. Seepärast siis ka valguse silmapilksel levimisel oleksite Päikese tõusu tähele pannud samal hetkel, s. o. kell 5\*.

---

\* Kui arvesse võtta nn. astronoomilist refraktsiooni, on tulemus veelgi ootamatum. Refraktsiooni tõttu valguskiired kõverduvad õhus ja Päikese tõusu on seetõttu võimalik näha enne tema geomeetrilist ilmumist üle horisondi. Silmapilksel valguse levimisel aga refraktsiooni ei ole, sest valguse murdumine on tingitud valguse erinevast kiirusest õhu eri kihtides. Tähendab, refraktsiooni puudumisel näeks vaateleja Päikese tõusu veidi hiljem kui valguse mittedilmapilksel levimisel. See vahe, olenedes vaatluskoha geograafilisest laius-est, õhu temperatuurist ja veel teistest teguritest, võib ulatuda kahest minutist paari või veel enama ööpäevani (polaarmaades). Tekib huvitav paradoks: silmapilksel valguse levimisel me näeksime Päikese tõusu hiljem kui mittedilmapilksel levimisel! Edasist arendamist leiab see ülesanne raamatus „Kas tunnete füüsikat?“.

## Valguse kiirus.

Valgus levib kiirusega 300 000 km sekundis. Seda fakti teab igaüks, kes tunneb füüsika algmeid. Kuid ainult vähesed aimavad, milliseid hämmastavaid, peaaegu imetaolisi järeldusi võib teha sellest lihtsast faktist. Kuulus prantsuse astronoom C. Flammarion (nüüd surnud) esitab oma jutustuses „Lõpmatuse lainetel“ need huvitavad järeldused kellegi teadlase Querence'i ja tema õpetaja Lumen'i (surnud 1864. a.) kujutletava „vaimu“ vahelise vestluse kujul. „Vaim“ räägib õpilasele oma rändamistest maailmaruumis. Selle vestluse esitamegi järgnevalt lühendatud väljavõttes<sup>1</sup>.

### „Lõpmatuse lainetel“.

C. Flammarion.

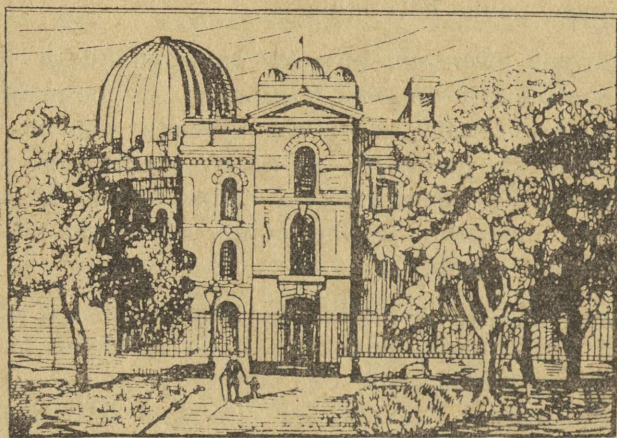
#### 1. Mineviku pealtnägija.

Lumen: „Ei oska seletada, milline jõud pani mind kihutama kättesaamatu kiirusega taevaruumis. Varsti ma märkasin, et lähenen suurepärasele Päikesele, mis säras puhta heleda valgusega. Päike oli ümbritsetud hulgast planeetidest, milledest igaühel oli üks või mitu rõngast. Sellesama salapärase jõu mõjul sattusin ühele neist rõngaist.

---

<sup>1</sup> Katkendite pealkirjad on minult. Teose täpne pealkiri on „Jutustused lõpmatusest“. See on kirjutatud 1872. a.

Ma juhtisin oma tähelepanu pisikesele Maale, mille kõrval tundsin ära Kuu. Varsti silmasin ma põhjanaba valget lund, Aafrika kollast kolmnurka, ookeani üldisi piirjooni. Siis paistis mulle silma sinise ookeani kaldal tumepruun etteulatuv mandriosa. Edasisel tähelepanelikul vaatlemisel nägin selle keskel linna. Vaevata tund-



Joonis 102.

sin selles mandritükis ära Prantsusmaa, kuna nähtavaks linnaks oli Pariis. Kogu see pilt oli valgustatud eredast Päikesest, kuid minu suureks imestuseks olid künkad kaetud lumega nagu jaanuaris, kuigi ma lahkusin Maalt oktoobris.

Ma peatasin oma pilgu observatooriumil. Milline aga oli minu imestus, kui teravalt vaadates nägin, et observatooriumi juurde viivat puiesteed enam polnud ja selle asemel olid mingisugused aiakesed! Jätkates vaatlusi veendusin ma üha enam selles, et Pariis on tugevasti

muutunud. Siiski paistis mulle, et kvartalid, tänavad ja hooned olid sellised, nagu nad olid minu nooruses. Peagi veendusin täiesti, et näen mitte uut Pariisi, vaid niisugust, nagu ta oli XVIII sajandi lõpul.

Pingutatud tähelepanuga jätkasin oma vaatlusi. Concordia platsil nägin tapalava, mida piiras sünge väesalk. Vanker, mille veomes oli rõivastatud punasesse, oli ära viimas Louis XVI laipa.

Mulle oli äärmiselt huvitav oma silmadega jälgida 1793. aasta suurt draamat, millest nii palju on kirjutatud ajaloos. Ilmsus, et minu silmade ees on Pariis 1793. aasta 21. jaanuaril, oli niivõrd tuntav, et polnud tarvidust selles enam kahelda. Olles selles veendunud, pöördusin otsekohe füüsika poole, et sellele mõistatusele seletust saada.

Kõigepealt tegin kindlaks Maa asukoha. Need andmed lubasid mul kindlaks teha tähe, mille süsteemis ma asusin. Selleks täheks võis olla ainult Veomehe tähtkuju täht alfa, nimega Kapella. Ma olin ühel selle tähe süsteemi kuuluval planeedil. Mulle meenus selle tähe kaugus Maast; teades kaugust pole raske arvutada, kui palju kulub valgusel aega selle läbimiseks: valguskiir, lähtudes Kapellalt, jõuab Maani 71 aasta, 8 kuu ja 24 päeva pärast. On arusaadav, et ka kiir, lähtudes Maalt, jõuab sama aja pärast Kapellani."

Querence: „Kui aga valgus sellelt tähelt tarvitab 72 aastat, et meie juurde jõuda, kas siis ka meie näeme seda tähte sellisena, nagu ta oli 72 aastat tagasi?“

Lumen: „Te olete minust õigesti aru saanud. Uhtki taevakeha ei näe me sellisena, nagu see on praegu. Me näeme taeva mineviku-, mitte aga olevikupilti. Kui

meie poolt nähtavad taevakehad mingi katastroofi tagajärjel hävivad, näeme me neid siiski veel paljude, isegi sadade aastate jooksul.

On kerge seda teooriat rakendada selle imeliku nähtuse seletamiseks, mille pealtnägijaks ma olin. Kui maalt vaadatuna Kapella paistab sellisena, nagu ta oli 72 aastat tagasi, siis ka Kapellal paistab Maa seisundis, milles ta oli 72 aastat tagasi. Muidugi näib võimalus, olla ammumöödunud aegade sündmuste pealtnägijaks, esimesel pilgul ebatõenäolisena. Aga kõik see siiski ei jäta niisugust rõhuvat muljet kui see, millest kohe räägin."

## 2. Aastakümned kestavad üks tund.

Lumen: „Selja pööranud platsil toimuvaile sündmustele, tundsin, et minu tähelepanu suundub vaistlikult vanas stiilis ehitatud majale. Selle maja kõrvalukse juures märkasin viiest inimesest koosnevat salka. Nende seast tundsin ära oma isa, kuid sellisena, nagu ma teda kunagi polnud näinud; samuti tundsin ära ema ja ühe oma lallepoegadest, kes suri aastat nelikümmend tagasi. Ma ei suuda kirjeldada, kuivõrd imestunud ma olin. Silmade ees läks nagu segaseks ja ma ei suutnud enam asju eraldada. Esimesel hetkel paistis, nagu oleksin sattunud mingisse keerisesse. Kui hakkasin uuesti esemeid selgelt eraldama, nägin salka lapsi, kes jooksid Panthéoni platsil, vist tülles koolist, sest neil olid raamatud ja vihikud kaasas. Kaks neist näisid olevat ägedas vaidluses, mis ähvardas lõppeda kaklusega. Kolmas lähenes tülitsejaile, et neid vaigistada, kuid ta lükati nii tugevasti eemale, et kukkus maha. Mahakukkunud lapse juurde jooksis naisterahvas. See oli minu ema.

Oma seitsmekümneaastases elus olen kokku puutunud paljude ootamatustega, aga kunagi pole ma tundnud niisugust erutust nagu siis, kui selles lapses tundsin ära iseenda!"



Joonis 103.

Q u e r e n c e: „Kuidas! Iseenda!"

L u m e n: „Võite endale kujutleda, kuidas olin imes-  
tunud! Olin korraga kahes kujus: seal, Maa peal, ja  
siin, taevaruumis... Järjestikku möödusid minu ees kõik  
aastad, mis olin veetnud Pariisis. Ma nägin, kuidas astu-  
sin ülikooli, nägin ennast Polütehnilise Kooli lõpueksa-  
meil. Nii möödus minu ees aasta aasta järel. Nägin  
ennast oma pulmas, reisudel, teaduslikel töödel jne.  
Koos sellega viibisin ka uuema ajaloo järjestikusel pil-  
tide vahetusel."

Q u e r e n c e: „Kas need sündmused siis möödusid  
teie silmade ees nii kiiresti?"

L u m e n: „See panoraam nähtavasti vilksatas minust  
mööda ööpäevast lühema aja jooksul."

Querence: „Ometi, kui te nägite enda ees möödumas 72 aastat oma elust, siis pidite selle peale kulutama ka 72 aastat, aga mitte paar tundi?“

Lumen: „Kohe seletan, mispärast mul polnud tarvis veel oodata 72 aastat, et näha oma möödunud elu.

Jätkates oma elu jälgimist jõudsin selle viimaste aastateni. Nägin sõpru, kellega mul oli viimasel ajal kokku puuteid, nende hulgas ka teid; nägin oma tütart, tema lapsi, oma perekonda, kogu oma tuttavate ringi. Lõpuks tuli minut, mil nägin ennast surivoodil, ja olin oma surma pealtnägijaks... Osutus, et ametis olles vaatlemisega olin lahkunud Kapellalt ja liikusin suure kiirusega Maa poole. Ma jõudsin tagasi Maa peale ja pääsesin oma tuppä hetkel, kui asuti mind matma. Et sellel tagasireisul liikusin valguskiirtele vastu, siis vahemaa minu ja Maa vahel üha vähenes. Maalt lähtunud valguskiirte tuli järjest väiksemaid teid läbida ja seetõttu ajavahemikud järjestikuliste sündmuste vahel üha lühenedid.

Kuid sissepääs surnukambrisse oli kivimürakaga suletud, Päike oli juba kustumas purpurkuldsetes kiirtes. Ma nägin jälle Kapellat säravat puhtas eredas kiirguses. Jälle vajus Maa unustusse ja ma sattusin meelitava Kapella ahvatluse. Suundusin tema poole kiirusega, mis tunduvalt ületas valguse kiiruse.

### 3. Maa ilma ajaloo tagasikäik.

Mõne aja pärast tekkis mul jälle tahtmine vaadata Maa peale. Tähelepanelikult uurides märkasin poolsaart, mis hallika kolmnurgana tungis Musta merre. Selle poolsaare läänepoolsel kaldal oli sõjavägi, mille koosseisu

kuulusid minu maapealsed vennad, kes raevuka ägedusega vastastikku üksteist hävitasid. Ma hakkasin mõtisklema barbaarse sõdimiskombe üle ja meenutasin kurbusega, et siin, Krimmis, oli langenud 800 000 inimest... Siis katsid pilved Euroopa minu pilkude eest.

Asusin ruumis Kapella ja Maa vahel. Veidi hiljem vaatasin Pariisi ja olin väga imestunud, nähes selle tänavatel ülestõusu. Tähelepanelikumalt üksikasju uurides märkasin linna tänavatele ehitatud barrikaade. Minu ees olid 1848. aasta juulipäevad! Asjatult püüdis mu mõistus aru saada, kuidas võis juhtuda, et pärast 1854. aasta sündmusi nägin sündmusi aastast 1848.

Veel veidi hiljem nägin ma Pariisi päeval, mil toimus pidulik sündmus. Paks punapõskne kuningas sõitis suurepärasel tõllas üle Uue silla. Valgesse rietatud neiu seisis silla jalgteedel. See oli ilmselt Bourbon'ide tagasitulek Prantsusmaale.

Ma mõistsin, et on võimalik näha ammu möödunud sündmusi, kuid näha sündmusi tagurpidises järjestuses paistis mulle juba liiga fantastilisena. Ma otsustasin, et minu ees pole mitte Maa, vaid mõni teine, sellega sarnane taevakeha, mille ajalugu kulges just vastupidises järjestuses.

Planeedi üldine ilme sel ajal oli tunduvalt muutunud. Pariis, Lyon ja Le Havre olid erakordselt muutunud ja palju vähenenud. Versailles seevastu aga oli oma hiilguse tipul. Minu silmade ees, kordan, arenes Prantsusmaa ajalugu, kuigi sündmustele tagurpidises järjekorras. Pärast vabariiki tuli isevalitsus, selle järel feodalismiajajärk. Bastille' terrassil nägin Louis XI-ndat. Veidi hiljem, vaadates Rouen'i platsile, nägin leeke, mis neelasid Orléans'i neitsi.

Pärast seda kui mul tuli olla seitsmenda risticõja tunnistajaks, nägin kolmandat risticõda; siin tundsin Friedrich Barbarossa ära tema habemest. Siis viibisin esimeses risticõjas. Niiviisi olin Prantsusmaa ajaloo vanimate aegade sündmuste pealtnägijaks. Pariisi polnud enam ja Seine'i veed voolasid rahulikult kallaste vahel, kus kasvas rohtu ja pajusid.



Joonis 104.

Tsivilisatsiooni keskkohk nihkus lõunasse. Ma nägin keisriteaegset Roomat kogu tema hiilguses. Hiljem tuli mul olla tunnistajaks grandioosel Vesuuvi purskel, mis mattis Herculaneumi ja Pompeji.

Veidi hiljem silmasin tuleriidal Julius Caesari laipa. Pärast Caesari aegu kerkis mu silmade ette konsulite aeg, siis Laatsium. Ma nägin, kuidas Egiptuse orjade hulgad ehtasid püramiide. Gallia (praegune Prantsusmaa) oli tihedalt kaetud lausa soodega ja selle elanikud sarnanesid väga nende metslastega, kes asustavad Okeania saari. Minu ees oli kiviaeg...

Veel hiljem panin tähele, et võim looduse üle läheb mingi suurte ahvide tõu, karude, lõvide, hüäänide ja ninasarvikute kätte. Lõppeks tuli aeg, mil ma mitte ainult et ei näinud maapinnal ühtki inimest, vaid puudusid ka igasugused jäljed inimsoo olemasolust selle taevakeha pinnal. Planeet sarnanes hiiglasuure vedelast metallist keraga, mis oli ümbritsetud metallide aurudega. Päike, mis varem valgustas Maad, ei ületanud teda enam oma säraga ja paistis, et ta hakkas mahult suurenema. Mulle sai selgeks, et planeet kaotab oma olemasolu, sulades kokku Päikese atmosfääriga.

Olla maailma lõpu tunnistajaks ei õnnestu igapähele. See mõte viis mind sellisesse ekstaasi, et ma ei saanud hoiduda hüüdest:

„Näe, siin ongi see maailma lõpp!“

„See pole maakera lõpp,“ ütles mingi sisemine hääl, „vaid algus. Uha kaugenedes sellest planeedist kiirusega, mis on suurem valguse omast, sa nägid tervet Maa ajalugu...“

See teadmine ei avaldanud minusse enam hämmastavat mõju. Mõned sündmuste üksikasjad panid mind juba varem arvama midagi taolist.

#### 4. Lahing algab lõpust.

Võtan näiteks Waterloo lahingu. Kohe, kui mul õnnestus üles leida lahinguväli, nägin hunnikuid maas lamavaid laipu, surma kurjaennustavat lõikust. Udus nägin Napoleoni, kes päitseidpidi hobust vedades lähenes lahinguväljale, liikudes seejuures tagurpidi. Teda saatvad ohvitserid taandusid samasugusel viisil. Üksikud suurükid avasid juba tule. Tutvunud lahingukohaga, panin ma tähele, et surnud sõdurid hakkasid elustuma ja tõusid südilt jalule. Sõdureid tõusis üles tervete ridade

kaupa, ja varsti oli nende arv üsna tähelepanuväärne. Surnud hobused järgisid inimeste eeskuju ja ülestõusnud ratsudele ilmusid ratsanikud. Kui kaks või kolm tuhat sõdurit oli ellu tagasi tulnud, asetused nad kohe korrapärastesse ridadesse. Mõlemad vaenulikud armeed tungisid teineteise kallale ja algas metsik lahing. Kui lahing oli alanud, hakkasid sõdurid mõlemal pool surnuist üles tõusma.



Joonis 105.

Prantslased, inglased, preislased, sakslased, hannoverlased, belglased — hallid sinelid, sinised, punased, rohelised, valged mundrid — tõusevad surmaväljalt üles ja hakkavad samuti heitlema.

Kõige imelikum oli see, et mida vihasemalt ja julmemalt lahingut löödi, seda suuremaks läks võitlejate arv. Iga õnnestunud suurtükilask virgutab otsekohe üles terve hunniku laipu ja ülestõusnud asetused jalamaid rivisse. Mõlemad vaenulikud armeed hävitasid teineteist kogu päeva kartetšidega, mürskudega, granaatidega, kuulidega, täakidega, püssipäradega, mõõkadega, aga siis, kui lahing oli lõppenud, ei olnud ei ühel ega ka teisel poolel ühtki surnut ega haavatut. Katkikistud mund-

rid korraldusid iseenesest ja sõjaväed rivistusid kolon-  
nidesse. Seejärel mõlemad armeed aegamööda kaugene-  
sid teineteisest."

## 5. Ules mööda aegade voolu.

Querence: „Ma ei saa sellest nähtusest aru ja  
oleksin teile väga tänulik, kui te seda mulle seletaksite.“

Lumen: „Te oleksite pidanud seda ise taipama, sest  
teil on teada, et ma liikusin Maast eemale kiirusega, mis  
oli suurem valguse kiirusest.

Kujutlege algul, et te liigute Maast eemale kiirusega,  
mis on võrdne valguse kiirusega; siis on alaliselt teie  
silmade ees Maa niisugusel kujul, nagu ta oli teie lah-  
kumise hetkel. Kui te reisiksite sellise kiirusega tuhan-  
deid ja isegi sadu tuhandeid aastaid, saadaks teid kogu  
aeg üks ja seesama Maa kujutis; seda võib võrrelda  
päevapildiga, mis ei muutu, kuna originaal on vahepeal  
ammugi muutunud ja vananenud.

Nüüd aga oletage, et eemaldute Maast kiirusega, mis  
ületab valguse kiiruse. Mis toimub nüüd? Te jõuate  
järele nendele valguskiirtele, mis enne teid Maalt  
lahkusid, s. o. te näete iga sekund ruumis edasilendavaid  
kujutisi neist sündmustest, mis toimusid Maal enne teie  
lahkumist. Liikudes kiiremini kui valgus te kohtute oma  
teel kiirtega, mis lahkusid Maalt eelnenud aastail ja  
kannavad kaasas nii-öelda päevapiltlikke kujutisi neile  
vastavate aastate sündmustest.

Rännates maailmaruumis valguse kiirust ületava kii-  
rusega näete järjest vanemate aegade sündmusi. Järeli-  
kult võite liikuda üles mööda aegade voolu.“

## Kas on see nii?

Me lõpetasime katkendid Flammarion'i jutustusest, mis käsitleb järeldusi, kui valguse kiirus pole suuri- maks kiiruseks. Jutustus oli kirjutatud ajal, kui veel ei teatud, et suurim kiirus looduses on valguse kiirus ja et väga suurte kiiruste liitmine toimub teisiti kui tava- liste kiiruste liitmine. Eirelatiivsusteooria nimelt kinni- tab, et oletus valguse kiirust ületavatest kiirustest on loodusseadustega vastuolus. Muidugi, ka Flammarion'i kangelase kohta peavad kehtima füüsikaseadused.

Prantsuse astronoomi arutlustes on ka teisi eksimusi. Kordame lühidalt Flammarion'i väiteid.

1) Suurelt kauguselt on võimalik näha neid maapeal- seid sündmusi, mis toimusid enne vaatlushetke.

2) Eemaldumisel Maast kiirusega, mis v õ r d u b val- guse kiirusega, paistavad maapealsed sündmused paigal- seisvatena.

3) Eemaldudes Maast kiirusega, mis on suurem val- guse kiirusest, võib näha maapealseid sündmusi vastu- pidises järjestuses.

Võtame arutlusele iga väite eraldi.

1) Esimene väide polnud Camille Flammarion'i ajal vale. Praegusajal aga, kus eitatakse liikumist, mis võiks kiirem olla valgusest, ei pea see väide enam paika. On tingimata õige, et teatavalt kaugustelt on võimalik näha sündmusi, mis toimusid Maa peal juba ammu. Aga et neid sündmusi võiks näha M a a elanik, peab ta jõudma vaatluskohale enne valgust: vastasel korral jõuavad vastavad kiired juba sellest kohast mööda. Aga nagu õpetab relatiivsusteooria, pole võimalik valgusest kiire- mini liikuda, seega temale järele jõuda. Tähendab, M a a vaatleja ei saa kunagi olla möödunud

maapealsete sündmuste pealtvaata-  
jaks. Neid võiks muidugi vaadelda Kapella või mõne  
teise tähesüsteemi kohalik elanik, aga et tal puudub  
ettekujutus meie olevikust, siis ei näi ka tema poolt  
nähtud sündmused talle minevikuna.

2) Teine väide on vale, isegi siis, kui oleks olnud või-  
malik liikumine valguse kiirusega. Kui valgus ja vaat-  
leja liiguvad ühesuuruse kiirusega, siis on nad teine-  
teise suhtes paigal. Niisugustel tingimustel pole vaat-  
lejal võimalik valguskiiri tajuda. Kujutleme lendurit, kes  
eemaldub kuulipildujast kuuli kiirusega; kas võib teda  
mõni kuul tabada? Muidugi mitte. Kui ta liiguks kinniste  
silmadega, siis ta ei teaksi, et ta liigub kuulide vahel.

3) Kolmas väide on samuti vale, ka siis, kui oleks  
võimalik kiirus, mis on suurem valguse omast. Ainult  
peatuste momentidel oleks Lumen näinud pilte  
üksteise järel sellest, mis toimub Maa peal. Aga liiku-  
des pidevalt poleks ta näinud mitte midagi, vähemalt  
mitte sellelt poolelt, kus asetseb Maa. Ta oleks võinud  
Maad näha — kui imelik see ka ei ole — ainult vastas-  
poolset küljelt!

Selle ootamatu järelduse selgitamiseks vaadeldgem  
järgmist lihtsat näidet. Oletame, et kahur laseb igas  
sekundis välja ühe mürsu ja need mürsud lendavad  
jääva kiirusega üha kaugemale. Siis liiguvad mürsud  
teatavat sirget mööda vahetpidamata ühesugusel kaugu-  
sel üksteisest. Nüüd oletame, et ka teie liigute seda sir-  
get mööda kiirusega, mis on suurem mürskude omast.  
Kas võivad nüüd need mürsud teid tabada tagant,  
s. t. kahuri poolt? Ei, nad võivad teid tabada eest või,  
veel õigem, lendate neile otsa, algul kohates neid, mis  
lahkusid kahurist hiljuti, pärast aga neid, mis olid kahu-  
rist lahkunud varem. Kui te nüüd ei tea, kus asetseb

kahur, ega taju ka oma liikumist, siis paistab teile, et mürsud lendavad teie pihta eest, ja te arvate, et ka mürske väljalaskev kahur on kuskil teie ees.

Asendage nüüd mürsud valguslainetega ja iseennast Lumen'iga ning teile on selge, et mainitud tingimustel ei võinud Lumen näha Maad mitte sealtpoolt, kus see oli, vaid otse vastupidises suunas. Maapealsed sündmused oleksid temale paistnud mitte ainult tagurpidises järjestuses, vaid ka sugugi mitte sealt, kust ta neid lootis näha <sup>1</sup>.

Peale kõike öeldut tuleb veel märkida, et Flammarion pole arvesse võtnud nn. Doppleri nähtust: vaatleja, kes eemaldub valgusallikast, näeb spektrivärvusi muudetuna, sest silma sattuvate võngete sagedus väheneb. Kui näiteks vaatleja liiguks kiirusega, mis on  $\frac{1}{3}$  valguse kiirusest, siis näeks ta rohelise värvuse asemel tume-punast, kuna kollased, oranžid ja punased kiired muutuksid inimsilmadele mittenähtavaiks infrapunasteks kiirteks. Järelikult oleks Flammarion'i vaatleja võinud õigeid värvusi näha vaid oma liikumise peatustel.

### Mööda maailmaruumi.

Rääkides reisudest maailmaruumis on huvitav juhtida tähelepanu veel ühele teisele, vähem tuntud valguse omadusele, mis samuti on andnud üksikuile tuulispeadele lootust teostada reisusid maailmaruumis. Ma räägin nimelt valguse rõhumisest.

„Kui me vaatleme,“ kirjutab inglise füüsik prof. Poynting oma raamatus „Valgusrõhk“, „tammi puruks-

---

<sup>1</sup> Eksimused, mis on märgitud punktides 2 ja 3, on nii silmapaistvad, et juba õpilasena juhtisin neile Flammarion'i jutustuse tõlkija astronoomi tähelepanu; veidi hiljem kirjutasin neist ka autorile endale.

uhtmist tormi ajal, siis saab meile selgeks, et merelained avaldavad rõhumist kaldale, mille vastu nad peksavad. Kuid raske on uskuda, et ka mikroskoopilised valguslained võivad rõhumist avaldada igale kehale, millele nad langevad, et põlev lamp näiteks saadab endast laineid, mis avaldavad rõhumist valgusallikale endale, aga ka pinnale, mida nad valgustavad. Pealegi on nüüd kindlasti teada, et valgus avaldab selletaolist rõhumist."

Ja tõesti, selle rõhumise avastas katseliselt vene füüsik P. N. Lebedev 1901. aastal.

Ruttan lisama, et see rõhk on kaduv-väike. Päikese kiired avaldavad maapinna ühele ruutmeetrile rõhku pool milligrammi ehk pool kilogrammi ühele ruutkilomeetrile. Kogu Päikese poole pööratud maakera küljele on see rõhumine 60 tuhat tonni. See arv paistab meile muidugi väga suurena, aga selle tähendus kaotab meie silmis palju, kui meenutada, et see on vähem sellest tungist, millega Päike Maad külge tõmbab, 60 miljonit miljonit korda! Õieti öelda võrdub see rõhumine ju „ainult“ tuhande veduri raskusega.

Väikeste kehade puhul on valgusrõhu suhe külgetõmbetungiga suurem kui kogu Maa kohta. See on ka arusaadav, sest valgusrõhk on võrdeline keha pinnaga, külgetõmbetung aga keha massiga, seega ka ruumalaga. Kui maakera läbimõõtu vähendada kaks korda, siis tema ruumala, järelikult ka mass väheneks 8 korda, kuna pind väheneks ainult 4 korda; seetõttu külgetõmbetung väheneks 8 korda, valguse rõhumine aga ainult 4 korda.

Siit saame huvitava järelduse. Et kera läbimõõdu vähenemisel Päikese kiirte tõuketung väheneb aeglasmalt kui külgetõmbetung, siis on ju selge, et teatava

küllaldaselt väikese keha puhul peavad need tungid olema võrdsed. Arvutused näitavad, et mikroskoopiliselt pisike veetilk (või mõne teise aine osake, mille tihedus võrdub vee tihedusega), mille diameeter on väiksem kui üks tuhandik millimeetrit ja mis asetseb Maa kaugusel Päikesest, tunneb rõhumist Päikeselt, mis on võrdne külgetõmbetungiga. Teiste sõnadega: niisugust tilgakest Päike nagu ei tõmbakski külge. Veel väiksemate tilkade puhul valgusrõhk juba ületab Päikese külgetõmbetungi, s. t. selline tilgake tõukub Päikesest eemale. Valgusrõhu ja Päikese külgetõmbetungi vahe on küll kaduv-väike, aga ka tilk on oma massilt väga väike.

Pole imestada, et valguskiired võivad anda sellisele tilgakesele kiiruse, mis võrdub sadade ja isegi tuhandete kilomeetritega sekundis.

Nüüd ei paista meile enam võõrastavana, et ka väiksemad bakterid ja eriti nende eosed, tõusnud kuni atmosfääri ülemise piirini, võiksid meie planeedilt lahkuda ja rännata maailmaruumi lõpmatusse tohtu suure, üha kasvava kiirusega tuhandeid kilomeetreid sekundis. Rootsi teadlane Svante Arrhenius oletas, et sellisel viisil võivad elu eod rännata planeedilt planeedile...

Mainitud kiirus on küllaldane selleks, et ületada Maa külgetõmbetungi. Me teame, et kehad juba kiirusega 11 km sekundis peavad Maakera pinnalt lahkuma.

Kui teil on elavat fantaasiat, siis võis nende ridade lugemisel tekkida mõte: kas ka inimene ei saaks kasutada seda viisi planeetidevaheliseks reisuks? Ei! Sest et siis tuleks ehitada mürsk, mille pinna ja massi suhe oleks niisama soodne, nagu see on kõige pisemate bakterite puhul.

Tehniliselt on see täiesti teostamatu, ja mõte valgus-  
rõhku kasutades rännata maailmaruumis (nagu seda  
väljendavad kirjanikud) on realiseerimatu unistus<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Selle idee arutus leidub minu raamatus „Planeetidevahelised  
reisud”.

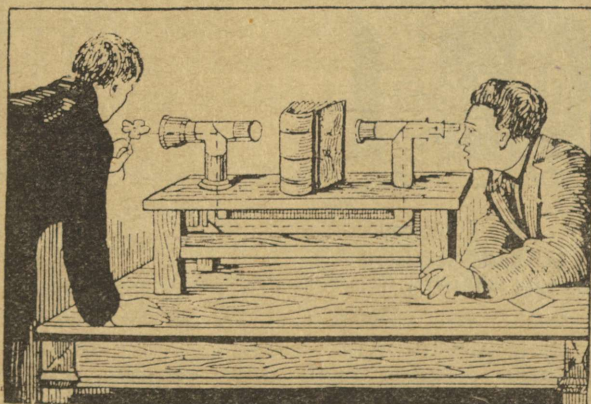


Kaheksas peatükk.

## Valguse peegeldumine ja murdumine.

### Nägemine läbi seinte.

Ma ei tea, kas on veel praegu müügil üks huvitav torukujuline riist, mida eelmise sajandi üheksakümnendail aastail müütati kõlava nimetuse all „röntgeniapaaraat“. Mäletan, kuidas olin hämmastunud, kui esmakordselt, veel õpilasena, selle teravmeelse riistakese kätte võtsin: toru andis võimaluse näha tõesti läbi läbi-

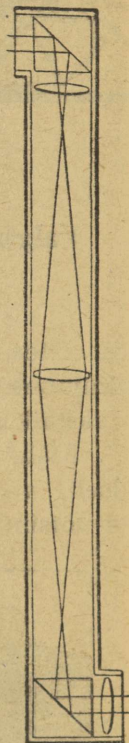


Joonis 106. Eba-röntgeniapaaraat.

paistmatute kehade! Ma nägin ümbritsevaid kehi mitte ainult läbi paksu paberi, vaid ka läbi noatera, millest ei tungi läbi isegi tõelised röntgenikiired. Selle mänguasja



Joonis 107. Periskoop, mida tarvitasid sakslased sõjas 1914.—1918. a.



Joonis 108. Allveepaadi periskoobi skeem.

ehituse lihtne saladus saab teile selgeks, kui heidate pilgu joonisele 106, kus on kujutatud kirjeldatava riista algkuju. Neli peeglikest, kallutatud 45<sup>o</sup>-se nurga all, pee-

geldavad kiiri mitu korda, viies neid nii-öelda ümber läbipaistmatu keha.

Huvitava Teaduse Paviljonis, mis minu plaani järgi ehitati Jelagini saarel Leningradis, oli välja pandud ka see vanamoodne riist. Suure imestusega vaatasid külalised ümbritsevat rohelist läbi oma peopesa, seejuures kaugeltki mitte kõik ei suutnud iseseisvalt otsustada, milles asi seisneb.

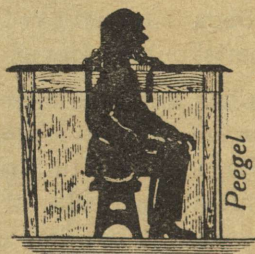
Sõjaväes leiavad taolised riistad laia tarvitamist. Istudes kaevikus võib jälgida vaenlast, ilma et oleks vaja pead üle kaeviku ääre tõsta ja järelikult vaenlase tule alla asetuda. Seda saavutatakse tarvitades riista, mida nimetatakse periskoobiks (joon. 107).

Mida pikem on kiirte käik periskoobis, seda väiksem on nägemisväli, mis on nähtav riistas. Selleks et suurendada nägemisvälja, võetakse tarvitusele optiliste läätsete süsteem. Seejuures aga neelavad läätсед osa periskoopi langenud valgusest ja seetõttu esemete nähtavuse selgus väheneb. Oeldu seab teatavad piirid periskoobi kõrgusele: kakskümmend meetrit on periskoobi kõrgusele juba peaaegu piiriks; pikemad periskoobid annavad liiga väikese nägemisvälja ja ebaselge kujutise, eriti uduse ilmaga.

Allveepaadi kapten jälgib rünnatavat laeva samuti periskoobi, s. o. pika toru abil, mille ots ulatub veest välja. Need periskoobid on oma ehituselt palju keerukamad kuivamaa omadest, põhiolu on aga sama: kiired peegelduvad peeglis (või prisma), mis asetseb veest väljaulatavas osas, lähevad toru mööda alla, peegelduvad teiskordselt peeglis periskoobi alumises osas ja satuvad lõpuks vaatleja silma (joon. 108).

## Rääkiv maharaiutud pea.

Seda imet näidati sageli provintsilinnades rändavais „muuseumides“ ja „panoptikumides“. 1935. aastal lavastati selline trikk ka Leningradi teatris „Music-Hall“. Võhikule mõjub see lausa jahmatama panevalt: teie ees on väike laud taldrikuga, taldrikul aga lebab... elav inimese pea; see pea liigutab silmi, räägib, sööb. Paistab, et laua alla pole keha kuhugi peita. Kuigi laua juurde minna ei saa — teid eraldab lauast tõke —, näete selgesti, et laua all midagi pole.



Joonis 109. „Maharaiutud“ pea saladus.

Kui teil tuleb kord sellise „ime“ tunnistajaks olla, katsuge visata tükk kokkukärgardatud paberit laua alla. Mõistatus laheneb otsekohe: paber põrkab tagasi... peegilt! Kui paber ei jõuagi lauani, tõestab ta siiski peegli olemasolu, sest peeglis ilmub selle kujutis (joon. 109).

Selleks et kaugemalt vaadates lauaalune ruum näiks tühjana, piisab, kui laua jalgade vahele asetada peegleid — endastmõistetavalt ainult sel korral, kui peeglis ei peegeldu toa sisustis ega pealtvaatjad. Seepärast peabki tuba olema tühi, seinad täiesti ühesugused,

põrand värvitud ühetaoliselt, mustriteta, ja publik peeglist küllaltki kaugel.

Saladus on naeruväärsuseni lihtne, aga seni, kui ei teata, milles asi seisneb, paneb lausa pead murdma.

Mõnikord lavastatakse see trikk veel efektsemalt. Taskukunstnik näitab teile tühja lauda, selle all ega peal pole midagi. Seejärel tuuakse lava tagant kinnine kast, milles pidavat olema „elav pea ilma kehata“ (tegelikult on aga kast tühi). Taskukunstnik asetab selle kasti lauale, lükkab tagasi kasti eespoolse külje — ja imestunud publikule esitatakse rääkiv inimese pea. Lugeja arvatavasti juba aimab, et laua plaadis on suletav avaus, mille läbi laua all istuv peeglitega varjatud inimene pistab oma pea, kui lauale asetatakse põhjata kast. Seda trikki lavastatakse ka teisiti; kõiki variante me loetlema ei hakka: neid nähes lahendab lugeja need ise.

### Kas ees või taga?

Kodus majapidamises on palju esemeid, mida paljud ei käitle otstarbekalt. Juba varem me tähendasime, et mõned ei oska kasutada jääd jahutamiseks: selle asemel et panna jahutatavad joogid j ä ä a l l a, pannakse need jää peale. Osutub, et ka tavalist peeglit ei oska kõik kasutada. Et ennast paremini peeglis näha, pannakse lamp tihtilugu enda t a h a, vist selleks, et „valgustada oma kujutist“, selle asemel et valgustada ennast!

Nii toimib sajust naisest üheksakümmend üheksa. Meie lugeja on kahtlemata see sajas, kes taipab asetada lambi enda e t t e.

## Kas peeglit on näha?

Veel üks tõendus, et meie tavalist peeglit hästi ei tunne: selle artikli pealkirjaks pandud küsimusele vastab enamik valesti, hoolimata sellest, et kõik iga päev peeglisse vaatavad.

Need, kes arvavad, et peeglit võib näha, eksivad. Hea puhas peegel pole nähtav. Võib näha peegli raami, peegli ääri, kehade kujutisi peeglis — aga peeglit ennast, kui ta pole märdunud, pole näha. Iga peegeldav pind erinevalt hajutavast pinnast pole ise nähtav. (Hajutavaks pinnaks nimetatakse sellist pinda, mis peegeldab tagasi kiiri igas suunas. Iga-päevases elus nimetatakse peegeldavaid pindu poleeritudiks, kuna hajutavad pinnad on mattpinnad.)

Kõik peeglite kasutamisele rajatud trikid, kunsttükid ja illusioonid — kas või praegu kirjeldatud trikk peaga — leiavad endale seletuse nimelt selles, et peeglid pole nähtavad, nähtavad on vaid nendes peegeldunud esemed.

## Loomad peegli ees.

On huvitav näha, kuidas suhtuvad loomad oma kujutisse peeglis. Paljud loomad seda lihtsalt ei näe. Mul ei õnnestunud kuidagi saavutada seda, et kass oleks märganud oma kujutist. On võimalik, et illusioon hävib seetõttu, et puuduvad haistmisaistingud, mis kassi teadvuses on seoses elava kassi nägemisega. Võib olla, et seepärast loomad ei kardagi joomispaigas oma pea kujutist vees. Katseid koerte ja hobustega pole ma teinud. Seevastu pole aga kahtlust, et ahvid pole ükskõiksed oma kujutise vastu peeglis. Üks Leningradi loomaia külastajaid jutustas:

„Lahtises puuris oli peegel, mis oli kinnitatud seinale pöranda kõrgusel. Kaks hamadrilli tahtsid tulla hommikul välimisse puuri, kuid nähes seal uut eset ehmusid ja jooksid tagasi. Nad vahtisid kaua välja, kartes siiski väljuda. Meelitatuna uue eseme särast ja julgustatuna selle liikumatusest ilmusid nad lõpuks lahtisesse puuri, hoides end seejuures võimalikult kaugel peeglist. Pöörates end, et seda salapärast asja veel kord vaadata, nägid nad ootamatult oma kujutisi. Pidades neid uuteks seltsimeesteks karjatasid nad rõõmust ja jooksid seda uudist ka teistele hamadrillidele teatama.

Kogu puuri elanikkond kogunes peegli ette. Ahvid sirutasid oma käsi uute seltsimeeste poole, lällutasid midagi ja kutsusid neid nähtavasti enda poole.

Aga kangekaelsus, mida avaldasid uued seltsimehed, kes ei soovinud peeglist välja tulla, hakkas ahve ärritama; nende jutust kadus õrna sõpruse varjund ja nägudele ilmusid grimassid. Uued semud peeglis aga jätkasid vaikimist ja vastasid samade grimasside ning vigurdamistega, mis veelgi enam ahve ärritas. Tööline tõi hamadrillidele mitu korda toitu, aga need ei pööranud sellele mingit tähelepanu ja jäid peegli juurde. Lõpuks toodi neile nende maiustoit — kogli-mogli, ja ahvid hakkasid nälga tundes töölise poole minema. Kuid olles peeglist mõne sammu eemaldunud, märkasid nad tagasi vaadates äkki, et ka nende uued seltsimehed on ära minemas! Kartus kaotada neid oli nii suur, et ahvid loobusid kogli-moglist ja hakkasid uuesti peeglit uurima. Olles veendunud selles, et peegel pole lahtine uks, millest võiks sisse minna, katsusid hamadrillid peegli taha piiluda ja tahtsid peeglit seinast lahti tõmmata, aga kõik need katsed jäid asjatuks ja uute tutvavate ilmumise saladus jäi lahendamata.

Hilja õhtul, lõpuni vaevatuna viljatuist pingutustest ja näljast, läksid ahvid magama, aga hommiku saabudes istusid nad jälle kõik peegli ümber. Oli lausa imestusväärne see kangekaelsus ja püsivus, mida nad igal hommikul osutasid, et lahendada uute seltsimeeste ilmumise saladust. Ahvid lakkasid normaalselt toitmast ja istusid päevade viisi peegli juures. Nädala pärast tuli peegel kõrvaldada ja elu puuris läks jälle tavalist rada.“

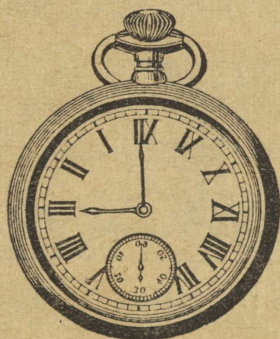
### **Keda me näeme peeglisse vaadates?**

„Endastmõistetavalt iseendid,“ ütleb igaüks, „meie kujutis peeglis on ju meie endi kõige täpsem koopia, mis sarnaneb meiega kõigis üksikasjus.“ Nii mõtlevad paljud.

Kas te ei sooviks selles sarnasuses veenduda? Teil on paremal põsel sünnimärk, teie teisikul on aga parem põsk puhas, vasakul põsel aga täpik, mida teil sel põsel pole. Teie kammite oma juuksed paremale poole, teie teisik aga vasakule poole. Teil on parempoolne kulm kõrgem ja tihedam kui vasakpoolne; temal aga, vastupidi, on see kulm madalam ja hõredam kui vasakpoolne. Teie kannate kella vesti parempoolses taskus, taskuraamatut aga pintsaku vasakpoolses taskus, teie teisikul peeglis aga on teised harjumused: ta hoiab oma taskuraamatut pintsaku parempoolses taskus, kella aga vesti vasakpoolses taskus. Vaadake, milline on tema kella numbrilaud. Teil pole säärast kella kunagi olnud: selle numbrite asukohad ja kuju pole tavalised; näiteks number kaksteist on kujutatud nii, nagu seda kunagi ei kujutata, — IIX, ja ta on kaheteistkümne kohal; kaksteist aga puudub täielikult; kuuete

järgneb viis jne.; peale selle on ka osutite liikumine vastupidine tavalisele (joon. 110).

Lõpuks on teie teisikul peeglis kehaline puudus, millest teie, nagu arvata võib, olete vaba: ta on vasaku käeline. Ta kirjutab, õmbleb ja sööb vasaku käega, ja kui te sooviksite teda tervitada, siis ta sirutab teile vastu vasaku käe.



Joonis 110. Selline kell on teie teisikul, keda näete peeglis.

Pole kerge otsustada, kas ta on kirjaoskaja. Igal juhul kirjaoskaja omal viisil. Vaevalt suudate lugeda ühtki rida sellest raamatust, mida ta käes hoiab, või mingit sõna neist varesejalgadest, mida ta kirjutab oma vasaku käega.

Selline siis on see inimene, kes tahab olla teie sarnane! Aga teie tahate oma välimuse üle otsustada tema järgi...

Jätkem nali: kui te arvate, et te peeglisse vaadates näete iseennast, siis eksite. Enamikul inimestest pole nägu, keha ja rõivastus täpselt sümmeetriline (kuigi me seda tavaliselt ei tähelda): parem pool pole täiesti sar-

nane vasaku poolega. Kõik parema poole iseärasused lähevad peeglis üle vasakule poolele ja vastupidi, nii et teie kujutis peeglis jätab tihti hoopis teise mulje kui teie ise.

### Joonistamine peegli ees.

Keha ja selle peegelpildi mitteidentsus on veel tähelepanuväärne järgmises katses (joon. 111).



Joonis 111. Joonistamine peegli ees.

Asetage lauale püsti enda ette peegel, pange selle ette paber ja katsuge joonistada sellele mingi kujund, näiteks ristkülik diagonaalidega. Seejuures aga ärge vaadake oma käele, vaid jälgige käe kujutise liikumist peeglis.

Te veendute, et see esimesel pilgul kerge ülesanne osutub peaaegu teostamatuks. Meie nägemismuljete ja liikumisaistingute vahel on paljude aastate jooksul tekkinud teatav vastavus. Peegel aga rikub selle seose, sest ta näitab silmadele meie käe liikumisi moonutatud kujul. Sissekasvanud harjumused protestivad iga teie käeliigutuse vastu: te tahate joont tõmmata paremale, aga käsi tõmbab vasakule, jne.

Veel rohkem ootamatuid veidrusi kohtate, kui tahate peegli ees lihtsa kujundi asemel joonistada

midagi keerulisemat või, vaadates ridadele peeglis, midagi kirjutada: tekib naljakas virvarr!

Need jäljendid, mis saadakse kuivatuspaberil, on samuti sümmeetrilised kujutised. Vaadake neid kirjutusi, milledest teie kuivatuspaber on täiesti kirju, ja katsuge neid lugeda. Teil ei õnnestu ühestki sõnast, isegi kõige selgemalt kirjutatust aru saada: tähtedel on ebatavaline kallakus paremale, aga peaasi — joonte järjestus pole selline, millega olete harjunud. On tarvis vaid paberi juurde asetada täisnurgi peegel, ja te näete peeglis kõiki tähti kirjutatuna nii, nagu olete neid harjunud nägema. Peegel annab sümmeetrilise kujutise sellest, mis on ise sümmeetriline hariliku kirjaga.

### Kokkuhoidlik rutt.

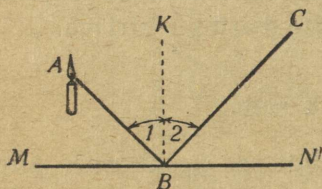
Me teame, et valgus levib ühtlases keskkonnas sirgjooneliselt, s. o. mööda lühimat teed. Kuid valgus valib endale kõige kiirema tee ka sel korral, kui ta ühest punktist teise minnes peab vahepeal peegelduma.

Jälgigem valguskiire teed. Olgu  $A$  joonisel 112 valgusallikas, sirge  $MN$  — peegel, joon  $ABC$  — valguse tee küünlast silma  $C$ . Sirge  $KB$  on risti  $MN$ -ga.

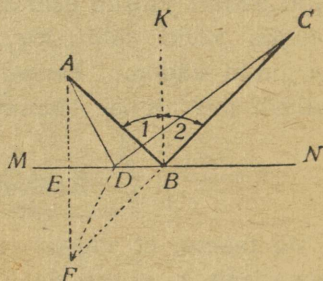
Optikaseaduste järgi on peegeldumisnurk 2 võrdne langemisnurgaga 1. Teades seda võime kergesti tõestada, et kõigist võimalikest teedest  $A$ -st  $C$ -ni vahepealse peegeldumisega  $MN$ -is on  $ABC$  kõige lühem. Selleks võrdleme kiire  $ABC$  käiku mingi teise, näiteks  $ADC$  omaga (joon. 113). Tõmbame punktist  $A$   $MN$ -le ristjoone  $AE$  ja pikendame seda lõikumiseni kiire  $BC$  pikendusega punktis  $F$ . Ühendame ka punktid  $F$  ja  $D$ . Veenudume kõigepealt kolmnurkade  $ABE$  ja  $EBF$  ühtivuses. Nad on täisnurksed; neil on ühine kaatet  $EB$ ; ka on nur-

gad  $EFB$  ja  $EAB$  võrdsed, olles vastavalt võrdsed nurkade 2 ja 1. Järelikult  $AE = EF$ . Siit järeldub, et täisnurksed kolmnurgad  $AED$  ja  $EDF$  on ühtivad, sest nad langevad ühte kahe kaateti poolest, seega  $AD = DF$ .

Arvesse võttes seda võime  $ABC$  asendada  $CBF$ -ga (sest  $AB = FB$ ) ja  $ADC$   $CDF$ -ga. Võrreldes  $CBF$ -i ja  $CDF$ -i näeme, et sirglõik  $CBF$  on lühem kui murdjoon  $CDF$ . Tähendab,  $ABC$  on lühem kui  $ADC$ , mida oligi vaja tõestada. Kus punkt  $D$  iganes asetsekski, on tee  $ABC$



Joonis 112. Peegeldumisnurk 2 võrdub langemisnurgaga 1.



Joonis 113. Valguskiir valib peegeldumisel lühima tee.

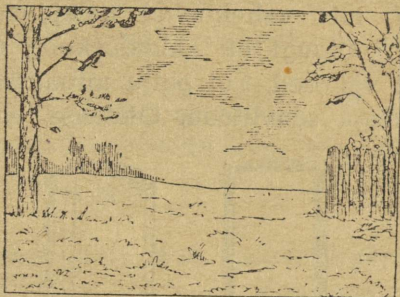
ikka lühem kui tee  $ADC$ , kui vaid peegeldumisnurk võrdub langemisnurgaga. Siit järeldame, et valguskiir valib tõepoolest kõige lühema ja kiirema tee valgusallika, peegli ja silma vahel<sup>1</sup>.

### Yarese lend.

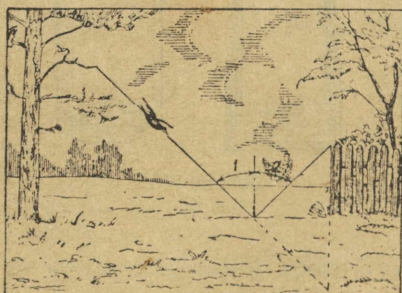
Oskust leida lühimat teed juhtudel, mis on sarnased praegu kirjeldatud juhuga, võib kasutada üksikute „pähklike“ lahendamisel. Siin on üks näide sellisest ülesandest.

<sup>1</sup> Sellele asjaolule juhtis esimesena tähelepanu kuulus II sajandi kreeka mehhaanik ja matemaatik Heron Aleksandriast.

Puu oksal istub vares. All hoovis on maha raputatud viljateri. Vares laskub oksalt, haarab tera ja lendab plangule. Küsitakse, kust kohast peaks vares tera võtma, et ta lennutee oleks kõige lühem (joon. 114).



Joonis 114. Ülesanne varesest. Leida lühim tee planguni.

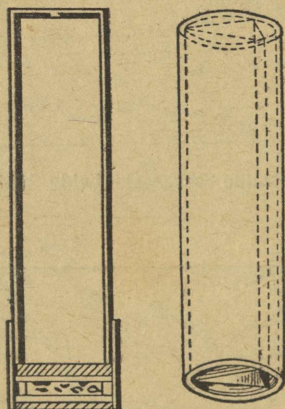


Joonis 115. Lahendus ülesandele varesest.

See ülesanne on äsjalahendatud ülesande sarnane. Seejärel pole siis ka raske õiget vastust anda: vares peab järgima valguskiirt, s. o. ta peab lendama nii, et nurk 1 oleks võrdne nurgaga 2 (joon. 115). Me juba nägime, et säärasel korral on tee kõige lühem.

## Uut ja vana kaleidoskoobist.

Kõigile on tuttav huvitav mänguasi, mida nimetatakse kaleidoskoobiks: peotäis kirjusid kilde peegeldub kahes või kolmes tasapeeglis ja tekivad imestamisväärset ilusad kujundid, mis vahelduvad kaleidoskoobi vähima pöörde puhul. Olgugi et kaleidoskoop on üldtuntud, aimavad vaid vähesed, kui palju mitmesuguseid kujundeid võib sellega saavutada. Oletame, et teil on käes



Joonis 116.

kahekümne kivikesega kaleidoskoop ja et te seda uute kujundite saamiseks pöörate kümme korda minutis. Palju aega te vajate, et läbi vaadata kõik seejuures tekkinud kujundid?

Kõige elavamgi kujutlus ei anna sellele küsimusele õiget vastust. Ookeanid võivad kuivada ja mäeahelikud kuluda, enne kui te jõuate läbi vaadata kõik need kujundid, mis kui imekombel on varjatud teie väikeses mänguasjas.

Lõpmatult mitmekesised, alaliselt muutuvad kaleidoskoobi mustrid on ammu huvitanud dekoraatoreid-kunstnikke, kelle fantaasia ei saa võistelda selle riista ammutamatu leidlikkusega. Kaleidoskoop loob sageli üllatavalt ilusaid mustreid, mida võib kasutada tapetite ornamentide, mitmesuguste riiete mustrite jne. motiivideks.

Kuid laiades hulkades ei kutsu kaleidoskoop enam esile seda elavat huvi, millega ta kui uudis-ese vastu võeti sada aastat tagasi. Teda ülistati siis proosas ja värssides.

Kaleidoskoop leiutati 1816. aastal Inglismaal ja juba aasta-poolteise pärast jõudis ta Venemaale, kus ta vaimustusega vastu võeti. Valmide kirjutaja A. Izmailov kirjutas kaleidoskoobist ajakirjas „Blagonamerennõi“ (juuli 1818. a.) järgmist:

„Lugenud kuulutust kaleidoskoobist, muretsesin selle imeliku riista —

Vaatan — ja mis ma näen silme ees?  
Mitmesuguseis kujundeis, tähtedes  
kõike: safiire, rubiine, topaase.  
Ja smaragde, ja teemante,  
ja ametüste, ja pärleid,  
ja pärlmutrit — kõiki äkki näen!  
Ainult käega üks liigutus —  
ja silme ees nähtus uus!

Ei värssides ega proosas pole võimalik kirjeldada kõike seda, mis on näha kaleidoskoobis. Kujundid muutuvad iga käeliigutusega ega sarnane üksteisega. Millised kaunid mustrid! Oh, oleks vaid võimalik neid ömmelda kanvaale! Kust võtta sääraseid eredaid siide? Milline meeldiv ajaviide tegevusetuse ja igavuse ajal!

Palju parem vaadata kaleidoskoopi kui laduda pasjanssi.

Kinnitatakse, et kaleidoskoop olevat olnud tuntud juba XVII sajandil. Praegu on seda Inglismaal uuendatud ja täiustatud; kuud kaks tagasi jõudis ta siit Prantsusmaale. Üks sealseist rikkaist tellis endale kaleidoskoobi väärtusega 20 000 franki. Värviliste klaasikildude ja helmeste asemel käskis ta võtta pärleid ja kalliskive."

Kaugemal jutustab valmikirjanik lõbusast anekdoodist kaleidoskoobi kohta ja lõpetab oma artikli kurvameelse märkusega, mis on väga iseloomulik sellele pärisorjuse ja mahajäämuse ajastule:

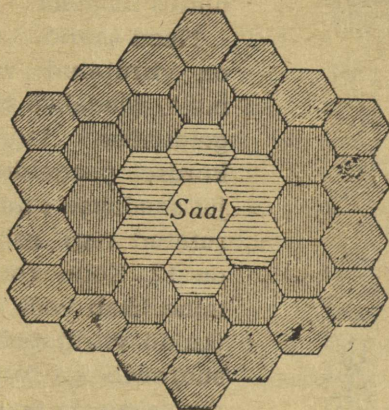
„Keiserlik füüsik-mehhaanik Rospini, kes on tuntud oma suurepärase optiliste riistade poolest, valmistab kaleidoskoope ja müüb neid hinnaga 20 rubla tükk. Pole kahtlust, et kaleidoskoopide vastu tuntakse rohkem huvi kui tema füüsika- ja keemialoengute vastu, milledest, kahjuks ja imestuseks, heatahtlik härra Rospini pole endale mingit tulu saanud."

Kaleidoskoop jäi kauaks vaid huvitavaks mänguasjaks ja alles meie päevil on ta leidnud kasulikku rakendamist mustrite koostamisel. Hiljuti leiutati riist, millega saab päevapildistada kaleidoskoobi mustreid ja niiviisi mehaaniliselt leiutada kõikvõimalikke ornamente.

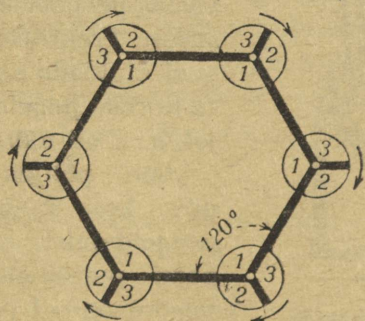
### Illusioonide ja miraažide palee.

Millised tunded oleksid meil, kui me, vähendatuna klaasikillu suuruseni, satuksime kaleidoskoopi? On olemas võimalus teostada seda katset tegelikkuses. Selline suurepärase võimalus oli aastal 1900 Pariisi maailmanäituse külastajail. Näitusel oli suur menu nn. „Illusioonide paleel", mis oli kaleidoskoobi laadi, aga ainult liiku-

matu. Kujutlege endile kuusnurkset saali, mille kõik seinad olid suured ideaalselt poleeritud peeglid. Peegelsaali nurkades olid arhitektuurilised kaunistused sam-

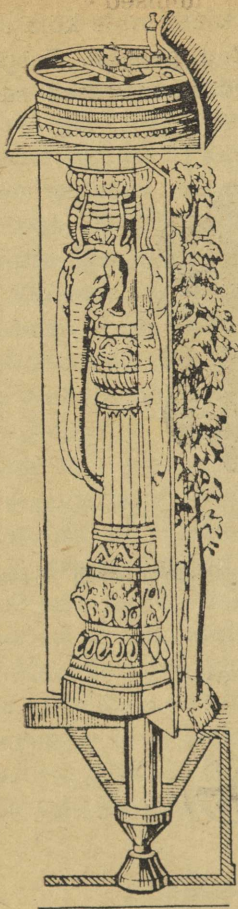


Joonis 117. Keskmise saali kolmekordne peegeldumine annab 36 saali.



Joonis 118.

maste ja laeilustustega kokkusulavate karniiside näol. Sellise saali külastaja tundis end lausa kadununa kujutlematus endaga sarnaste inimeste hulgas, lõpmatus saa-



Joonis 119. Miraažide palee saladus.

lide ja sammaste amfilaadis, mis ümbritsesid teda igalt poolt ja nii kaugelt, kui silm ulatus nägema.

Need saalid, mis joonisel 117 on viirutatud vasakult paremale, saadakse ühekordse peegeldumise tagajärjel; kahekordse peegeldumise tagajärjel saadakse saalid, mis on viirutatud risti esimestega; neid on 12. Kolmekordne peegeldumine lisab veel juurde 18 saali (kaldu viirutatud). Saalide arv suureneb iga järgmise peegeldumisega, ja nende üldarv oleb peeglite täiuslikkusest ja ka selle prismakujulise saali vastas-peegelseinte paralleelsusest. Praktiliselt oli võimalik veel eraldada saale, mis saadi 12-kordse peegeldumise tagajärjel, s. t. oli näha 468 saali.

„Ime“ põhjus on selge kõigile, kes tunnevad valguse peegeldumist: on ju siin kolm paari paralleelseid ja kaks-teistkümend paari nurgi asetatud peegleid, — pole siis ka ime, et saadakse selline suur hulk peegeldumisi.

Veel huvitavamad olid need optilised efektid, mida saavutati Pariisi näitusel nn. „Miraažide palees“. Selle

„palee“ korraldajad ühendasid peegeldumised veel kogupildi kiire muutumisega. Nad nagu ehtasid tohutu suure liikuva kaleidoskoobi, mille keskel asetsesid külastajad.

Selle „Miraažide palee“ sisustuse vahetust teostati järgmiselt. Peegelseinad olid teataval kaugusel servadest pikisuunas läbi lõigatud ja saadud nurk võis pöörelda ümber telje, asendudes teisega. Jooniselt 118 on näha, et võib saada kolm vahetust, vastavalt nurkadele 1, 2 ja 3. Nüüd kujutlege, et kõik nurgad numbriga 1 kujutavad endast troopilist metsa, kõik nurgad 2 — araabia saali, nurgad 3 aga india templi sisustust. Peidetud mehhanismi abil võib nurki pöörata: troopiline mets muutub templiks või araabia saaliks. Kogu nõiduse saladus rajaneb sellisele lihtsale füüsikanähtusele, nagu seda on valguse peegeldumine.

Peegeldumis-efektil paralleelsetes peeglites põhineb ka vanaaegne ennustamine peeglitega. Ennustaja nägi enda ees kaugele minevat küünalde kujutiste rida; küünlad asetsesid kahe paralleelse peegli vahel. Selle jubeda mulje, mida avaldab ebausklikult meelestatud inimesele niisugune pilt, on hästi edasi andnud luuletaja Fett:

Panin peeglid väriseval häälel  
kahe küünla ette ja taha,  
Ja salapärase värinaga  
nad toredasti põlevad...  
On hirmus mõtelda arglikul hingel:  
Tuld ei ole selja taga.  
Midagi rasket langeb kaelale,  
Rusub ja rõhub mind!  
Mis siis, kui küünalde vahel  
rea kirstude tammepuust pind?

Räägitakse, et kunagi kasutas seda peeglite omadust inkvisitsioon: oma ohvrite piinamiseks leiutati eriline „piinamine peeglitega“. Selle võttega võib lugeja tutvuda alljärgneva jutustuse põhjal.

## „Piinamine peeglitega“.

Jutustus.

(Tõlge inglise keelest.)

### I.

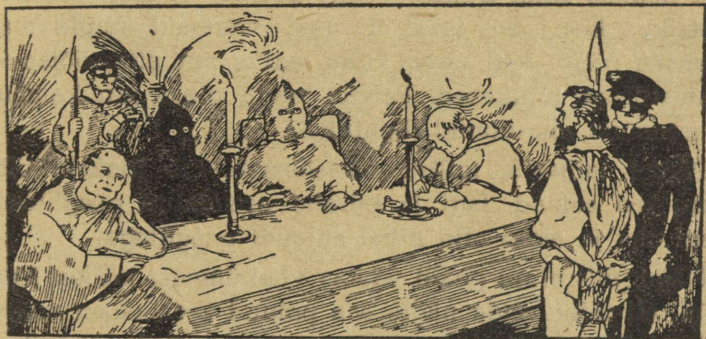
Laua juures istus inkvisiitor. Ta ütles:

„Sa oled kangekaelne, keeldud tagasi tulemast püha kiriku sülelusse. Selle eest me mõistame sulle karistuse, et oleksid üksi iseendaga. Hakkad end vihkama oma põrmus ja kehas ning sinu peale tuleb kahetsus, mis viib hinge päästmisele.“

Neist sõnadest ei saanud ma aru. Muide, ei saanud ma aru ka kõigest muust; ainult aimasin, et mõni õnnetu piinade all kannataja nimetas mu nime, et kergendada omi kannatusi. Mind võeti kinni ühel Madridi tänaval ja viidi inkvisitsiooni vanglasse. Palju nädalaid viibisin seal, kuni lõpuks kutsuti mind juurdlusele.

Pärast ülekuulamist viidi mind tagasi kongi, mis oli sarnane eelmisega. See oli toake pörandapinnaga ligikaudu kolm ruutmeetrit; ruumi valgustas väike laealune aken. Ma tõstsin pea ja nägin, et aken oli millegagi kaetud. Oli ka voodi, kuid uni nende seinte vahel oli harva puhkuseks.

Raske uks sulgus minu taga. Jäin üksi, aimates, et tuleb kannatada, aga kuidas, seda ma ei teadnud. „Ole üksinda iseendaga.“ Mida võisid tähendada need sõnad? Olin ju niikuinii juba mitu nädalat veetnud üksikvangistuses.



Joonis 120.

Õhtu lähenes; midagi ei juhtunud, ja minu kartused hakkasid vaibuma. Lõpuks, peaaegu rahunenult, jäin magama.

## II.

Ärkasin varase hommiku hämaruses ja pimedusse vaadates panin tähele, et öö jooksul oli toimunud ime-lik muutus. Otse minu voodi vastas vilkus valgus; varem seda seal polnud. Teised seinad näisid olevat läbipaist- vad; imelikud varjud hõljusid nendel.

Ma lamasin, mõteldes, mida see võiks tähendada. Äkki oli minu pea kohal kuulda kergelt kahinat; tuba läks täiesti pimedaks. Ootasin mitu tundi, kuid koidu-

kiired ei tunginud minu tuppa. Nüüd välgatas mu pea kohal kerge valgus; avauses lae keskkohas ilmusid sõrmed, ja riputanud üles põleva lambi, kadusid nad uuesti. Lõpuks ma võisin näha...

Mida näha? Minu esimeseks tundeks oli täielik hirm. Pea hakkas ringi käima. Mulle paistis, et olen üksinda metsikus keerises; igast nurgast vaatasid mulle otsa hirmsad näod. Igal pool, kuhu sattus mu pilk, õõtsusid fantastilised tulukesed. Paistis, nagu oleks mu kamber suurenenud, muutunud lõputuks.

Pärast taipasin, milles asi seisneb. Öö jooksul olid minu toa seinad, lagi ja põrand asendatud peeglitega. Isegi uks ja aken olid nüüd suletud peeglitega.

Nägu, mis minu peale vaatas viiekümnest küljest korraga, oli minu enda nägu. Ma polnud seda enam ammu näinud. Nüüd oli see metsik ja hirmus. Seda ümbritses habe, ja mu silmad olid nii muutunud, et tahes-tahtmatult esitasin endale küsimuse: milliseks nad veel muutuvad?

Alles mõne tunni pärast tundsin endas niipalju mehisust, et vaadata enda ümber. Ja võimatu on kirjeldada, kui hirmus see pilt oli! Vaatasin ma vasakule või paremale, üles või alla — ikka nägin ma ennast sajas fantastilises poosis. Oli kujusid, mis seisid minu poole näoga, seljaga, küljega. Siin seisin ma pea peal, seal nägin end perspektiivis ülalt. Igal pool, kuhu ma ka oma silmi ei pööranud, olid minu keha osad.

Ma kartsin end liigutada, — nii hirmus oli see erutus, mida tekitasid viirastused peeglitel minu vähimagi liigutuse puhul. Kui tõstsin kätt, siis kordas seda liigutust kogu kujude jõuk tuhandel viisil.

Ma püüdsin oma silmi mitte avada, aga mõte, et minu

ümber on miljoneid suletud silmi, mis irvitaksid nagu minu üle, sundis mind jälle lauge tõstma.

Nii möödus see päev täis hirmsaid kannatusi. Sain aru, et veel paar sellist päeva, ja ma lähen hulluks. Avausest lae keskkohas lasti mulle alla toitu; seda ma aga ei puudutanud.

Minu piinajad tõenäoliselt arvasid, et mulle tuleb ots varem, kui see neile oleks soovitav, — ja järgmisel hommikul ärkasin üles tavalises kongis. Ma mõtlen, et paljad vangla seinad pole mulle kunagi nii meeldivad olnud. Ma veetsin peaaegu õnneliku päeva lootes, et piinamine on lõppenud.

Agas inkvisitsioon toimus teisiti! Järgmisel hommikul olid peeglid jälle kohal, ainult selle vahega, et tasapeeglite asemel olid kõverpeeglid. Igaüks, kes kunagi on vaadanud niisugusesse peeglisse, teab, mis see tähendab. Minu kujutised, mida oli enne vaid lõpmatu hulk, muutusid nüüd veel vastikumaks. Koletislikud huuled, ebaloomulikud silmad seintel naersid minu üle, ja hirmsad, ebaproportsionaalsed olevused muutusid ootamatult iga mu liigutuse puhul. Kuradite elupaik ei võinud olla hullem minu kongist. Tahtsin heita põrandale, aga ma teadsin, et ka seal kohtan mingit hirmsat enda karikatuuri . . .

Ilmselt tahtsid minu piinajad mind hullumeelseks teha. Ma tundsin neid hästi ja seepärast olin veendunud, et nad oma kuratliku leidlikkusega pole veel lõpuni jõudnud. Kui mul oleks olnud mingi relv, oleksin need needud peeglid tuhandeteks kildudeks lõõnud; aga mitte midagi sellele sihile vastavat polnud mu kambrist leida. Ära joosta? Võimatu! Mõeldes selle üle nägin ma juhuslikult lae keskel suletud õhuauku, mille kaudu riputati alla lamp õudseil hommikuil. Siis märkasin ma ainult

kätt: see tõstis osa peeglit üles, tõmbas selle tagasi ja riputas siis lambi konksule.

Järgmisel hommikul ootasin kannatamatusega käe ilnumist. Kui käsi sirutati luugisse, hüppasin üles ja haarasin sellest kinni. Oli kuulda metsikut kisa; inimese keha prantsatas avausest põrandale.

Minutitki viivitamata kiskusin maha tapetud või meelemärguse kaotanud vangivahilt mantli ja maski ning tõmbasin need ülle. Siis seadsin oma vang'i istuma ja astudes tema õlale kui astmelauale hüppasin üles luugisse, mis viis ülal olevasse tuppa.

Saavutanud ava, ronisin ma õnnelikult kambrist välja. Mida tunneb mu vang, kui ta tuleb meelemärgusele, ümbritsetuna pörgulikest peegleist? Sellele mõeldes ma kahetsesin, et minu kätte ei sattunud suur inkvisiitor ise.

### **Mispärast ja kuidas murdub valgus?**

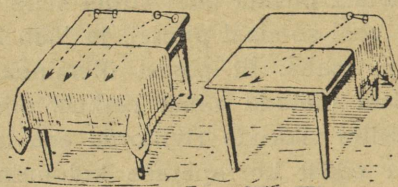
Asjaolu, et valgus üleminekul ühest keskkonnast teise muudab oma suunda, näib paljudele looduse imeliku tujuna. Paistab arusaamatu olevat, mispärast valgus ei säilita ka uues keskkonnas oma endist suunda, vaid valib endale murdjoonelise tee. See, kes niiviisi mõtleb, on tõenäoliselt rahuldatud, kui ta teada saab, et põhiolemuselt toimub valgusega sama, mis marssivate sõdurite rühmaga, kellel tuleb ületada piir käimiseks soodsa ja ebasoodsa pinna vahel. Eelmise sajandi kuulus astronoom ja füüsik John Herschel ütleb selle kohta:

„Kujutlegem sõdurite üksust, kellel tuleb käia maastikul, mis on jagatud sirge piiriga kaheks osaks. Üks neist osadest on sile, tasane ja käimiseks soodne, teine aga on kühmuline, raske ega võimalda kiiret liikumist. Oletagem kõigepealt, et üksuse rinne moodustab maini-

tud piirjoonega teatava nurga, nii et sõdurid ei jõua piirjooneni üheaegselt, vaid üksteise järel. Nüüd, astudes üle piiri, satub iga sõdur maa peale, kus ta enam ei saa nii kiiresti edasi liikuda kui seni. Järelikult ei saa ta ka enam püsida ühel sirgel selle viiruga, mille üks osa asub veel soodsal pinnal, ja jääb iga sekundiga sellest rohkem maha. Et piirist üleminekul tuleb igal sõduril käimisel ületada sama raskus, siis peab sõdurite salk, et mitte rikkuda rivikorda ega laiali valguda, vaid marssida edasi korrapärase kolonnina, paratamatult peale piirjoone ületamist maha jääma kolonni sellest osast, mis pole veel piirini jõudnud. Piiripunktis moodustab piiri ületanud kolonni rinne ülejäänud kolonniaosa rindegaga nürinurga. Vajadus käia jalga, takistamata üksteise liikumist, sunnib iga sõdurit astuma otse edasi, risti uue rindegaga. Järelikult tee, mida läbib sõdur, ületanud piirjoone, on esiteks risti uue rindegaga ja teiseks suhtub selle teega, mida ta oleks samal ajal läbinud, kui raskusi käimisel poleks olnud, nii nagu uus liikumiskiirus endisega."

Väiksemal viisil võib valguse murdumist selgitavat katset korraldada üsna näitlikult oma laual. Katke pool lauda laudlinaga (joon. 121) rataste paaril, mis on tihe-  
dalt ühise telje külge kinnitatud (näiteks katkiläinud manguveduri või mõne teise manguasja rattad). Kui vee-  
revate rataste suund on risti laudlina äärega, siis suuna murdumist ei ole. Teil on sel korral järgmise optika-  
seaduse illustratsioon: kiir, mis on risti kahe keskkonna lahutuspinnaga, läbib lahutuspinna murdumatult. Kui aga  
rataste liikumise suund on kaldu laudlina äärega, siis tekib selle ääre juures suuna murdumine, seega kahe  
keskkonna lahutuspinnal, milledes liikumiskiirused pole võrdsed. On kerge märgata, et üleminekul sellelt laua-

osalt, kus kiirus on suurem (katmata lauaosa), sinna, kus kiirus on väiksem (laudlina), läheneb liikumise suund („kiir“) langemisristjoonele. Vastupidisel juhul kaugeneb liikumise suund sellest ristjoonest.



Joonis 121. Katse, mis selgitab valguse murdumist.

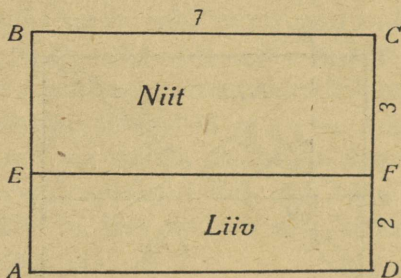
Siit võib muuseas teha tähtsa järelduse, mis seletab vaadeldava nähtuse olu, ja nimelt, et valguse murdumine lahtuspinnal kahe keskkonna vahel on tingitud valguse kiiruse eri suurustest neis keskkondades. Mida suurem on kiiruste vahe, seda tugevam on murdumine; nn. „murdumisenäitaja“, mis iseloomustab murdumise suurust, on nende kiiruste suhe. Kui loete, et vee murdumisenäitaja õhu suhtes on  $\frac{4}{3}$ , siis on teil ka teada, et õhus liigub valgus  $1\frac{1}{3}$  korda kiiremini kui vees. Sellega seoses on veel üks teine õpetlik valguse levimise iseärasus. Kuna peegeldumisel valguskiir liigub kõige lühemat teed mööda, siis murdumisel levib ta kõige kiiremat teed mööda: mingi teine tee ei vii kiirt nii kiiresti kohale kui see murtud tee.

### Kunas on pikk tee kiirem lühikesest?

Kas tõesti murdjooneline tee viib kiiremini sihile kui sirgjooneline? Jah, neil juhtudel, kui liikumise kiirus tee eri osades on erinev. Meenutagem, mida teevad elanikud külast, mis asetseb kahe raudteejaama vahel, kuid

naabruses ühega neist. Selleks et pääseda kaugemasse jaama, sõidavad nad hobusega enne vastassuunas lähimasse jaama, istuvad seal rongi ja sõidavad siis sellega sihtjaama. On arusaadav, et tee oleks lühem, kui sõita hobusega otse sihtjaama, nad aga eelistavad pikemat teed, sõites hobusega ja vagunis, sest see viib neid kiiremini sihile. Siin on pikk tee kiirem lühikesest.

Nüüd veel minut tähelepanu järgmisele näitele. Ratsaväelane peab viima teate punktist  $A$  komandöri telki punktis  $C$  (joon. 122). Tema ja telgi vahel on sügava



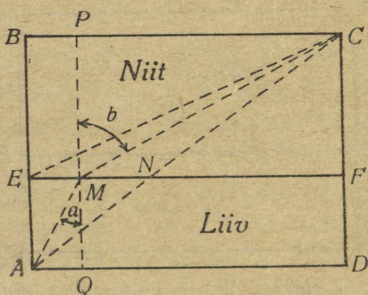
Joonis 122. Ülesanne ratsaväelasele. Leida kõige kiirem tee  $A$ -st  $C$ -ni.

liiva ja niiduvöönd, mis on eraldatud teineteisest sirgega  $EF$ . Liivasel pinnal liigub hobune kaks korda aeglasemalt kui niidul. Millist teed mööda peab ratsanik sõitma, et lühima ajaga telgi juurde jõuda?

Esimesel pilgul näib, et kõige kiirem tee on sirget  $AC$  mööda. See on aga täiesti vale, ja ma arvan, et ei leidu ratsaväelast, kes niisuguse tee oleks valinud. Aeglane liikumine liival viib teda õigele mõttele lühendada aeglast teekonna osa, läbides selle vähem viltust teed mööda; muidugi sellega pikeneb teine teosa — niitu mööda; et aga niidul võib liikuda kaks korda kiiremini, siis ei kaalu tee pikenemine üles lühikesest teest saada-

vat kasu, ja üldkokkuvõttes läbitakse kogu tee lühema aja jooksul. Teiste sõnadega, ratsaväelase tee peab murduma sügava liiva ja niidu vahelisel piirjoonel nii, et tee niidul moodustaks ristjoonega piirjoonele suurema nurga kui tee liivasel pinnal.

See, kes tunneb geomeetriat, nimelt Pythagorase teoreemi, võib tõestada, et otsetee  $AC$  pole tõesti kõige kiirem, ja nende andmete puhul, mis siin on võõndite laiustele ja kaugustele antud, on kiiremaks teeks näiteks tee mööda murdjoont  $AEC$  (joon. 123).



Joonis 123. Lahendus ülesandele ratsaväelasest. Kõige kiirem tee on  $AMC$ .

Joonisel 122 on antud: liivase võõndi laius 2 km, niidu laius 3 km, pikkus  $BC$  7 km. Siis võrdub pikkus  $AC$  (joon. 123) Pythagorase teoreemi põhjal  $\sqrt{5^2 + 7^2} = \sqrt{74} = 8,60$  km. Teosa  $AN$  (liivasel pinnal) moodustab kogupikkusest  $AC$ , nagu kerge taibata,  $\frac{2}{5}$ , s. o. 3,44 km. Et liikumine liivasel pinnal on kaks korda aeglasem kui niidul, siis vastab sellele pikkusele ajaliselt 6,88 km niidul. Järelikult kogu tee  $AC$ , mille pikkus on 8,60 km, vastab 12,04 km niiduteele.

Nüüd arvutame samuti, millisele niidutee pikkusele vastab tee pikkus  $AEC$ .  $AE = 2$  km, ja see vastab niidutee 4 km-le. Osa  $EC = \sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} = 7,6$  km. Kokkuvõttes vastab kogu murdtee  $AEC$  niidutee  $4 + 7,6 = 11,6$  km-le.

Järelikult „lühike“ otsetee vastab niidutee 12,0 km-le, „pikk“ murdtee aga vastab ainult niidutee 11,6 km-le. „Pikk“ tee, nagu näete, annab kasu  $12 - 11,6 = 0,4$ , s. o. peaaegu pool kilomeetrit! Aga me pole veel näidanud kõige kiiremat teed. Nagu teooria õpetab, on kõige kiiremaks teeks (siin tuleb meil pöörduda trigonomeetria abi poole) see tee, mille juures nurga  $b$  siinus suhtub nurga  $a$  siinusega nii, nagu liikumiskiirus niidul suhtub liikumiskiirusega liival, s. o. nagu  $2 : 1$ . Teiste sõnadega, tuleb tee valida nii, et sin  $b$  oleks kaks korda suurem sin  $a$ -st. Selleks tuleb piir kahe vööndi vahel ületada punktis  $M$ , mis asetseb ühe kilomeetri kaugusel  $E$ -st. Tõepoolest, siis on

$$\sin b = \frac{6}{\sqrt{3^2 + 6^2}}, \text{ aga } \sin a = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2^2}},$$

$$\text{suhe } \frac{\sin b}{\sin a} = \frac{6}{\sqrt{45}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{6}{3\sqrt{5}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = 2,$$

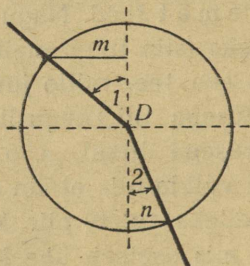
s. o. võrdne kiiruste suhtega.

Kui suur aga on nüüd vastavalt niidutee pikkusele teepikkus  $AMC$ ?

Arvutame:  $AM = \sqrt{2^2 + 1^2}$ , see vastab 4,47 km niiduteele.  $MC = \sqrt{3^2 + 6^2} = 6,49$  km.

Kogu tee pikkus võrdub  $4,47 + 6,49 = 10,96$  km, s. o. ta on 1,08 km lühem otseteest, mille pikkus võrdub 12,04 km-ga.

Siit te näete, milline kasu on antud tingimustel liikumistee murdumisel. Valguskiir tõepoolest valib endale sellise kõige kiirema tee, sest valguse murdumise seadus rahuldab täpselt nõuet, mille seab matemaatiline ülesanne: langemisnurga siinuse suhe murdumisnurga siinusega on niisama suur kui valguse kiiruse suhe esimeses keskkonnas kiirusega teises keskkonnas. Teiselt poolt on see suhe võrdne teise keskkonna murdumisenäitajaga esimese keskkonna suhtes.



Joonis 124. Mis on siinus? Lõigu  $m$  suhe raadiusega on nurga 1 siinus; lõigu  $n$  suhe raadiusega on nurga 2 siinus.

Uhendades üheks reegliks valguse omapärasused peegeldumisel ja murdumisel, võime öelda, et valguskiir *igal juhul* levib kõige kiiremat teed mööda, s. o. ta allub seadusele, mida füüsikud nimetavad „kõige kiirema tuleku printsiibiks“ (Fermat' printsiip).

Kui keskkond pole ühtlane ja tema murdumisvõime muutub järk-järgult, nagu näiteks atmosfääris, siis teostub ka siin kõige kiirem tulek. Sellega seletataksegi seda vähest taevakehade kiirte kõverdumist, mida astronoomid nimetavad astronoomiliseks refraktsiooniks. Allpool üha tihenevas atmosfääris painduvad kiired nii, et nende nõgusus on pööratud Maa poole. Seega viibib

kiir kauem atmosfääri ülemistes kihtides, mis vähem tema kiirust vähendavad, ja vähem aega alumistes „aeglastes“ kihtides; lõpptulemuseks on see, et kiir jõuab sihile kiiremini kui sirgjoonelisel levimisel.

Kõige kiirema tuleku printsiip ehk Fermat' printsiip on kehtiv mitte ainult valgusnähtuste kohta; sellele printsiibile allub samuti h ä ä l e ja üldse kõikide l a i n e t a m i s n ä h t u s t e levimine, vaatamata nende laadile.

Lugeja soovib kahtlemata teada saada, millega võib seletada seda lainete liikumise imelikku omadust, mille kohta olgu öeldud, et see moodsates füüsikateooriates väga tähtsat osa etendab. Seepärast lisangi siinjuures kaalutlused, mis esitas silmapaistev praegusaja füüsik Schrödinger<sup>1</sup>. Ta lähtub meile juba tuttavast marssivate sõdurite näitest ja peab silmas juhtu, kui valguskiir liigub keskkonnas, mille tihedus üha muutub.

„Oletame,“ kirjutab ta, „et sõdurid selleks, et säilitada rinde ranget korrapärasust, hoiavad kõik kõvasti kinni ühendavast pikast vardast. Antakse käsklus: kõigil edasi joosta võimalikult kiiresti! Kui maapinna iseloom aeglaselt muutub, siis algul, ütleme, rinde parem tiib, hiljem vasak tiib hakkab liikuma kiiremini, ja rinde pööre toimub iseendast. Me näeme seejuures, et läbitud tee pole sirgjoon, vaid kõverjoon. On üsna selge, et saadud tee ühtib selle teega, mis antud pinnaomaduste puhul võimaldab kõige kiiremat päralejõudmist, sest iga sõdur püüdis liikuda nii kiiresti kui võimalik.“

### Uued Robinsonid.

Kahtlemata te teate, kuidas Jules Verne'i romaani „Saladuslik saar“ kangelased, heidetuna asustamata saa-

<sup>1</sup> Kõnes, mille ta ette kandis Stokholmis Nobeli auhinna saamise puhul (1933. a.).

rele, said tuld ilma tikkude ja tulerauata. Robinsonile tuli abiks välk, mis süütas puu, uutele Jules Verne'i Robinsonidele polnud aga abiks juhus, vaid kogenud inseneri leidlikkus ja füüsikaseaduste põhjalik tundmine. Mäletate, kui imestunud oli naiivne meremees Pancrof, kui ta jahilt koju tulles leidis inseneri ja ajakirjaniku istumast leegitseva lõkke juures.

„Kuid kes siis süütas tule?“ küsis meremees.

„Päike,“ vastas talle Spilett.

Ajakirjanik ei naljatanud. Tõepoolest andis päike tule, mis meremeest nii rõõmustas. Ta ei uskunud oma silmi ja oli niivõrd hämmastunud, et ei saanud insenerilt isegi lähemalt pärida.

„Tähendab, teil oli süüteklaas?“ küsis Herbert insenerilt.

„Ei, aga ma valmistasin selle.“

Ta näitas seda. Seal oli lihtsalt kaks kellaklaasi, mis insener võttis oma ja Spilett'i kellalt.

Täitnud klaasidevahelise ruumi veega, ühendas ta klaaside servad saviga, ja niiviisi oli tal ehtne süüteläät, mille abil, koondades päikesekiired kuivale sambalale, ta sai tuld.“

Ma arvan, et lugeja soovib teada saada, milleks tuleb ruum kellaklaaside vahel täita veega. Kas õhuga täidetud kaksikkumer läät ei koonda kiiri?

Nimelt ei. Kellaklaas on piiratud kahe paralleelse (kontsentrilise) pinnaga — välimise ja sisemisega. Füüsilikast aga on teada, et selline kahe paralleelse pinnaga piiratud keskkond ei muuda peaaegu sugugi kiirte suunda. Läbides pärast seda veel teise samasuguse klaasi ei kaldu nad ka siin kõrvale, järelikult ei koondu fookusesse. Selleks et koondada kiiri ühte punkti, tuleb ruum klaaside vahel täita mingi läbinäh-

tava ainega, millel on omadus murda kiiri tugevamini kui õhk. Nii toimiski insener Jules Verne'i romaanis.

Tavaline kerakujuline karavin veega võib samuti olla süüteläätseks. Seda teadsid inimesed juba vanasti, määrgates ka seda, et vesi seejuures jääb külmaks. On isegi juhtunud, et avatud aknal seisev karavin veega pani põlema eesriided, laudlina, söestas laua. Need suured kerakujulised pudelid värvitud veega, mis vana kombe kohaselt kaunistasid omal ajal apteekide vitriine, võisid mõnikord olla tõsiste õnnetuste põhjuseks, kutsudes esile lähedalolevate kergesti süttivate ainete plahvatusi.

Veega täidetud väikese kolviga võib keema ajada kellaklaasile valatud vett: selleks läheb vaja kolbi, mille läbimõõt on 12 cm. 15 cm puhul tõuseb temperatuur fookuses<sup>1</sup> kuni 120<sup>0</sup>-ni. Süüdata paberossi sellise veega täidetud kolvi abil on niisama kerge kui klaasist läätsega, mille kohta juba Lomonossov oma luuletuses „Klaasi kasust“ kirjutas:

Me Päikese leeki siin klaasiga saame  
Ja hädata Prometheust jäljendame.  
Sõimates segaste valedel alatust  
Me patuta taevatulega süütame tubakat.

Siiski tuleb märkida, et vesiläätsete süütetoime on palju nõrgem kui klaasläätsete oma. See on tingitud esiteks asjaolust, et vees on kiirte murdamine nõrgem kui klaasis, teiseks, et vesi neelab suurel määral infra-punaseid kiiri, mis etendavad tähtsat osa kehade soojendamisel. Lihtne arvutus näitab, et Jules Verne'i romaanis kirjeldatud teravmeelset tule saamise võtet tuleb pidada kaheldavaks.

---

<sup>1</sup> Fookus asetseb seejuures üsna kolvi lähedal.

On huvitav, et seda klaasläätsede omadust tundsid juba vanad kreeklased üle tuhande aasta enne prillide ja pikksilmade leiutamist. Seda meenutab Aristophanes oma kuulsas komöödias „Pilved“. Sokrates esitab Streptiadesele ülesande: „Kui keegi on kirjutanud sinu nimele võlakohustuse viie talendi peale, kuidas sa võiksid selle hävitada?“

Streptiades. Võlakohustuse hävitamiseks leiutasin võtte, mille sinagi tunnistad väga kavalaks! Sa oled muidugi apteekides näinud kaunist läbipaistvat kivi, millega võib põletada?

Sokrates. Süüteklaasi?

Streptiades. Just nii.

Sokrates. Mis siis edasi?

Streptiades. Siis, kui notar kirjutab, juhin ma tema taga seistes päikesekiired võlakohustusele ja sulatan kõik sõnad ära...“

Seletuseks tuletan meelde, et Aristophanese ajal kirjutasid kreeklased vahatahvlitele, mis soojuse mõjul kergesti sulasid.

### **Ebatavaline tulikahjude põhjus.**

Kuivõrd ootamatud ja imelikud on mõnikord tulikahjude põhjused, sellest jutustab väga huvitavalt surnud polaarmaade uurija M. A. Ždanko.

„See oli ammu, vist aastal 1877, Arhangelskis. Külastades kord oma tuttavat panin ma tahtmatult tähele, et tema söögitoas oli puhvetkapp ümber paigutatud teise kohta, teise seina juurde; kapi alumisel uktsel paistis selgesti silma söestunud kaarekujuline, umbes sõrmelaiune vööt.

Ma pärisin peremehelt, mida see tähendab.

„Aga vaadake,“ vastas ta, „eile oleks mul peaaegu tulikahju olnud.“

„Mispärast?“

„Imetlege!“

Nende sõnade juures viis ta mind akna juurde, mis oli suunatud lõunasse, ja juhtis mu tähelepanu nähtavale ebatasasusele klaasil. Klaas polnud kallist sordist, vaid lihtne aknaklaas ja selle ühes kohas oli midagi mullitaolist, läbimõõdult umbes kaks tolli.

Kummalise juhuse tõttu oli sellel ebatasasusel kaksik-kumera läätse kuju ja selle läätse tulipunkti kaugus võrdus täpselt kaugusega aknast puhvetini selle vanas paigas.

Ja nii ühel selgel päeval põletas Päike oma väga madalal ööpäevalisel rännakul (keskpäevane Päikese kõrgus Arhangelskis on detsembrikuus ainult 4<sup>0</sup>) selle läätse läbinud kiirtega vao puhveti alumisele uksele. Tulikahju ei tekkinud võib-olla seepärast, et puhvetkapp oli tehtud kõvast puust (karjala kasest); kui aga materjaliks oleks olnud kuusk, seedermand või mõni teine vaigune ja pehme puu, siis, väga võimalik, oleks kapp tuld võtnud.

Samas kerkis minus mõte: kui palju tulikahjusid meie külades võib tingitud olla taolisest põhjusest; on ju seal ruudud akendes kõige primitiivsemad, ebatasased. Tare-des on aga palju nartse, laaste ja muud kergesti süttivat prahti! Ja võib väga võimalik olla, et paljude selgitamatuks ja mõistatuslikuks jäänud tulikahjude põhjuseks ongi halvad aknaruudud.“

Lisan omalt poolt, et sellised juhud on äärmiselt vähe tõenäolised ja seepärast on ka nende oht autori poolt tugevasti liialdatud.

## Kuidas jää abil saada tuld?

Materjaliks kaksikkumera läätse jaoks, ja järelikult siis ka tule saamiseks, võib olla ka jää, kui see on küllaldaselt läbipaistev. Seejuures jää, murdes kiiri, ise ei soojene ega sula. Jää murdumisenäitaja on ainult veidi väiksem kui vee oma ja kui on võimalik saada tuld veega täidetud keraga, siis peaks see teostatav olema ka jääst tehtud läätsega.

Jäälääts osutas hea teene Jules Verne'i romaanis „Kapten Hatterasi reis“. Kui reisijad olid kaotanud tuleraua ja jäänud tuleta kohutava pakasega, mis ulatus kuni —48<sup>0</sup>, tegi doktor Clouboni niisugusel viisil tuld.

„Seda õnnetust,“ ütles Hatteras doktorile.

„Jah,“ vastas see.

„Meil pole isegi pikksilma, millest võiksime võtta läätse, et tuld saada.“

„Tean,“ kostis doktor, „on väga kahju, et ei ole: päikesekiired on tugevad küllalt, et taela süüdata.“

„Pole midagi teha. Tuleb nälga kustutada toore karulihaga,“ tähendas Hatteras.

„Jah,“ ütles doktor mõtlikult, „äärmisel juhul küll. Aga mispärast mitte...“

„Mida kavatsete teha?“ uudishimutses Hatteras.

„Mul tuli mõte...“

„Mõte?“ hüüdis pootsman. „Kui teil tuli mõte, siis oleme päästetud!“

„Ei tea, kuidas õnnestub,“ kõhkles doktor.

„Mida te siis välja mõtlesite?“ küsis Hatteras.

„Meil pole läätse, aga me teeme selle!“

„Kuidas?“ küsis pootsman huvitatult.

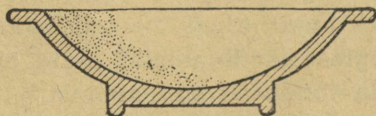
„Teeme jäätükist.“

„Kas see on tõesti võimalik...“

„Aga miks siis mitte? On ainult vaja, et päikese-  
kiired koondusid ühte punkti, ja siin võib jää meil



Joonis 125. „Doktor koondas päikesekiired taelale.“



Joonis 126. Kauss jääläätse valmistamiseks.

asendada parimat kristalli. Ma eelistaksin vaid tükki  
magevee jääd: see on kõvem ja ka läbipaistvam.“

„Kui ma ei eksi, siis see jäärahn,“ osutas pootsman  
jääpangale, mis oli neist saja sammu kaugusel, „otsus-

tades värvi järgi, on just selline, mida te vajate."

„Teil on õigus. Võtke kaasa kirves. Lähme, sõbrad!"

Kõik kolm siirdusid näidatud jääpanga juurde.

Tõepoolest, see oli magevee jää.

Doktori käsul löödi jääpanga küljest lahti tükk jääd, läbimõõdult üks jalg. Nüüd hakkas doktor seda kirvega siluma, siis viimistlema enne noaga, pärast lihtsalt käega. Saadi läbipaistev läät, nagu parimast kristallist. Päike oli üsna ere. Doktor asetaski läätse kiirte teele ja koondas need taelale.

Mõne sekundi pärast hakkas tael põlema."

Jules Verne'i jutt pole täiesti fantastiline: esimene katse puud põlema süüdata üsna suure jääläätsega tehti Inglismaal juba 1763. aastal, ja sellest ajast peale on neid katseid korduvalt edukalt korraldatud. Muidugi on raske valmistada läbipaistvat jääläätse selliste vahenditega nagu kirves, nuga ja „lihtsalt" käsi (48-kraadise pakase käes!). Jääläätse võib aga valmistada ka lihtsamalt: valada vett vastava kujuga anumasse ja lasta selles külmuda, siis anumast kergesti soojendades valmis läätse sellest välja võtta.

Sellise katse korraldamisel ärge unustage, et see õnnestub ainult selge külma ilmaga ja väljas, mitte aga toas aknaklaasi taga: klaas neelab suurema osa päikesekiirte energiast ja ülejäänud osast ei piisa selleks, et esile kutsuda tunduvat soojenemist.

Muide, tarvilik on tähendada, et jääläätse on nõrgem vesiläätsest: esiteks on ta vähem läbipaistev, teiseks murrab jää kiiri nõrgemini mitte ainult klaasist, vaid ka veest.

Üldiselt tuleb aga silmas pidada, et läätse süütoime on seda suurem, mida suurem on tema „valgusjõud", s. o. läätse läbimõõdu suhe fookusekaugusega;

seepärast on kasulikum võtta läätsed suure läbimõõdu ja väikese fookusekaugusega. Kõige õeldu põhjal võib julgesti kinnitada, et katse sellisel kujul, nagu see on esitatud joonisel 125, on määratud ebaõnnestumisele.

### Päikesekiirte abil.

Tehke järgmine talvel kergesti teostatav katse. Pange päikesekiirte poolt valgustatud lumele kaks ühesuurust riidelappi, üks must, teine hele. Tunni või kahe pärast veendute, et must riidetükk on vajunud lumme, kuna hele on jäänud endisse asendisse. Niisuguse erinevuse põhjust pole raske leida: musta lapi all sulab lumi kiiremini, sest tume riie neelab suurema osa temale langevatest päikesekiirtest; hele lapp aga, vastupidi, hajutab kiiri ja soojeneb seetõttu ka vähem kui tume lapp.

Selle õpetliku katse korraldas esimesena kuulus Ameerika Uhendriikide vabadusvõitleja Benjamin Franklin, kes tegi oma nime surematuks piksevarda leiutamiseks. „Ma võtsin rätsepalt mitu ruudukujulist erivärvilist kalevitükki,“ kirjutab ta. „Nende hulgas olid: must, tumesinine, helesinine, roheline, purpurne, punane, valge ja veel teised värvused ja värvuste varjundid. Uhel selgel päikesepaistelisel hommikul panin ma nad lumele. Paari tunni pärast oli must lapp nii sügavale lumme vajunud, et päikesekiired enam temani ei jõudnud; tumesinine oli vajunud peaaegu niisama palju kui must; helesinine märksa vähem; ülejäänud värvilised lapid seda vähem, mida heledam oli nende värvus. Valge lapp jäi lume pinnale, seega polnud üldse lumme vajunud.“

„Milleks oleks vajalik teooria, kui poleks võimalik sellest mingit kasu saada?“ hüüab ta sel puhul ja jätkab: „Kas me sellest katsest ei saa järeldada seda, et tumedad rõivad soojas päikesepaistelises kliimas on vähem kohased kui heledad, sest nad soojendavad meie keha päikese käes rohkem, ja kui veel seejuures teha liigutusi, mis samuti keha soojendavad, siis tekib liigselt soojust? Kas ei pea naiste ja meeste suvised peakatted olema heledad, et vältida liigset soojust, mis tekitab mõnedel päikesepiste? Edasi, kas mustaks värvitud seinad ei neela päeva jooksul nii palju päikese-soojust, et jääda ööseks teatava määrani soojaks ja kaitsta puuvilju külma eest? Kas tähelepanelik vaatleja ei võiks leida veel teisigi suurema või väiksema tähtsusega võimalusi?“

Millised võivad olla need järeldused ja kasulikud rakendused, seda näitab ka näide Saksa lõuna-polaar-ekspeditsioonist laeval „Gauss“ aastast 1903. Laev külmus jäässe ja kõik tavalised viisid teda sealt vabastada ei andnud tulemusi. Lõhkeained ja käikulastud saed kõrvaldasid ainult mõnisada kuupmeetrit jääd, ja laev jäi ikkagi jäässe. Siis pöörduti päikesekiirte abi poole: tumeda tuha ja söega kaeti jääl kahe kilomeetri pikkune ja kümne meetri laiune vöönd, mis kulges laevalt lähima laiema jääpraoni. Olid selged pikad polaarsuve päevad — ja päikesekiired tegid seda, millega ei tulnud toime dünamiit ja saag. Tuha ja söe all olev jää hakkas sulama, murdus piki seda vööndit ja laev vabanes jääst.

Kõige imestusväärsema ja ootamatuma ettepaneku selle füüsikalise nähtuse rakendamiseks tegi nõukogude meteoroloog Žukov. Tema mõte seisneb selles, et meie Kesk-Aasia mägedes kogunenud liustikke võiks kunstli-

kult sulatada ja sellega suurendada veehulki jõgedes, mis algavad neis liustikes. Sulatamist tuleb teostada liustike pinna kunstliku mustakstegemisega. Selle võtte proovimine 1934. aastal (Tienšani observatooriumi poolt Davõdovi liustikul) andis väga häid tulemusi. Osutus, et liustiku mustakstegemine kiirendas sulamist suvekuude jooksul selge taeva puhul 4—5-kordselt, kaetud taeva puhul 2-kordselt. Need katsed pole veel lõppenud (pole veel lõplikult valitud värvaine), aga juba see, mis on saavutatud, on paljulubav.

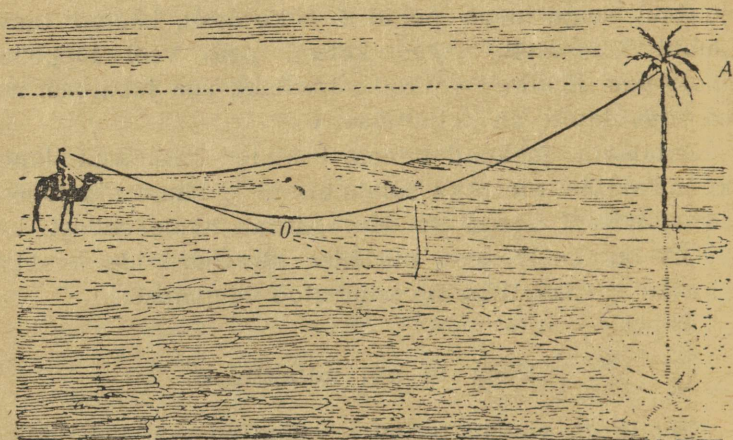
Ootamatu teekond lumele asetatud tumedast lapist kuni liustike kunstliku sulatamiseni ja suure ala jõgede rikastamiseni veega on suurepärase näide sellest, kui vägev on see looduse uurimise meetod, mida kasutab füüsika sotsialistliku ülesehitustöö tingimustes.

### Vana ja uut miraažidest.

Kõigile on vististi tuttav tavalise miraaži füüsikaline põhjus. Palavusest tuline kõrveliiv omandab peegli omadused, sest et liivaga kokkupuutuval õhukihil on väiksem tihedus kui kõrgematel õhukihtidel. Väga kaugelt esemelt kaldu tulnud valguskiir muutub kokkupuutel selle õhukihiga sel määral kõveraks, et ta oma edasisel levimisel kaugeneb jälle maapinnast ja vaatleja silma sattununa paistab olevat tulnud peeglit väga suure peegeldusnurga all. Ja vaatlejale näib, nagu oleks tema ees kõrves veepind, milles peegelduvad selle kaldal asetsevad esemed (joon. 127).

Muide, oleks õigem öelda, et soojendatud õhukiht kuumentatud liival peegeldab kiiri mitte nagu peegel, vaid kui veepind, kui seda peegeldumist vaadata alt, vee sees. Siin ei toimu tavaline peegeldumine, vaid

peegeldumine, mida füüsikas nimetatakse sisepeegeldumiseks. Selleks on vaja, et kiir langeks väga kaldu õhukihtidele, rohkem kaldu, kui on näidatud lihtsustatud joonisel 127; muidu pole kiire langemisnurk suurem teatavast piirnurgast, ilma milleta pole sisepeegeldumine mõeldav.



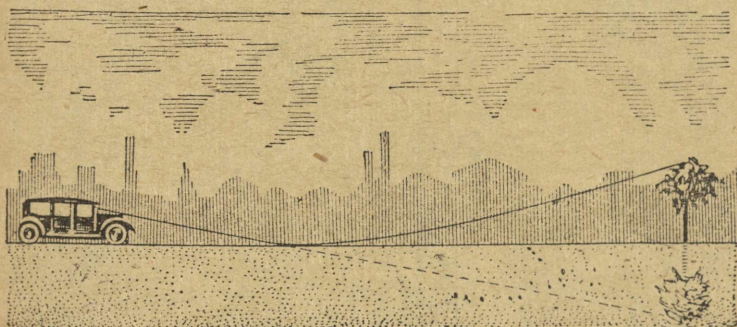
Joonis 127. Kuidas tekib kõrves miraaž. See joonis, mida tavaliselt esitatakse õpikuis, kujutab maa poole kallutatud valguskiire teed liiga järsuna.

Möödamannes juhime tähelepanu selle teooria ühele küljele, mis võib arusaamatusi tekitada. Toodud seletus nõuab sellist õhukihtide asetust, kus tihedamad kihid on hõredamate kihtide peal. Meil on aga teada, et tihe raske õhk püüab alla laskuda ja välja suruda tema all olevat kergemat õhku. Kuidas on võimalik selline tiheda ja hõreda õhukihi asetuse, nagu see on vajalik miraažide tekkeks?

Lahendus seisneb selles, et nõutav õhukihtide asetuse esineb mitte liikumatus, vaid liikuvus õhus. Pinna poolt

soojendatud õhk ei jää siia püsima, vaid liigub pidevalt üles ja asendatakse otsekohe uue soojendatud õhukihi. Pidev kihtide vahetus tingib seda, et tulikuuma liivaga puutub alati kokku hõrendatud õhukiht, kuigi mitte üks ja seesama, aga see pole ju kiirte käigule oluline.

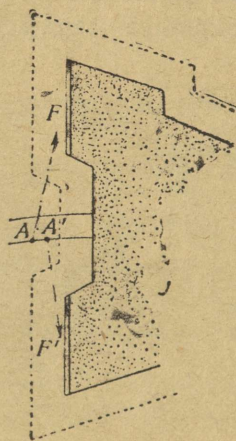
Vaadeldav liik miraaže oli tuttav juba väga kauges minevikus. Moodsas meteoroloogias nimetatakse seda „alumiseks“ miraažiks (erinevalt „ülemisest“ miraažist, mis tekib sisepeegeldumise tagajärjel õhu ülemistes hõredais kihtides).



Joonis 128. Miraaž gudroneeritud maanteel.

Enamik inimesi on veendunud, et see klassiline miraaž on vaadeldav ainult lõunamaade kõrbede kuumas õhus ega esine kunagi põhjalaiustes. Siiski võib alumist miraaži üsna tihti näha ka meil. Iseäranis sageli esinevad niisugused nähtused suvisel ajal asfalt- ja gudroonteedel, mis oma tumeda värvuse tõttu päikese käes tugevasti soojenevad. Kaugelt paistab tee matt pind sellisel korral nagu veega kaetuna ja peegeldab kaugeid esemeid. Kiirte käik sellise miraaži puhul on näidatud joonisel 128. Teatava tähelepanelikkuse puhul võib sääraseid nähtusi näha sagedamini kui arvatakse.

Esineb aga veel üks liik miraaže, külgmiraaž, mille olemasolu tavaliselt ei aimatagi. See on peegeldumine soojendatud püstseinalt. Sellist juhtumit kirjeldab üks prantsuse autor. Lähenedes kindluse fordile pani ta tähele, et fordil tasane betoonsein hakkas äkki läikima nagu peegel, peegeldades ümbritsevat maastikku, maapinda, taevast. Olles teinud veel mõne sammu, nägi ta sama nähtust ka fordil teise seina juures. Paistis, nagu

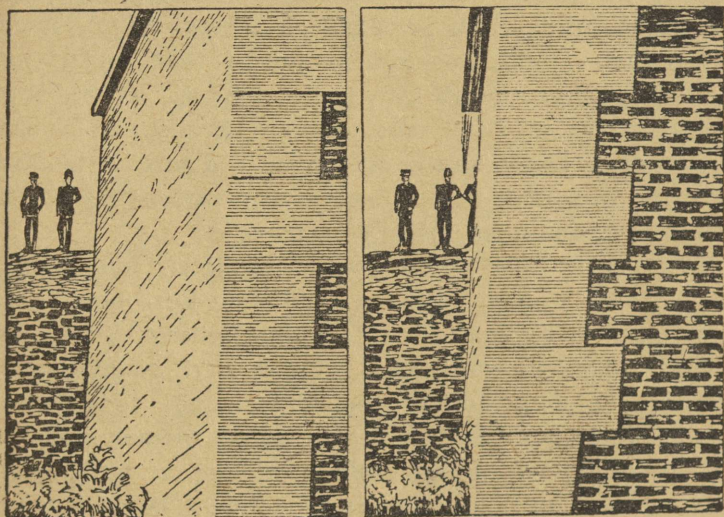


Joonis 129. Plaan fordist, kus nähti miraaži. Sein  $F$  paistis peeglina punktist  $A$ , sein  $F'$  punktist  $A'$ .

oleks hall ebatasane pind muutunud poleeritud pinnaks. Oli väga palav ilm ja seinad pidid olema väga tulised — selles seisneski nähtuse põhjus. Lisandatud joonisel 129 on näidatud fordil seinte asetus ( $F$  ja  $F'$ ) ja vaatleja asukoht ( $A$  ja  $A'$ ). Selgus, et miraaži on näha iga kord, kui sein päikesekiirtest küllaldaselt soojeneb. Seda nähtust õnnestus isegi fotografeerida.

Joonisel 130 on kujutatud (vasakul) fordil sein  $F$  matina, pärast (paremal) peegelläikivana (pildistatud punktist

A'). Vasakpoolsel ülesvõttel on näha tavaline hall betoon, mis muidugi ei peegelda kaht seinä lähedal seisvat sõdurit. Paremäl on sama sein muutunud suuremas osas peegelpinnaks, millel tekkis seinale lähemal seisva sõduri sümmeetriline kujutis. Muidugi pole peegelpinnaks seinä pind, vaid pinnaga kokkupuutuv soojendatud õhukiht.



Joonis 130. Hall ebatasane sein (vasakul) muutus äkki nagu poleerituks, peegeldavaks (paremal).

Palavatel suvepäevadel tuleks tähelepanu juhtida suurte hoonete kuumenenud seintele, et näha, kas pole tekkinud miraaži. Pole kahtlust, et mõninga tähelepanelikkuse puhul selliste miraažijuhtude arv tunduvalt suureneb.

## „Roheline kiir“.

„Kas olete kunagi vaadelnud Päikese loojangut mere silmapiiri taha? Jah, kahtlemata. Kas olete Päikest jälginud hetkeni, mil tema ketta ülemine serv puutub kokku horisondiga ja siis kaob? Tõenäoliselt küll. Kas olete aga täheldanud nähtust, mis toimub hetkel, mil särav taevakeha heidab oma viimase kiire, muidugi sel korral, kui taevast on pilvitu ja täielikult läbipaistev? Võib-olla mitte. Ärge jätke kasutamata juhust teha sellist vaatlust: teie silma tungib kiir, mitte punane, vaid roheline, imepärast rohelist värvust, sellist värvust, mida ükski kunstnik ei suuda saada oma paletil ja mis ka looduses ei esine ei taimestiku mitmekesisetes varjundites ega ka kõige läbipaistvama mere värvustes.“

Säärane artikkel ühes Inglise ajalehes viis vaimustusse Jules Verne'i romaani „Roheline kiir“ noore naiskangelase ja õhutas teda ette võtma mitmeid reise ainsa sihiga näha oma silmadega rohelist kiirt. Nagu kirjanik jutustab, ei õnnestunud noorel šotlannal seda kaunist loodusnähtust näha. Aga see on siiski olemas. Roheline kiir pole legend, kuigi sellega on seotud palju legendaarset. See on nähtus, mida võib imetleda iga looduse-sõber, kui tal on küllalt kannatust seda otsida.

Mispärast ilmub roheline kiir?

Selle nähtuse põhjust taipate, kui meenutate, millistena te näete esemeid läbi klaasprisma vaadates. Tehke järgmine katse: hoidke prisma horisontaalselt silma ees, lai tahk allapoole, ja vaadake läbi selle seinale kinnitatud paberitükki. Te märkate, et paber on esiteks tunduvalt kõrgemal oma tõelisest asukohast ja teiseks on tal ülal violettsinine, all aga kollakaspunane rant. Kujutise kõrgem asukoht on tingitud valguse murdumisest,

värvilised ääred aga klaasi dispersioonist, s. o. klaasi omadusest murda värvilisi kiiri mitte ühetugevuselt. Violetised ja sinised kiired murduvad tugevamalt kui teised värvilised kiired, seepärast näemegi ülal violettsinist äärt; punased kiired murduvad kõige nõrgemalt ja seepärast meie paberi alumisel äärel on punane rant.

Selleks et järgnevast arutlusest paremini aru saada, on vajalik peatuda värviliste äärte tekkimisel. Prisma hajutab paberilt lähtuvad valged kiired spektrivärvusteks, andes seejuures palju värvilisi paberilehe kujutisi, mis asetuvad murdumise järjekorras osaliselt üksteise peale. Need üksteise peale asetunud värvilised kujutised annavad silmale koos mõjudes valge värvuse mulje (spektrivärvuste liitumine), kujutise ülemisel ja alumisel serval aga ei liitu kõik spektrivärvused, seepärast ongi paberi ääred värvilised. Kuulus luuletaja Goethe, kes oli selle katse korraldanud, kuid selle mõttest polnud aru saanud, arvas, et ta on avastanud Newtoni värvuste-teooria ekslikkuse, ja kirjutas oma „Teaduse värvustest“, mis rajaneb peaaegu täielikult väärkujutlustele. Meie lugeja loodetavasti ei korda suure luuletaja eksimusi ega hakka arvama, et prisma hakkab tema meeleheaks kõiki esemeid ümber värvima.

Maa atmosfäär on meie silmadele kui tohutu suur õhust prisma, mille alus on pööratud allapoole. Vaadates horisoni lähedal asetsevale Päikesele näeme teda läbi õhust prisma. Päikeseketta ülemine äär on sinakasroheline, alumine aga kollakaspunane. Niikaua kui Päike on pealpool horisonti, katab tema ketta valgus oma eredusega vähem eredad värvilised ääred ja me ei näe neid üldse. Kuid Päikese tõusu ja loojangu hetkedel, mil peaaegu kogu tema ketas on horisoni all, võime

näha selle ketta ülemist sinist äärt. See on kahevärvi-  
line: kõrgemal sinine, madalamal siniste ja roheliste  
kiirte segunemisest helesinine riba. Kui õhk horisondi  
lähedal on täiesti puhas ja läbipaistev, näeme sinist äärt,  
„sinist kiirt“. Sagedamini aga sinised kiired hajutatakse  
atmosfääri poolt ja järele jääb vaid roheline äär — „rohe-  
line kiir“. Enamikul juhtudest hajutab ebaselge õhkkond  
nii sinised kui ka rohelised kiired; siis pole näha mingit  
ranti: Päike loojub tulipunase kettana.

Pulkovo astronoom G. A. Tihhov, kes „rohelistest kii-  
rest“ kirjutas eriuurimuse, tutvustab meid selle nähtuse  
üksikute tunnustega.

„Kui Päike on loojangul punane ja temasse on palja  
sillega kerge vaadata, siis võib kindlasti öelda, et rohe-  
list kiirt ei ilmu.“ Põhjus on arusaadav: päikeseketta  
punane värvus viitab siniste ja roheliste kiirte tugevale  
hajutamisele atmosfääri poolt; seega puudub päikesek-  
etta ülemine värviline äär. „Vastupidi,“ jätkab astro-  
noom, „kui päikeseketas on oma tavalist valkjaskollast  
värvust vähe muutnud ja loojub väga eredana (s. o. kui  
kiirte hajutamine atmosfääri poolt on väike. — J. P.),  
siis võib suure tõenäosusega oodata roheline kiire ilmu-  
mist. Siin on aga tähtis, et silmapiir oleks järsk joon  
ebatasasusteta, metsata, ehitisteta jne. Need tingimused  
täituvad kõige paremini merel, seepärast ongi roheline  
kiir nii hästi tuntud meremeestele.“

Seega, et näha „rohelist kiirt“, tuleb selge ilmaga vaa-  
delda Päikest loojangul või tõusul. Lõunamaades on tae-  
vas horisondi lähedal läbipaistvam kui meil, seepärast  
võib seal „roheline kiire“ ilmumist vaadelda sagedamini.  
Aga ka meil pole see nähtus nii haruldane, nagu seda  
vist Jules Verne'i romaani mõjul paljud arvavad. Rohe-

lise kiire visad otsingud tasuvad end varem või hiljem. Seda huvitavat nähtust on õnnestunud kinni püüda isegi pikksilmas. Kaks Elsassi astronoomi kirjeldavad sellist vaatlust järgmiselt:

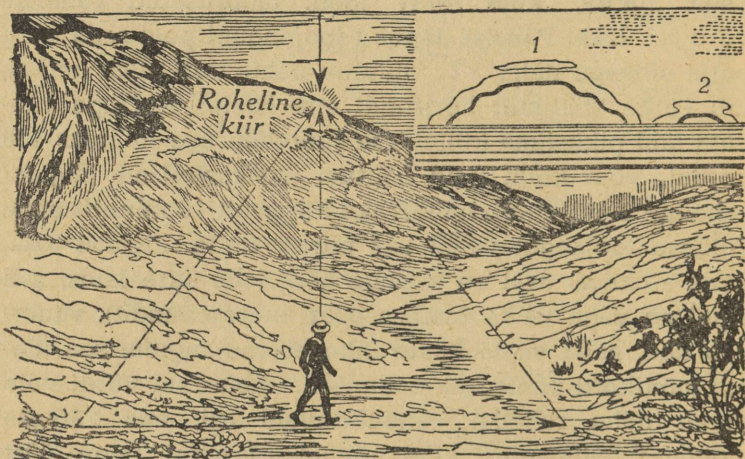
„Viimasel minutil enne loojangut, kui Päikesest on veel näha märgatav osa, on ta ketas, mille piiriks on laineliselt liikuv, kuid terav joon, ümbritsetud roheline võruuga. Kuni Päikese lõpliku loojanguni pole seda võru palja silmaga näha. Ta muutub nähtavaks alles hetkel, mil Päike täielikult horisondi alla kaob. Kui aga vaadata läbi pikksilma küllaldase suurendusega (näiteks 100 korda), võib kõiki neid nähtusi üksikasjaliselt jälgida: roheline äär muutub nähtavaks hiljemalt 10 minutit enne Päikese loojangut. See äär piirab ketta ülemist osa, kuna alumisel osal on punane äär. Selle ääre laius, mis algul on väga väike (umbes paar kaaresekundit), suureneb üha, mida enam Päike läheneb loojangule; see ulatub mõnikord poole kaareminutini. Rohelisel võrul võib sageli näha rohelisi väljaulatuvaid osi, mis Päikese vajumisel silmapiiri alla näivad libisevat tema äärt mööda kuni ülemise punktini; mõnikord nad eralduvad kettast ja säravad eraldatult mõne sekundi jooksul, kuni kustuvad“ (joon. 131).

Tavaliselt kestab nähtus sekundi, kaks. Erakorralistel tingimustel võib selle kestus tunduvalt pikeneda. On täheldatud juhtumit, kus rohelist kiirt vaadeldi üle viie minuti. Päike loojus kauge mäe taha ja kiiresti kõndiv vaatleja nägi päikeseketta rohelist äärt lausa libisevat mäe nõlvakut mööda (joon. 131).

Väga õpetlikud on roheline kiire vaatlused Päikese tõusul, kui ketta ülemine äär hakkab kerkima üle horisondi. See nähtus lükkab ümber tihti väljendatud

oletuse, nagu oleks roheline kiir optiline pete, mis on tingitud silma väsimusest loojuva Päikesese ereda valguse tõttu.

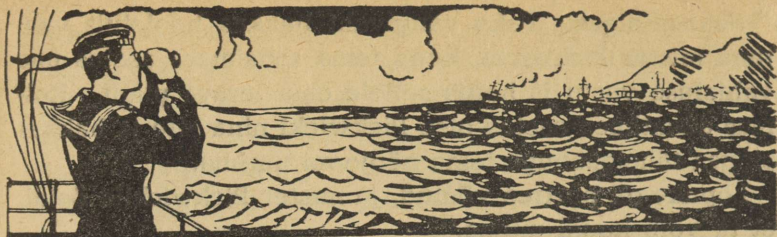
Päike pole ainus rohelisi kiiri tekitav taevakeha. Seda nähtust on tähele pandud ka tõusval Veenusel; on teada kaks sellist vaatlust.



Joonis 131. „Rohelise kiire” kestev vaatlemine: vaatleja nägi „rohelist kiirt” mäeharja tagant viie minuti jooksul. Ülal paremal — „roheline kiir” vaadatuna läbi pikksilma. Päikesekettal on korrapäratud piirjooned. Asendis 1 pimestab päikeseketta valgus silma ja takistab rohelse randi nägemist palja silmaga. Asendis 2, mil Päike on pea-aegu kadunud, on võimalik näha „rohelist kiirt” palja silmaga.

Roheline kiir, nagu ka mõned teised nähtused atmosfäärioptikast, pole veel kõigis üksikasjus selgitatud. Põhjus seisneb selles, et ta hakkas võrdlemisi hilja füüsikute tähelepanu paeluma ja vaatlusi tema kohta on vähe.

Pealtnägijate üksikasjalised vaatlused võivad teadusele kahtlemata kasu tuua; füüsikasõprade hoolikad vaatlused on siin väga teretulnud.



Uheksas peatükk.

## Nägemine ühe ja kahe silmaga.

### Kui veel polnud fotograafiat.

Fotografeerimine on muutunud meie igapäevases elus niivõrd tavaliseks, et on raske kujutleda, kuidas said sellela läbi meie esisad, isegi veel mitte kuigi kauges minevikus. Dickens oma „Mälestustes Pickwicki klubi“ jutustab lõbusalt, kuidas jäädvustati inimese välimust Inglismaa riiklikes asutistes sada aastat tagasi. Tegevus toimub võlavanglas, kuhu toodi Pickwick:

„Pickwickile öeldi, et tal tuleb istuda seni, kuni temast võetakse portree.

„Minust võetakse portree!“ hüüdis mister Pickwick.

„Teie pilt ja kuju, sir,“ vastas tüse vangivaht. „Me oleme meistrid võtma portreesid; see peaks teile teada olema. Te ei jõua veel end pööratagi, kui juba joonis on valmis. Võtke istet, sir, ja tundke end nagu kodus.“

Täites käsku mister Pickwick istus. Tema teener Samuel sosistas talle kõrva, et väljendust „võtta portree“ tuleb siin mõista piltlikult:

„See tähendab, sir, et vangivahid hakkavad teie nägu silmitsema, et eraldada teid teistest vahialustest.“

Seanss algas. Paks vangivaht hakkas hooletult vahitima mister Pickwicki, kuna tema seltsimees asetus uue vahialuse vastu ja heitis sellele oma terava pilgu. Kolmas džentlmen asetus otse Pickwicki nina ette ja hakkas pingsa tähelepanuga tema näojooni uurima.

Lõpuks oli portree võetud, ja mister Pickwickile öeldi, et ta võib kongi minna."

Veel varem täitis selliste mällu jäädvustatud „portreede“ aset tunnuste loend. Meenutage Grigori Otrepejevi isiku kirjeldust keiserlikus ukaasis Puškini draamas „Boris Godunov“: „Kasvult väike, rind lai, üks käsi lühem kui teine, silmad sinised, juuksed rusked, põsel soolatüugas, laubal teine.“ Meie päevil lisatakse lihtsalt vaid foto, mõnikord ka sõrmejalg.

### Mida paljud ei oska.

Fotograafia jõudis meile eelmise sajandi neljakümnendail aastail, algul nn. dagerrotüüpia<sup>1</sup> kujul (ülesvõtted metallplaatidele). Selle fotografeerimisviisi ebamugavus seisnes selles, et tuli poseerida aparadi ees üsna kaua, kümneid minuteid...

„Minu vanaisa,“ nii jutustab Leningradi füüsik B. P. Veinberg, „istus fotokaamera ees nelikümmend minutit, et saada ühtainsat paljundamatut dagerrotüüpi.“

Aga siiski võimalus saada portreesid ilma kunstnikuta oli sedavõrd uudne, peaaegu imeväärne, et inimesed ei saanud niipea selle mõttega harjuda. Vanaaegses vene ajakirjas (1845. a.) jutustatakse sel puhul lõbus lugu:

„Veel seniajani ei taha paljud uskuda, et dagerrotüüp teeb ülesvõtteid ise. Keegi väga lugupeetud härra tahtis

<sup>1</sup> Selle menetluse leiutaja Daguerre'i nime järgi.

endale tellida portreed. Peremees (s. o. fotograaf. — J. P.) pani ta istuma, seadis klaasid valmis, lükkas lauakese aparaadisse, vaatas kella ja lahkus toast. Niikaua kui peremees toas oli, istus lugupeetud härra nagu kinnikasvanuna toolil, kui peremees oli aga toast lahkunud, arvas härra, kes soovis portreed saada, rahuliku istumise tarbetu olevat, tõusis üles, nuuskas tubakat, vaatas igast küljest dagerrotüüpi (aparaati), pani silma klaasi juurde, raputas pead, lausus „kaval värk“ ja hakkas mööda tuba kõndima.

Peremees naasis, jäi hämmastunult ukstel seisma ja hüüdis:

„Mis te teete? Ma ütlesin ju teile, et tuleb rahulikult istuda!“

„Noh, ma ju istusin. Ma tõusin üles vaid siis, kui te toast väljusite.“

„Siis oligi vaja istuda.“

„Miks peaksin siis asjatult istuma?“

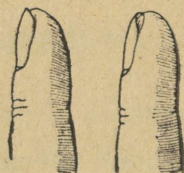
Teile näib, lugeja, et nüüd oleme väga kaugel iga-sugustest naiivsetest kujutlustest päevapildistamise kohta. Siiski praegugi pole veel enamik inimesi fotografeerimisega täiesti tuttavad, ja muuseas on vähe neid, kes oskaksid vaadata valmis ülesvõtteid. Te arvate, et siin pole ju midagi osata: ülesvõtte tuleb kätte võtta ja vaadata. Aga see pole sugugi nii lihtne: fotod kuuluvad niisuguste igapäevaste asjade hulka, mida me ei oska käidelda, vaatamata sellele, et puutume nendega alatasa kokku. Nii asjaarmastajate kui ka elukutseliste fotograafide enamik, rääkimata tavalistest kodanikest, ei vaata fotosid nii nagu vaja. Fotografeerimiskunst on peaaegu sada aastat vana, kuid sellest hooli-

mata enamik inimesi ei tea, kuidas fotosid õigesti vaadata<sup>1</sup>.

### Kunst fotosid vaadata.

Fotokaamera on oma ehituselt suur silm: kujutise suurus aparraadi mattklaasil oleneb ülesvõetavate esemete kaugusest objektiivist. Fotokaamera kinnistab plaadile perspektiivse pildi, mida oleksime näinud silmaga (nimelt ühe silmaga), kui silm oleks olnud objektiivi asemel. Siit järeldub, et kui tahame saada ülesvõttest sama nägemismuljet nagu loodusest endast, peame:

- 1) vaatama ülesvõtet ainult ühe silmaga ja
- 2) hoidma ülesvõtet vastaval kaugusel silmast.



Joonis 132. Nii paistab sõrm vasakule ja paremale silmale, kui kätt hoida näo ligidal.

Pole raske mõista, et ülesvõtte vaatamisel kahe silmaga peame paratamatult nägema tasapinnalist pilti, mitte aga pilti, millel on sügavus. See järeldub paratamatult meie nägemise iseärasustest. Kui vaadata mingit keha, siis ei teki meie silmade võrkkestadele ühesugused kujutised: parem silm ei näe täpselt seda,

<sup>1</sup> „Huvitava füüsika“ paljud lugejad, nende hulgas inimesed, kes puutuvad lähedalt kokku füüsikaga ja fotograafiaga, tunnistasid mulle, et nad said esmakordselt sellest raamatust teada, kuidas fotosid vaadata.

mida näeb vasak silm (joon. 132). See kujutiste erinevus ongi oma olemuselt peapõhjuseks, mispärast kehad paistavad meile ruumilistena: meie teadvuses liituvad need kaks ebavõrdset kujutist üheks reljееfseks kujutiseks (sellele ongi teatavasti rajatud stereoskoobi ehitus). Hoopis teine asi, kui meie ees on tasapinnaline ese, näiteks seina pind; mõlemad silmad saavad nüüd identsed kujutised. Teadvusele ongi see kujutiste identsus tasapinnalise keha tunnuseks.

Nüüd on selge, millise vea me teeme, kui vaatame fotosid kahe silmaga; sellega püüame oma teadvust veenda selles, et meie ees on tasapinnaline pilt. Kui esitame kahele silmale seda, mis on määratud ainult ühele, takistame end nägemast seda, mida kujutab foto; kogu illusioon, mida tahab meile anda nii täiuslikult fotokaamera, variseb selle eksisammu tõttu kokku.

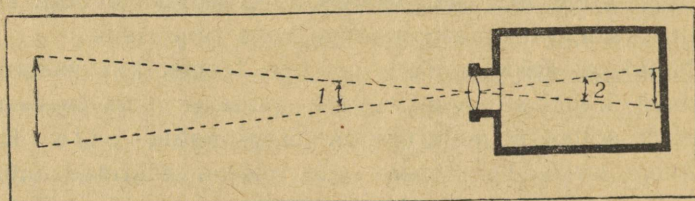
### **Kui kaugelt tuleb fotosid vaadata.**

Niisama tähtis on ka teine juhis: hoida ülesvõtet vastaval kaugusel silmast; vastasel korral hävib õige perspektiivsus.

Missugune peab siis see kaugus olema?

Täieliku kujutluse saamiseks tuleb ülesvõtet vaadata sama vaatenurga all, mille all „nägi“ kujutist kaamera objektiiv mattklaasil või, mis on seesama, millise nurga all „nägi“ objektiiv pildistatud kehasid (joon. 133). Siit järeldub, et ülesvõtet tuleb vaadata kauguselt, mis on niisama palju kordi väiksem keha ja objektiivi vahelisest kaugusest, kui mitu korda on kujutis väiksem kehas. Teiste sõnadega, ülesvõtet tuleb hoida silmast kaugusel, mis on ligikaudu võrdne objektiivi fookuse kaugusega.

Kui arvestada, et enamiku asjaarmastajate fotoaparaatide fookusekaugus on 12—15 cm, siis saame aru, et me peaaegu mitte kunagi ei vaata fotosid õigelt kauguselt. Normaalse silma parim nägemiskaugus (25 cm) on peaaegu kaks korda suurem kui mainitud kaugus. Tasapinnalistena paistavad meile ka seinal ripuvad fotod, sest neid vaadatakse veel suuremalt kauguselt.



Joonis 133. Fotoaparaadis võrdub nurk 1 nurgaga 2.

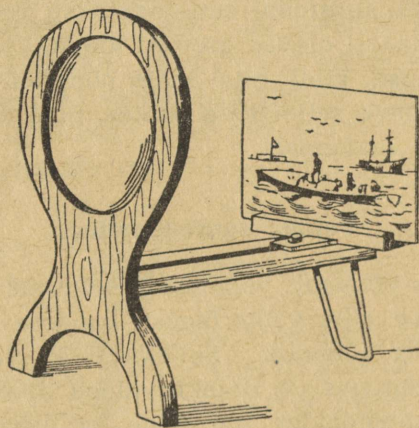
Ainult lühinägevad inimesed, kelle parim nägemiskaugus on lühike (aga ka lapsed, kes on võimelised nägema lühikeselt kauguselt), saavad endale lubada naudingut, mida annab tavaline ülesvõtte õigel vaatamisel (ühe silmaga). Hoides fotot 12—15 cm kaugusel silmast ei näe nad tasapinnalist pilti, vaid reljeefset kujutist, milles esiplaan eraldub tagaplaanist peaaegu nagu stereoskoobis.

Ma loodan, et lugeja on nüüd nõus sellega, et enamasti ei saa me täiel määral seda naudingut, mida võivad pakkuda fotod, ja kaebame sageli täiesti asjatult nende elutuse üle. Asi seisneb selles, et me ei hoia ülesvõtet õigel kaugusel silmast ja vaatame kahe silmaga kujutist, mis on määratud ainult ühe silma jaoks.

### Suurendusklaasi imelik toime.

Nagu me praegu seletasime, võivad lühinägijad näha tavalist ülesvõtet reljeefsenä. Aga mida peavad tegema

normaalsete silmadega inimesed? Nad ei saa hoida pilte silmale liialt lähedal; neile tuleb siin appi suurendusklaas. Vaadates pilte läbi kahekordse suurendusega lääts, võidakse omandada lühinägija nägemise ülalloodud paremused, s. o. ilma silma pingutamata näha pildis reljeefsust ja sügavust. Vahe niiviisi saadud mulje ja selle mulje vahel, mis saadakse, vaadates pilti kahe silmaga suurelt kauguselt, on väga suur. Selline tavaliste fotode vaatamise viis asendab peaaegu täiesti stereoskoobi efektid.



Joonis 134. Luup päevapiltide vaatlemiseks.

Nii saab arusaadavaks, mispärast fotod tihti muutuvad reljeefseks, kui neid vaadata ühe silmaga läbi suurendusklaasi. See fakt on üldtuntud; fototarvetekauplustes on isegi müügil erilised mainitud asjaolule rajatud riistad ülesvõtete vaatamiseks (joon. 134). Kuid õiget seletust sellele nähtusele võib kuulda harva. „Huvitava füüsika“ üks retsensente kirjutas mulle selles asjas:

„Järgmises trükis arutage küsimust, mispärast tavaline foto paistab läbi luubi vaadates reljeefsena. Mina arvan, et stereoskoobi keerukas seletus ei talu kriitikat. Proovige vaadata läbi stereoskoobi ühe silmaga: vastupidi teooriale jääb reljeefsus püsima.“

Muidugi, lugejatele on nüüd selge, et see fakt ei kõiguta mingil määral stereoskoobi teooriat.

Oeldul põhineb ka mänguasjadekauplustes müüdavate niinimetatud panoraamide huvitav efekt. Nendes väikeses riistades vaadatakse maastiku või inimeste pilte ühe silmaga läbi luubi. Sellestki piisab juba reljeefsuuse saavutamiseks; illusiooni suurendatakse veel sellega, et üksikud esiplaanil olevad esemed lõigatakse eraldi välja ja paigutatakse pildi ette; meie silm on väga tundlik lähedate esemete reljeefsuuse suhtes, pole aga seda kaugete esemete vaatamisel.

### Fotode suurendamine.

Kas poleks võimalik valmistada selliseid fotosid, mida normaalne silm võiks õigesti vaadata ilma luubita? See on täiesti võimalik. Selleks tuleb vaid kasutada pika fookusekaugusega objektiividega aparate.

Pärast eespoolöeldut on selge, et ülesvõte, mis on saadud objektiiviga, mille fookusekaugus on 25—30 cm, paistab küllaldaselt reljeefsena, kui teda vaadata ühe silmaga tavalisest kaugusest.

Võib saada isegi niisuguseid ülesvõtteid, mis ei paista tasapinnalistena vaatamisel kahe silmaga suurelt kaugusest. Me juba rääkisime, et kui kujutised mõlemas silmas on identsed, siis nad liituvad meie teadvuses üheks tasapinnaliseks pildiks. See teadvuse kalduvus aga nõrgeneb kiiresti kauguse suurenemisel. Praktika

näitab, et võib vaadata ülesvõtteid, mis on saadud 70 cm fookusekaugusega objektiiviga kasutades, vahetult kahe silmaga, ilma et pildid kaotaksid oma reljeefsust.

Vajadus kasutada pika fookusekaugusega objektiive on aga seotud ebamugavustega. Seepärast tutvustangi veel ühe viisiga: see seisneb selles, et suurendatakse tavalise aparaadiga saadud ülesvõtet. Sellisel suurendamisel suureneb vastavalt ka kaugus, millelt tuleb ülesvõtet vaadata. Kui fotot, mis on võetud 15 cm fookusekaugusega objektiiviga kasutades, suurendada 4 või 5 korda, siis on see piisav selleks, et saada soovitatavat efekti: suurendatud fotosid võib vaadata kahe silmaga 60—70 cm kauguselt. Teatav selgusetus siin muljet ei riku, sest see pole vaatamisel suurelt kauguselt tähelepanndav. Reljeefsuse ja perspektiivsuse suhtes võidab ülesvõtte kahtlemata.

### **Parim koht kinos.**

Sagedad kinokülastajad on arvatavasti tähele pannud, et mõnedel piltidel on eriti suur reljeefsus: kujud eralduvad taustast ja on nii ruumilised, et lausa unustad kinolinala olemasolu ja arvad nägevat tõelist maastikku või elavaid näitlejaid laval.

Selline reljeefsus ei olene mitte filmist endast, nagu tihti arvatakse, vaid kohast, kus asetseb külastaja. Kinoülesvõtted, kuigi need on tehtud lühikese fookusekaugusega kaameratega, projekteeritakse ekraanile väga tugevasti (korda sada) suurendatult. Nii võib neid vaadata kahe silmaga suurelt kauguselt ( $10 \text{ cm} \times 100 = 10 \text{ m}$ ). Suurim reljeefsus saavutatakse siis, kui vaadatakse filmi sama vaatenurga all, mille all „vaatas“ aparaat esemeid

pildistamise ajal. Siis esinebki meile loomulik perspektiivsus.

Kuidas määrata kaugust, mis vastaks sellele kõige soodsamale vaatenurgale? Selleks tuleb valida koht esiteks pildi keskkoha vastas ja teiseks sellisel kaugusel ekraanist, mis oleks niisama palju kordi suurem pildi laiupest, mitu korda on kinoülesvõtte aparadi objektiiv fookusekaugus suurem filmi laiusest.

Kinoülesvõteteks kasutatakse tavaliselt kaameraid, millede fookusekaugused on vastavalt ülesvõtte iseloomule 35 mm, 50 mm, 75 mm ja 100 mm. Tavaline filmilindi laius on 24 mm. Fookusekaugusele näiteks 75 mm saame suhte:

$$\frac{\text{määratav kaugus}}{\text{pildi laius}} = \frac{\text{fookusekaugus}}{\text{filmi laius}} = \frac{75}{24} \approx 3.$$

Järelikult selleks et määrata, millisel kaugusel ekraanist tuleb istuda, on vaja pildi laiust suurendada umbes 3 korda. Kui pildi laius ekraanil on 6 sammu, siis on parim koht filmi vaatamiseks umbes 18 sammu kaugusel ekraanist.

Mainitud asjaolu tuleb silmas pidada, kui katsetatakse ettepanekuid, mis taotleavad anda kinopildile suuremat reljeefsus: püütakse omistada katsetatavale leiutisele seda, mis on tingitud eespoolmainitud põhjustest (seda laadi vigu on tehtud).

### Nõuanne pildiajakirjade lugejaile.

Fotode reproduktsioonid raamatuis ja ajakirjades erinevad muidugi samu omadusi, mis originaalülesvõteteki: ka need muutuvad reljeefseks, kui neid vaadata ühe silmaga ja vastavalt kauguselt. Et mitmesugused fotod on pildistatud erinevate fookusekaugustega aparate

kasutades, siis tuleb vastav vaatamiskaugus leida katsetamise teel. Ühte silma kinni hoides hoidke illustratsiooni väljasirutatud käes nõnda, et pildi pind oleks risti nägemiskiirega ja teie avatud silm oleks pildi keskkohas. Nüüd vahetpidamata pilti vaadates lähendage seda aegamööda silmale. Te tabate kergesti hetke, mil pilt on kõige reljeefsem.

Paljud pildid, mis tavalisel vaatlemisel on ebaselged ja tasapinnalised, omandavad sügavuse ja selguse, kui neid vaadata kirjeldatud viisil. Tihti saavad sellisel vaatamisel nähtavaks vee läige ja teised puhtstereoskoopsed efektid.

Tuleb vaid imestada, et sedavõrd lihtsad faktid on vähe tuntud, kuigi kõik siin kirjeldatu on avaldatud populaarseis raamatuis juba enam kui pool sajandit tagasi. W. Carpenter'i raamatust „Mõistuse füsioloogia alused“, mis on venekeelses tõlkes ilmunud juba 1877. a., loeme päevapiltide vaatamise kohta järgmist:

„On tähelepanuväärne, et selle päevapiltide vaatamise viisi (ühe silmaga) efekt ei piirdu ainult reljeefisusega; ka teised iseärasused, täiendades illusiooni, ilmnevad võrratu suurema elavuse ja reaalsusega. See kehtib peamiselt seisva vee kujutamise kohta, mis on tavalistel tingimustel fotode kõige nõrgemaks küljeks. Nimelt kui vaadata sellisele vee kujutisele mõlema silmaga, näib veepind olevat kui vahast; kui aga vaadata seda ühe silmaga, siis on selles tihti näha imeväärset läbi-  
paistvust ja sügavust. Sama võib öelda ka valgust peegeldavate pindade (näiteks pronksi ja elevandiluu) mitmesuguste omaduste kohta. Päevapildil kujutatud eseme materjali kohta on samuti kergem otsustada siis, kui vaadata pilti ühe silmaga, mitte aga kahega.“

Juhime tähelepanu veel ühele asjaolule. Kui ülesvõtted suurendamisel elutruuduses võidavad, siis vähendamisel vastupidi nad ses suhtes kaotavad. Vähendatud fotod on küll palju teravamad ja selgemad, kuid nad on tasapinnalised ega anna sügavuse ja reljeefsuse muljet. Pärast kõike öeldut peaks põhjus olema selge: ülesvõtte vähendamisel väheneb ka vastav „perspektiivne kaugus“, mis tavaliselt on juba niikuinii liiga väike.

### Piltide vaatlemine.

See, mis oli öeldud fotode kohta, on teatava määraneni kehtiv ka kunstnike poolt loodud piltide suhtes: ka neid on vaja vaadelda vastavalt kauguselt. Ainult sel tingimusel tajute perspektiivi ja pilt ei paista teile tasapinnalisena, vaid sügavana ja reljeefsena. On kasulik vaadata samuti ühe, mitte aga kahe silmaga, eriti siis, kui pilt on väike.

„On ammu teada,“ kirjutab ses asjas inglise psühholoog W. Carpenter mainitud teoses, „et pildi tähelepanelikul vaatlemisel, kui pildi perspektiiv, valgus, varjud ja üldine üksikasjade asetust täpselt vastavad kujutatud tõelikkusele, on saadud mulje palju elavam siis, kui vaadata pilti ühe silmaga, mitte aga kahega. Mõju suureneb veelgi, kui pilti vaadata läbi toru, mis eemaldab temast kõik kõrvalise. Seda fakti seletati varem täiesti valesti. Bacon ütleb: „Me näeme ühe silmaga paremini kui kahega, sest et eluvaimud koonduvad sel korral ühte kohta ja mõjuvad tugevamalt.“

Tegelikult seisneb siin asi selles, et kui vaatame pilti kahe silmaga väikeselt kauguselt, oleme sunnitud teda pidama tasapinnaliseks; samas aga ainult ühe silmaga vaatamisel võib meie mõistus kergemini alistuda perspek-

tiivivi, valguse, varjude jm. muljele. Siit järeldame, et kui pilti silmitseda teravalt, muutub see juba lühikese aja järel reljeefseks ja võib anda tõeliselt reaalse maastiku mulje. Illusiooni täiuslikkus oleneb peamiselt sellest, kui võrd õigesti on kujutatud pildil esemete tõeline projektsioon tasapinnal... Ühe silmaga vaatamise paremus sellistel tingimustel on seoses sellega, et mõistus on vaba tõlgitsemata pilti meelevaldselt, kui pole midagi, mis sunniks selles nägema tasapinnalist kujutist."

Suurte piltide vähendatud ülesvõtted annavad sageli suuremat reljeefse illusiooni kui originaalid ise. Millest see tuleneb, seda taipate, kui meenutate, et pildi vähendamisel väheneb ka kaugus, millelt tuleb pilti vaadata; seepärast omandabki ülesvõtte reljeefse juba lähedalt vaatamisel.

### **Ruumiliste kujundite kujutamine tasapinnal.**

Kõik, mis oli eespool öeldud fotode, samuti ka maalikunsti- ja graafikateoste vaatlemise kohta, on ju põhi-olemuselt õige, aga seda ei tohi mõista niiviisi, et pole teisi viise anda vaatajaile ruumilist kujutlust. Iga kunstnik, olgu ta maalija, graafik või fotograaf, loob oma teose nii, et see avaldaks vaatajale mõju, täiesti olenematult sellest, kuidas vaataja seda teost hakkab vaadama; ta ei saa arvestada seda, et näituse külastaja hakkab käima mööda saale, üks silm kinni, püüdes iga pildiga kohastada oma nägemiskaugust.

Igal kujutava kunsti tehnikal, muuhulgas ka fotograafial, on kasutada laiu võimalusi kolmemõõtmelise ruumi kujutamiseks tasapinnal. Ülalvaadeldud eri kaugustel asetsevate kehade kujutiste erinevus mõlemas silmas pole ainsaks ruumi sügavuse tunnuseks. Pildi

üksikute osade eri kauguse üle lubab suurel määral otsustada nn. õhuperspektiiv, mille tõttu kaugemad esemed paistavad meile vähem selgetena, nagu oleksid nad udulooris.

Kui kujutada kaugemaid esemeid vähem selgetena ja heledamais toonides, siis annab see seoses erinevail kaugustel asetsevate esemete erinevate mõõtmetega ruumi sügavuse mulje, olenematult sellest, kuidas pilti vaadata. Maalikunstnik võib luua sellise õhuperspektiivi, kombineerides värvus- ja valgustoone vastava joonise teravusega. Kunstnik-fotograaf saavutab sama efekti valgustuse oskusliku valikuga, mahendava objektiivi kasutamise, aga ka niisuguse paberisordi tarvitamisega, mis võimaldab saavutada küllaldast valgustoonide mitmekesisust. Fotograafias on suur tähtsus õigel fokuseerimisel: kui esiplaan on kujutatud teravalt, aga kõik kaugemal olevad esemed üha enam „mitte fookuses“ olevaina, siis piisab paljudel juhtudel juba sellestki, et luua ruumi sügavuse muljet; vastupidi, kui kitsa diafragma tarvitamisega kõik pildi osad on teravad, siis kaotab kujutis sügavuse ja näib lamedana.

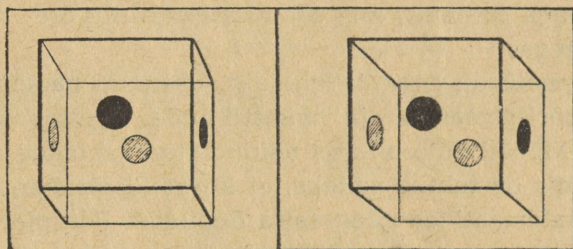
Üldse oleneb ju kunstniku oskusest see psüühiline mõju vaatajasse, mille tõttu vaataja tajub tasapinnalist kujutist ruumilisena, hoolimata nägemisaistingute füsioloogilistest tingimustest, mõnikord isegi geomeetrilise perspektiivi seaduste rikkumisega.

### **Mis on stereoskoop?**

Üle minnes piltidelt kehadele esitame endale küsimuse: millest on tingitud, et me näeme kehasid ruumilistena, mitte aga tasapinnalistena? Silma võrkkestale tekib ju lame kujutis. Millest siis tuleb, et me näeme ese-

meid mitte lamedate piltidena, vaid kolmemõõtmeliste kehadena?

Siin on mõjumas mitu põhjust. Esiteks esemete osade erinev valgustusmäär lubab meil otsustada nende kuju üle. Teiseks etendab osa pingutus, mida tunneme silma kohastamisel eseme eri kaugusel asetsevate osade selgeks tajumiseks: kõik tasapinnalise pildi osad on silmast ühekaugusel, ruumilise kujundi osad aga erinevaid kaugustel ja selleks, et neid selgelt näha, tuleb silma



Joonis 135. Klaasist kuup täppidega, vaadatuna vasaku ja parema silmaga.

kohastada erisuguselt. Kuid kõige rohkem pälvib tähelepanu asjaolu, et ühe ja sellesama keha kujutised mõlemas silmas pole identsed. Selles pole raske veenduda, kui vaadata mingit lähedat keha vaheldumisi kord ühe, kord teise silmaga. Parem ja vasak silm ei näe esemeid ühesugustena: kummaski silmas tekib erinev kujutis, ja see erinevus, tõlgitsetuna teadvuse poolt, annabki meile reljeefsuse mulje (joon. 132 ja 135).

Nüüd kujutlege kahte pilti ühest ja sellest samast esemest: esimene kujutab eset nii, nagu seda näeb vasak silm, teine nii, nagu see näib paremale silmale. Kui nüüd vaadata neid pilte nõnda, et kumbki silm näeb ainult

„oma“ pilti, siis näeme kahe tasapinnalise pildi asemel ühte reljeefset eset, mis on isegi reljeefsem sellest, mida me näeme, vaadates keha ühe silmaga. Selliseid piltide paare vaadatakse läbi erilise riista — stereoskoobi. Mõlema kujutise liitumine saavutati endisaegsetes stereoskoopides peeglite abil, uuemates riistades aga saavutatakse see kumerate klaasprismadega, mis muruvad kiiri nõnda, et mõlemad kujutised (prismade kumeruse tõttu veidi suurendatult) langevad ühte. Stereoskoobi idee, nagu näeme, on väga lihtne. Seda imeväärsem on aga tulemus, mis saavutatakse niivõrd lihtsate vahenditega.

Kahtlemata on enamik lugejaid juhtunud nägema mitmesuguste stseenide ja maastikkude stereoskoopseid fotosid. Mõned võib-olla on näinud stereoskoobis ka jooniseid, mis on tehtud selleks, et kergendada stereomeetria ja matemaatilise geograafia õppimist. Edaspidi me ei räägi neist enam-vähem üldtuntud stereoskoobi rakendustest, vaid peatume neil, mis tõenäoliselt pole meie lugejaile tuttavad.

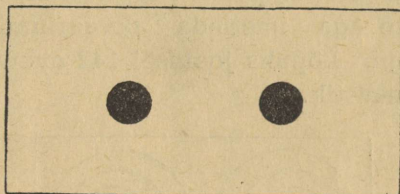
### **Meie loomulik stereoskoop.**

Stereoskoopsete kujutiste vaatlemist võib toimetada ka ilma mingi riistata: on vaid vaja õppida oma silmi vastavalt suunama. Tulemus on sama, mis stereoskoobi kasutamisel, ainult selle vahega, et pildid pole suurendatud. Stereoskoobi leiutaja Wheatstone kasutas algul nimelt seda loomulikku viisi.

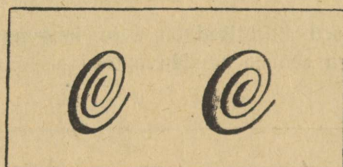
Ma lisandan siia terve sarja üha keerulisemaks muutuvaid stereoskoopseid pilte ja soovitán neid vaadata vahenditult ilma stereoskoobita. (Joonised on võetud tuntud inglise inseneri Lewis Brennani artiklist. Bren-

nan on üherööpmelise güroskoopse raudtee leiutaja.) Edu saavutatakse ainult hulga harjutuste järel<sup>1</sup>.

Alake joonisest 136, mustade täppide paarist. Hoidke neid silmade ees ja pidage oma pilku mõne sekundi jooksul täppide vahekojal. Seejuures pingutage end



Joonis 136. Paari sekundi jooksul silmitsege teravalt kahe täpi vahelist kohta — ja mõlemad mustad täpid langevad ühte.



Joonis 137. Korrake sama katset selle joonistepaariga. Saavutanud kujutiste kokkusulamise, asuge järgmise harjutuse juurde.

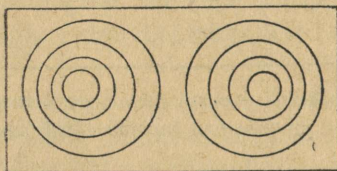
nii, nagu tahaksite vaadata midagi, mis on selle joonise taga. Te näete varsti mitte kahte, vaid nelja täppi — täpid jagunevad kaheks. Seejärel äärmised täpid kaugenevad, seesmised aga lähenevad teineteisele ja sula-

---

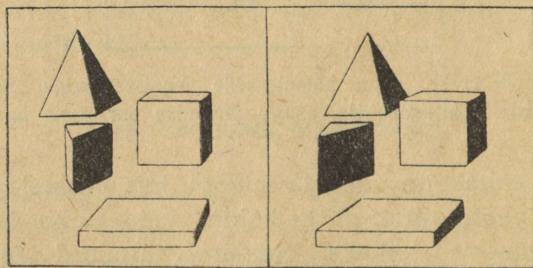
<sup>1</sup> Tuleb märkida, et kõik inimesed ei tule stereoskoopse nägemisega toime, isegi mitte läbi stereoskoobi; mõned (näiteks kõõritajad või inimesed, kes on harjunud töötama ühe silmaga) on selleks täiesti võimetud; teistel õnnestub see vaid pika harjutamise järel; kolmandad, peamiselt noored, õpivad selle ära väga ruttu — veerandtunni jooksul.

vad siis ühte. Kui sedasama kordate joon. 137 ja 138, siis viimasel juhul näete jooniste kokkulangemisel, nagu oleks teie ees eemale suunduva pika toru sisemus.

Olles selle saavutanud, asuge joon. 139 juurde. Siin peate nägema õhus rippuvaid geomeetrisi kehi. Joon. 140 kujutab kivihoone pikka koridori või tunnelit, joonisel 141 võite aga imetleda akvaariumi läbipaistva klaasi illusiooni. Lõpuks joonisel 142 avaneb teile terve pilt — meremaastik.



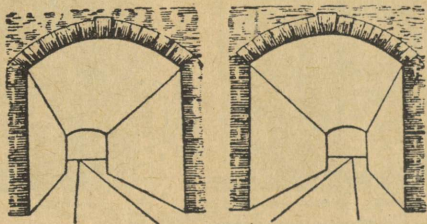
Joonis 138. Kui need kujutised on ühte langenud, näete enda ees nagu eemale suunduva toru sisemust.



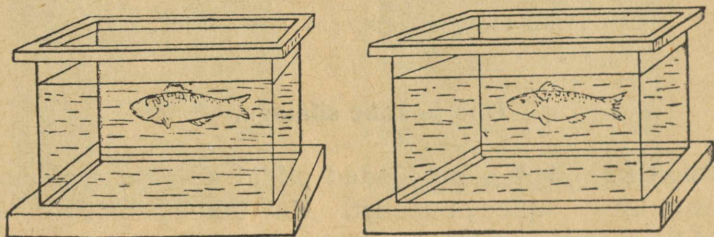
Joonis 139. Peale kujutiste ühtelangemist näete neid nelja geomeetrilist keha nagu ruumis hõljumus.

Õppida vahetult vaatama piltide paari on võrdlemisi kerge. Paljud minu tuttavaist said selle kunstiga toime lühikese aja jooksul pärast mõningat katsetamist. Lühi- ja kaugenägijad, kes tarvitavad prille, võivad neid ära

võtmata vaadata kujutisi, nagu nad vaatavad tavalisi pilte. Püüdke muuta piltide kaugust silmast, kuni leiate õige vaatamiskauguse. Katseid tuleb igal juhul teha hea valgustuse juures, see aitab tunduvalt edu saavutada.



Joonis 140. Pikk kaugusse suunduv koridor.

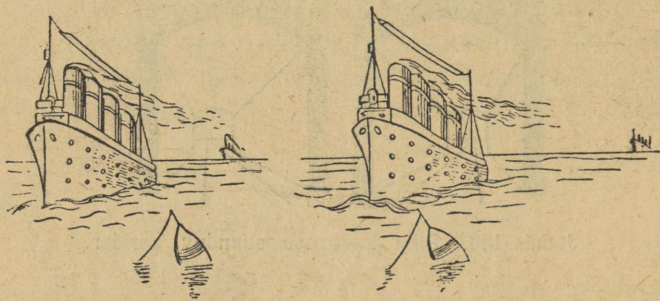


Joonis 141. Kala akvaariumis.

Olles õppinud vaatama siintoodud pilte stereoskoobita, võite seda oskust kasutada iga stereoskoopse pildi vaatamisel, ilma et vajaksite stereoskoopi. Katsuge palja silmaga vaadata ka neid stereoskoopseid ülevõtteid, mis on toodud tagapool (lk. 265, 271, 272, 276). Et silma mitte väsitada, ei tohi vaid liiga palju neid harjutusi harrastada.

Kui teil ei õnnestu omandada oma silmade juhtimise oskust, võite stereoskoobi puudumisel kasutada kauge-

nägija prillide klaase; need tuleb kleepida kartongi avaste taha nõnda, et on võimalik näha ainult läbi klaaside sisemiste äärte; piltide vahele tuleb asetada mõni vahesein. Selline lihtsustatud stereoskoop vastab täielikult oma ülesandele.

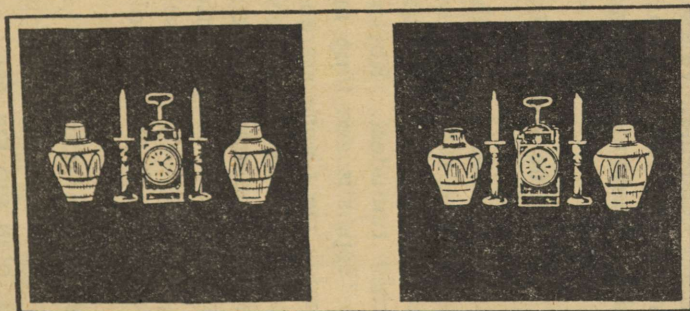
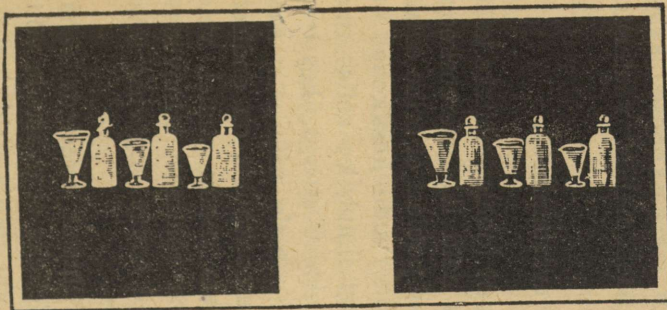


Joonis 142. Stereoskoopne meremaastik.

### Ühe ja kahe silmaga.

Tahvlil I (lk. 265) on toodud pildid kolmest näilikut ühesuurusest apteegipudelist. Kui tähelepanelikult te neid ka ei vaata, ei leia te neis mingit suurusvahet. Aga vahe on olemas ja üsna tunduv. Pudelikud paistavad ühesuurustena ainult seepärast, et nende kaugused silmast või fotokaamerast pole ühesugused: suur pudel on kaugemal kui väiksemad. Aga millised kolmest kujutatud pudelist on lähemal, millised kaugemal? Lihtsa vaatamisega pole võimalik seda otsustada.

Ülesanne laheneb aga kergesti, kui võtta abiks stereoskoop või kasutada stereoskoopset vaatamist ilma stereoskoobita, millest oli äsja juttu. Te näete siis selgesti, et kolmest pudelist äärmine vasakpoolne on palju kaugemal keskmisest, viimane on omakorda kaugemal



Tahvel I. (Seletust vt. lk. 264.)

parempoolsest. Pudelite tõeline suurusvahekord on kujutatud eri pildil tahvlil paremal.

Veel hämmastavamalt juhtu kujutab alumine pilt samal tahvlil. Te näete vaase, küünlaid ja kella, kusjuures mõlemad vaasid ja mõlemad küünlad näivad ühesuurused olevat. Tõeliselt on aga nende suurusel tunduv vahe; vasakpoolne vaas on peaaegu kaks korda kõrgem kui parempoolne ja vasakpoolne küünal palju madalam kellast ja parempoolsest küünlast. Stereoskoopisel vaatamisel ilmneb otsekohe selle metamorfoosi põhjus: esemed pole ühes reas, vaid erinevail kaugustel; suuremad kaugemal, väiksemad lähemal.

Siin ilmneb veelgi veenvamalt stereoskoopse „kahe-silmalise“ vaatamise paremus „ühesilmalise“ vaatamise ees.

### **Lihtne viis võltsingute avastamiseks.**

On olemas kaks täiesti ühesugust joonist, näiteks kaks võrdset musta ruutu. Vaadates neid läbi stereoskoobi näeme ühtainust ruutu, mis millegi poolest ei erine antud üksikuist ruutudest. Kui mõlema ruudu keskkohas on valge täpp, siis see täpp muidugi ilmub ka selles ruudus, mida me näeme stereoskoobis. Kui aga ühes ruudus see täpp keskkohast veidi eemale nihutada, saadakse üsna ootamatu efekt: stereoskoobis on endiselt nähtav üks täpp, aga mitte enam ruudu pinnal, vaid selle ees või taga! Piisab juba vähimast erinevusest piltide vahel, et stereoskoobi abil saada sügavuse muljet.

See asjaolu võimaldab väga lihtsalt avastada rahapaberite ja ürikute võltsinguid. Selleks et avastada võltsingut, olgu see kui osav tahes, on tarvis vaid asetada stereoskoopi kahtlustatav paber kõrvuti õigega: vähimgi

erinevus mõnes tähes või kriipsus paistab kohe silma, sest see täht või kriips näib olevat üldise tausta ees või taga<sup>1</sup>.

### Hiiglaste nägemine.

Kui keha asetseb meist väga kaugel, kaugemal kui 450 m, siis ei tekita meie silmade vaheline kaugus enam erinevusi nägemisaistinguis. Seepärast paistavadki kauged hooned, eemalolevad mäed ja maastikud lamedaina. Samal põhjusel paistavad ka taevakehad ühesugusel kaugusel olevat, kuigi ometi Kuu on palju lähemal planeetidest ja viimased omakorda määratult lähemal kinnistähedest.

Üldse kõikide kehade jaoks, mis on kaugemal kui 450 m, kaotab meie silm omaduse vahetult tajuda reljeef-sust: nad paistavad paremale ja vasakule silmale ühesugustena, sest silmadevaheline kaugus (6 cm) on liiga väike võrreldes 450 meetriga. On arusaadav, et sellistel tingimustel on ka stereoskoopset ülesvõttes täiesti identsed ega anna reljeef-suse illusiooni.

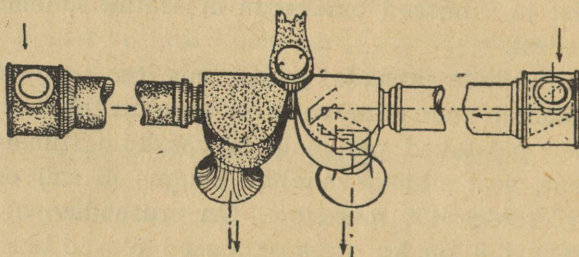
Agasja on kerge parandada: on ainult vaja kauged esemeid fotografeerida kahest kohast, millede vaheline kaugus on suurem silmadevahelisest kaugusest. Vaadates niisuguseid ülesvõtteid läbi stereoskoobi, näeme neid sellistena, nagu nad oleksid siis, kui silmadevaheline kaugus oleks palju suurem tavalisest kaugusest. Selles seisnebki maastike stereoskoopsete üles-

---

<sup>1</sup> See mõte, mille väljendas esimesena Dove XIX sajandi keskel, pole aga siiski rakendatav kõikide meie aja rahatähtede kohta. Nende trükkimise tehnilised tingimused on sellised, et stereoskoop ei anna tasast pilti ka sel korral, kui mõlemad rahatähed on ehtsad. See-eest on aga Dove meetod täiesti kõlblik selleks, et eraldada raamatu ühe trüki äratõmbeid uuesti laotud trüki äratõmmetest.

võtete saladus. Tavaliselt vaadatakse neid läbi suurendusprismade (kumerate külgtahkudega), nii et niisugused reljeefsed stereoülesvõtted omandavad loomuliku suuruse: tekib hämmastav efekt.

Lugeja tõenäoliselt aimab, et on mõeldav ehitada süsteem kahest pikksilmast, mille läbi vaadates antud maastiku reljeefi võib näha kohe looduses, mitte fotol. Sääraseid riistu — stereopikksilmi — on olemas: torud on neil teineteisest kaugemal kui silmadevaheline kaugus ja mõlemad kujutised satuvad silmadesse peegeldavate prismade abil (joon. 143). Raske on kirjeldada

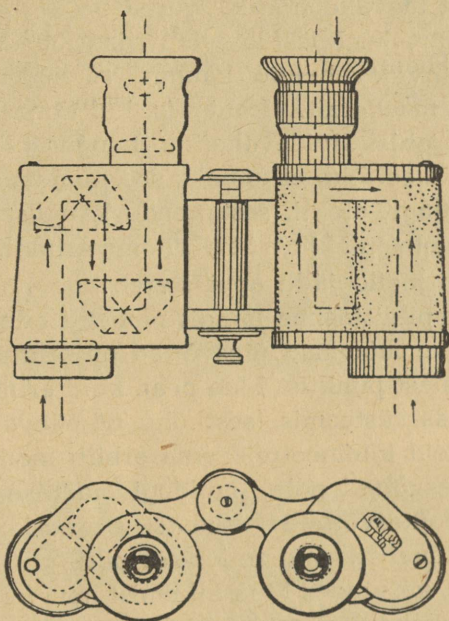


Joonis 143. Stereopikksilm.

neid aistinguid, mida saab niisugusesse riista vaadates, sedavõrd on need ebatavalised! Kogu loodus näib muutununa, kauged mäed muutuvad reljeefseks, puud, kaljud, hooned, laevad merel — kõik muutub ümaraks, kumeraks, kõik on avaralt paigutatud ruumis, mitte aga tasapinnalisel ekraanil. Te näete vahetult, kuidas liigub kaugel laev, mis tavalistes pikksilmades näib paigalseisvana. Sellistena peaksid paistma maapealsed maastikud muinasjutulistele hiiglastele.

Kui pikksilmade suurendus on kümnekordne ja objektiividevaheline kaugus on 6 korda suurem vastavast silmateradevahelisest kaugusest (s. o. võrdub  $6,5 \times 6 =$

= 39 cm), siis on tajutav kujutis  $6 \times 10 = 60$  korda plas-  
tilisem kujutisest, mis saadakse vaatamisel palja sil-  
maga. See ilmneb selles, et esemeil isegi 25 km kaugu-  
sel avaldub veel märgatavat reljeefsust.



Joonis 144. Prismabinokkel.

Niisugused pikksilmad on täiesti asendamatud maa-  
mõõtjatele, meremeestele, suurtükiväelastele, reisijatele,  
eriti veel siis, kui need riistad on varustatud kaugust  
näitava skaalaga (stereoskoopseid kaugusemõõtjad) <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Zeissi prismabinokkel annab samasuguse efekti, sest ka selle  
objektiividevaheline kaugus on suurem kui normaalne kaugus meie  
silmade vahel (joon. 144). Teatribinoklites vastupidi on see kaugus  
reljeefsuse nõrgendamiseks vähendatud (et poleks näha kulisside  
paigutust).

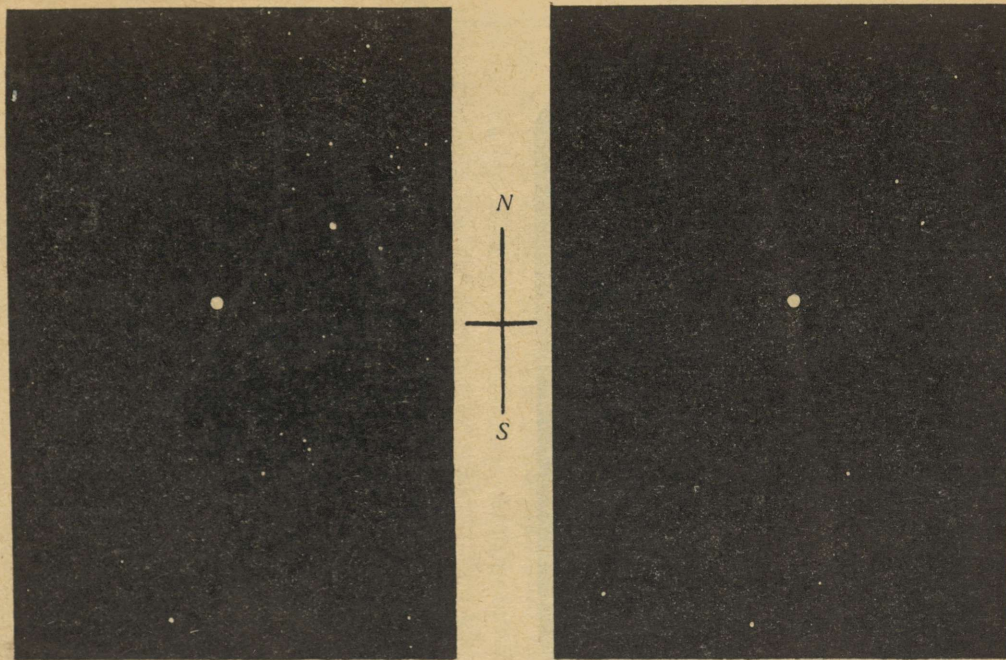
## Maailm stereoskoobis.

Kui aga suunata stereopikksilm Kuule või mõnele teisele taevakehale, ei näe me reljeefsust. Seda oli ka oodata, sest taevakehade kaugused on liiga suured isegi stereopikksilmale. Mis tähendab riista 30—50-sentimeetrisel objektiividevaheline kaugus võrreldes planeetide kaugustega maakeralt. Isegi siis, kui õnnestuks ehitada riist, mille objektiividevaheline kaugus oleks kümneid ja sadu kilomeetreid, ei annaks see planeetide vaatlemisel siiski mingit efekti, sest nende kaugused meist ulatuvad kümnete miljonite kilomeetriteni.

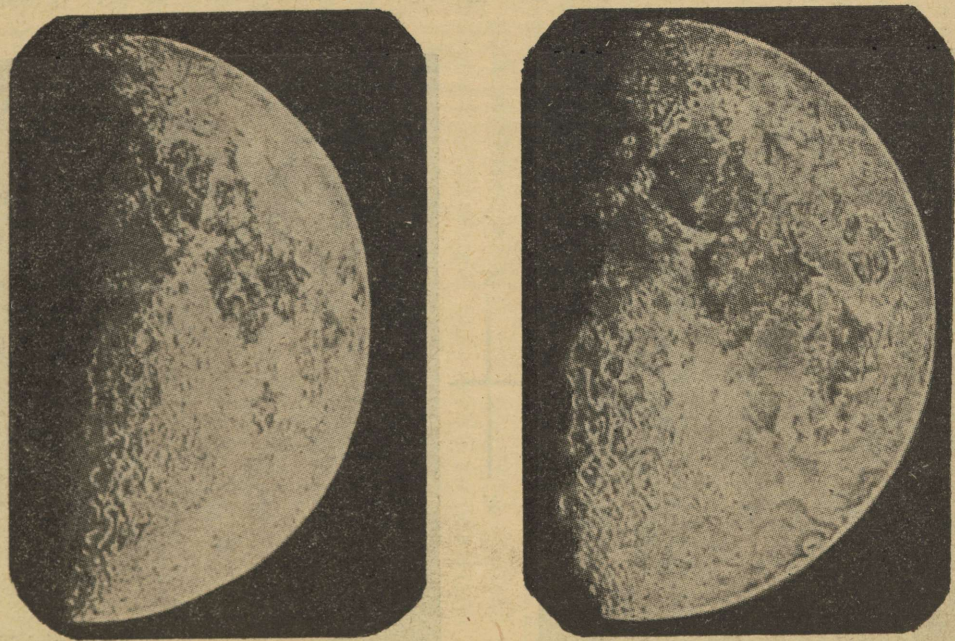
Siin tuleb meile jälle appi stereoskoopne fotograafia. Oletame, et pildistasime mingit planeeti eile ja siis teiskordselt täna; mõlemad ülesvõtted on tehtud küll ühest ja sellest samast punktist Maa peal, kuid erinevatest kohtadest päikesesüsteemis, sest ühe öö-päeva jooksul on Maa miljoneid kilomeetreid oma orbiiti mööda edasi liikunud. Ülesvõtted pole muidugi identsed. Aga kui niisuguseid ülesvõtteid vaadata stereoskoobis, näete mitte tasapinnalist, vaid reljeefset pilti.

Järelikult, kasutades Maa liikumist oma orbiidil, võime saada taevakehade ülesvõtteid kahest teineteisest väga kaugel asetsevast kohast; need ülesvõtted on stereoskoopsed. Kujutlege hiiglast, kelle pea on nii tohutu suur, et tema silmade vaheline kaugus võrdub miljonite kilomeetritega, ja te mõistate, milliseid haruldasi tulemusi saavutavad astronoomid taeva stereofotograafia abil.

Mõnede niisuguste tõeliselt imeväärsete ülesvõtete reproduktsioonid on toodud raamatus eraldi tahvlitena (lk. 271, 272). Lugejad võivad need välja lõigata ja stereoskoobis vaadata. Taevakehad paistavad teile täiesti



Tahvel II. Saturni stereoskoopne ülesvõte. Planeet paistab vabalt rippuvana tähistaeva ees; väike külm planeedi ketta juures on üks Saturni kuudest, mida planeet varjab.



Tahvel III. Stereoskoopne foto Kuust.

uudsel kujul. Uheski teleskoobis pole võimalik näha sellist reljeefisust ega tunda vahetult sellist ruumilisuse tunnet.

Anname mõningaid seletusi ülesvõtete kohta. Tahvel II kujutab planeet Saturni tähistaeva taustal. Planeet fotografeeriti Maokandja tähtkujus 9. ja 10. juunil 1899. a. (Wolff'i poolt Heidelbergis), kusjuures ülesvõtte koh-tade vaheline kaugus ületas  $1\frac{1}{2}$  miljonit kilomeetrit. Nii kaugele teineteisest nihutab taevastereoskoop meie sil-mad! Ja me näeme, kuidas planeet eraldub tähistaeva taustast ja näib rippuvat ruumis.

Stereoülesvõte, mis on reprodutseeritud tahvlil III, on saadud teisiti; see on ülesvõte Kuust (tehtud Lévy ja Pui-seux' poolt Pariisis). Kuu tiirleb ümber Maa, näidates meile alati oma pinna ühte ja sedasama külge. Et Kuu liigub meiega kaasa, siis meie edasiliikumine ruumis ei muuda midagi Kuu väljanägemises. Astronoomid on aga teravmeelselt ära kasutanud neid väikesi Kuu kõrvalekal-dumisi, mida nimetatakse libratsioonideks; libratsioon või-maldab Kuust teha selliseid ülesvõtteid, nagu oleksid need tehtud kahest teineteisest väga kaugel asetsevast punktist<sup>1</sup>.

Kaks esitatud ülesvõtet vastavad 100 000 km kaugusele nägemispunktide vahel. Vaadates neid stereoskoobis näeme Kuud nõnda, nagu teda näeks hiiglane, kelle sil-madevaheline kaugus oleks 100 000 km. Kujutis on ilmselt ümardunud; paistab, nagu oleks keegi kujur-hiig-lane oma nõidusliku peitliga elustanud lamedad elutud kaljud. Reljeef on nii selge, et nende ülesvõtete põhjal õnnestus isegi mõõta Kuu mägede kõrgusi.

---

<sup>1</sup> Sellest lähemalt vt. raamatus „Huvitav astronoomia“.

Stereoskoopi kasutatakse praegusajal ka selleks, et avastada uusi planeete, nimelt neid väikesi planeedikesi (asteroide), mis tiirlevad suurel hulgal Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel. Veel hiljuti oli nende avastamine õnneliku juhuse asi. Praegu on vaja vaid stereoskoop-selt võrrelda kahte eri aegadel tehtud sama taevaosa ülesvõtet. Kui asteroid on pildistatud taevaosas olemas, siis stereoskoop eraldab tema otsekohe üldisest taustast.

Stereoskoobi abil tehakse kindlaks mitte ainult erinevusi tähtede asetusel, vaid ka nende heledusel. See annab astronoomile hõlpsa viisi leida nn. muutlikke tähti, mis perioodiliselt oma heledust muudavad. Kui mingi täht kahel ülesvõttel pole ühesuguse heledusega, siis stereoskoop näitab astronoomile kohe seda heledust muutnud tähte.

Lõpuks on õnnestunud stereofotosid saada ka udukogudest (Andromeda, Orion). Sellisteks ülesvõteteks on päikesesüsteem liiga väike ja astronoomid kasutavad selleks ära meie päikesesüsteemi liikumist tähtede keskel; tänu sellele liikumisele maailmaruumis näeme tähtede maailma järjest uutest vaatekohtadest, ja küllaldaselt suure ajavahemiku möödumisel võib see erinevus muutuda märgatavaks isegi fotoaparaadile.

Ja nii avaneb meile võimalus vaadata stereoskoobis neid kahte ülesvõtet, mille pildistamise vahel on pikk ajavahemik.

### Nägemine kolme silmaga.

Arge arvake, et kolmas silm on samasugune eksisõna nagu kolmas kõrv ärritatud Ivan Ignatjevitši suus „Kapteni tütres“. „Tema annab teile vastu lõugu, aga teie temale vastu ühte kõrva, teist, kolmandat ja siis

lahkuge!“ Meil tuleb tõepoolest juttu sellest, kuidas näha kolme silmaga.

Näha kolme silmaga? Ons siis võimalik muretseda endale kolmas silm?

Kujutlege, et hakkame rääkima nimelt niisugusest nägemisest. Teadus pole võimeline andma inimesele kolmandat silma, kuid tema võimuses on korraldada eseme nägemist nõnda, nagu see ese paistaks olendile, kes on varustatud kolme silmaga.

Algame asjaoluga, et inimene, kes on kaotanud ühe silma, võib siiski vaadata stereoskoopseid pilte ja saada neist reljeefsuse mulje, mida tal pole võimalik vahetult tajuda. Selleks on tarvis kiires järjestuses projekteerida ekraanile pildid, mis on määratud paremale ja vasakule silmale: seda, mida kahe silmaga inimene vaatab korraga, näeb ühe silmaga inimene üksteise järel, kiires vaheldumises. Tulemus on aga sama, sest kiiresti vahelduvad aistingud, täpselt samuti nagu üheaegsedki, liituvad üheks pildiks<sup>1</sup>. Aga kui see nii on, siis võib inimene kahe silmaga näha üheaegselt: ühe silmaga kaht kiiresti vahetuvat pilti, teisega aga veel üht pilti, mis on fotografeeritud kolmandast kohast.

Teiste sõnadega, esemest tehakse kolm ülesvõtet, kolmest kohast, mis vastaksid nagu kolmele silmale. Kahte neist ülesvõtteist lastakse kiires vaheldumises mõjuda vaatleja ühele silmale: aistingud neist annavad kiiresti

---

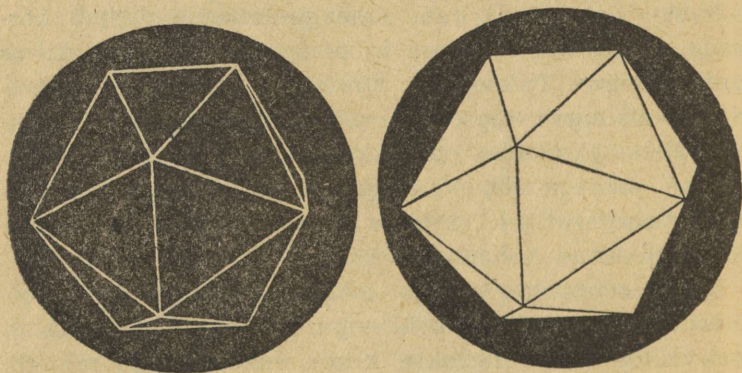
<sup>1</sup> On võimalik, et kinofilmide imeväärne reljeefsus, mida võib mõnikord täheldada, pole tingitud ainult varem mainitud asjaoludest, vaid ka sellest efektist, millest on juttu praegu: kui aparaat pildistamisel kergesti kiikus (mis võis sageli juhtuda filmi liikuma paneva mehhanismi tõttu), siis pole ülesvõtted täiesti identsed; kiiresti vaheldudes langevad need ülesvõtted ekraanil ühte ja tekitavad meie teadvuses reljeefsuse mulje.

vaheldudes ühe reljeefse pildi. Sellega liitub veel kolmas aisting, mis saadakse teiselt silmalt kolmanda pildi vaatamisel.

Mainitud tingimustel saame, vaadates küll ainult kahe silmaga, sellise mulje, nagu vaataksime kolme silmaga. Reljeefsus saavutab siin kõige kõrgema astme.

### Mis on läige?

Stereopildid tahvilil IV kujutavad kaht hulktahukat: üks musta valgel, teine valget mustal. Mida me näeksime, kui vaataksime neid jooniseid stereoskoobis? Raske aimata. Kuulakem, mida ütleb Helmholtz:



Tahvel IV. Stereoskoopne läige. Stereoskoobis ühtelangenult annavad need kaks joonist läikiva kristalli kujutise mustal taustal.

„Kui ühel stereoskoopsel pildil on mingi pind valge, teisel aga must, siis ühendatud kujutisel näib see pind läikivana, isegi siis, kui pildid on mattpaberil. Kristallide mudelite stereoskoopsed joonised annavad mulje, nagu oleks kristalli mudel tehtud läikivast grafiidist. Selle-

tõttu ilmneb stereoskoopsetel piltidel veelgi paremini vee, lehtede jm. läige."

Selle nähtuse suurepärase seletuse leiame meie suure füsioloogi Setšenovi vanast, kuid kaugeltki veel mitte vananenud raamatust „Meele-elundite füsioloogia. Nägemine“ (1867).

„Katsetes erinevalt valgustatud ja värvitud pindade kunstliku stereoskoopse liitmise kohta ilmnevad läikivate kehade nägemise tõelised tingimused. Mille poolest erineb tõepoolest tuhm pind läikivast (poleeritud)? Esimene hajutab valgust igale poole, seepärast paistab ta ühtlaselt valgustatuna, kustpoolt me teda ka ei vaata; poleeritud pind aga peegeldab valgust ainult kindlas suunas; seepärast on võimalikud isegi sellised juhud, et niisugusele pinnale vaatava inimese ühte silma satub palju peegeldunud kiiri, teise silma aga ei ühtegi (need tingimused nimelt vastavadki valge ja musta pinna stereoskoopsele liitumisele). Nähtavasti on aga paratamatud juhud, mil peegeldunud valgus läikivate poleeritud pindade vaatamisel jaotub ebaühtlaselt kahe silma vahel, s. o. juhud, kus ühte silma satub rohkem valgust kui teise.

Lugeja näeb seega, et stereoskoopne läige on tõestuseks mõttele, et kogemus etendab peamist osa kujude ruumiliseks liitumiseks. Nägemisväljade võitlus astub kindla kujutluse ees otsekohe tagasi, niipea kui nägemisorganile, mis on kasvatatud kogemuste najal, antakse võimalus neid nägemise erinevusi ühendada mingi tuttava tõelise nägemise juhuga."

Seega seisneb läike nägemise põhjus (vähemalt üks põhjusi) selles, et parema ja vasaku silma poolt saadud kujutised pole valgustatud ühtviisi. Ilma stereoskoobita oleksime vaevalt selle põhjuse avastanud.

## Nägemine kiirel liikumisel.

Me rääkisime varem, et ühe ja sellesama keha erinevad kujutised kiirel vaheldumisel meie silmas liitudes tekitavad reljeefsuse mulje.

Siin tekib küsimus: kas see on nii ainult siis, kui liikumatu silm tajub liikuvaid kujutisi, või on õige ka vastupidine võimalus: kui kiiresti liikuv silm tajub paigalseisvaid kujutisi? Osutub, nagu oli oodata, et stereoskoopne efekt ilmneb ka sel juhul. Tõenäoliselt on paljud lugejad täheldanud, et kinoülesvõtted, mis on tehtud kiiresti liikuvast rongist, on erakorraliselt reljeefsed ega anna selles suhtes järele stereoskoopsetele ülesvõtetele. Me võime selles ka vahetult veenduda, kui suhtume tähelepanelikult nendesse nägemisaistingutesse, mida saame kiirel sõidul vagunis või autos: seejuures on vaadeldavad maastikud suurel määral stereoskoopseid, esiplaani tunduva eraldumisega taustast. Sügavuse tunne kasvab märgatavalt; sügavus ulatub kaugemale 450 meetrist, mis on stereoskoopse nägemise piiriks liikumatu silma puhul.

Kas selles ei peitugi põhjus, miks mulje maastikust, mida me vaatame kiiresti kihutava vaguni aknast, on meeldiv? Kaugus tõmbub tagasi ja meie teadvuses kerkitab esile meid ümbritseva looduspildi avarus. Kui me kiiresti sõitval autol läbime metsa, siis tajume samal põhjusel iga puud, iga oksa, iga lehte ruumis selgelt piiritletuna, märgatavalt üksteisest eraldatuna, mitte aga kokkusulanuna, nagu see paistab liikumatule vaatlejale. Aga kiirel sõidul mööda teed mägimaastikus tajume oma silmaga vahetult kogu pinna reljeefi, mäed ja orud tunduvad meile kombitavalt plastilistena. Kõik see on kättesaadav ka ühe silmaga inimestele, kellele

kirjeldatavad aistingud on täiesti uudsed, tundmatud. Me tähendasime juba, et reljeefseks vaatamiseks pole tingimata tarvilik, nagu tavaliselt arvatakse, kahe erineva pildi üheaegne vaatamine kahe silmaga: stereoskoopne nägemine teostub ka ühe silmaga, kui erinevad pildid liituvad kiirel vaheldumisel<sup>1</sup>.

Pole midagi kergemat, kui öeldut järele proovida: selleks on vaja vaid veidi tähele panna seda, mida me tajume, istudes vagunis või autobuses. Seejuures võib-olla märkate ka üht-teist üllatavat nähtust, millest kirjutas juba sada aastat tagasi Dove (tõepoolest uus on see, mis on hästi unustatud!): aknast möödavilksatavad lähedased esemed näivad vähendatuina. Seda fakti selektab põhjus, millel on vähe ühist stereoskoopse nägemisega; nimelt see, et nähes kiiresti liikuvaid esemeid otsustame ekslikult nende läheduse üle; on aga kehad lähedal, siis — nii arutleme alateadlikult — peavad nad looduses olema väiksemad, et paista tavalises ruumis. Selle seletuse andis Helmholtz.

### Värvilised varjundid.

Nüüd, kus „Iljiti lamp“ on särama hakanud paljudes meie Liidu mahajäänud kolgastes, ei saa enam nii tihti näha seda huvitavat füüsikalist nähtust, mis mind lapseeas väga üllatas. Selleks on vaja kahte valgusallikat: täiskuud ja petrooleumilampi. Nimelt sellistel tingimustel juhtusin nägema maa peal, lambi poolt valgustatud akna lähedal kahte minu keha poolt tekitatud varju: üks helesinine, teine punakaskollane.

<sup>1</sup> Sellega on seletatav ka kinofilmide stereoskoopsus, kui ülesvõtted olid tehtud rongilt käänakul ja ülesvõetavad esemed asetsesid kõverusraadiuse suunas. See „raudtee-efekt“, millest siin juttu, on kinooperaatoritele hästi tuntud.

Pole raske selgitada nende varjude värvuse päritolu. Punakaskollase varju tekitajaks on Kuu ja valgustajaks petrooleumilamp. Helesinise varju tekitajaks on lamp ja valgustajaks Kuu; see vari paistab helesinisena kontrasti tõttu, olles punakaskollase varju kõrval.

### Läbi värviliste prillide.

Kui vaadata läbi punase klaasi punasele kirjale valgel paberil, siis ei näe te peale ühtlase punase fooni midagi. Tähtedest ei näe te jälgegi, sest need sulavad ühte punase taustaga. Kui aga vaadata läbi sama klaasi sinisele kirjale valgel foonil, näete selgesti musti tähti punasel foonil. Mispärast just musti, on kerge mõista: punane klaas ei lase läbi siniseid kiiri (sellepärast ongi klaas punane, et ta ainult punaseid kiiri läbi laseb); järelikult te näete siniste tähtede asemel valguse puudumist, s. o. musti tähti.

Sellele värviliste klaaside omadusele on rajatud nn. anaglüüfide toime. Anaglüüfid on erilisel viisil trükitud pildid, mis annavad sama efekti, mis stereoskoopsed fotod. Anaglüüfides trükitakse kujutised, mis vastavad paremale ja vasakule silmale, teineteise peale, kuid eri värvidega: sinisega ja punasega.

Selleks et näha kahe värvilise joonise asemel ühte musta ja seejuures reljeefset kujutist, on vaja neid vaadata vaid läbi värviliste prillide. Parem silm näeb läbi punase klaasi sinist joonist, s. o. seda, mis vastab paremale silmale (seejuures paistab see joonis silmale mustana, mitte värvilisena). Vasak silm näeb läbi sinise klaasi temale vastavat punast joonist. Kumbki silm näeb ainult ühte, nimelt temale

vastavat kujutist. Meil on siin seega samad tingimused, mis stereoskoobis ja järelikult ka tulemus peab olema sama: saadakse reljeefsuse mulje.

### „Varjude imed“.

Praegu vaadeldud põhimõttele on rajatud ka „varjude imede“ efekt, mida näidatakse üsna sageli kinodes.

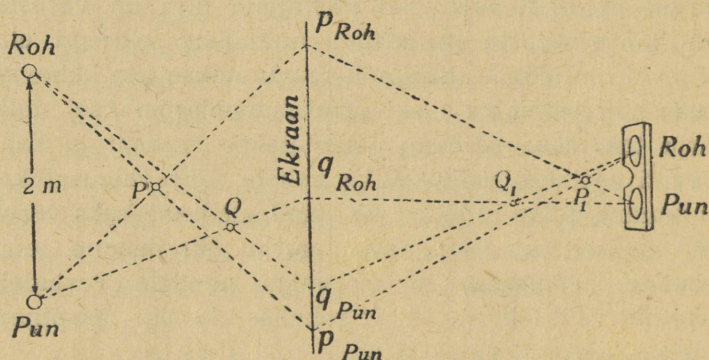
„Varjude imed“ seisnevad selles, et liikuvate kujude varjud ekraanil paistavad vaatajaile (kes on varustatud kahevärviliste prillidega) ruumiliste, ekraani ette väljuvate kujudena. Illusioon saavutatakse siin kahevärvilise stereoskoopia efekti ärakasutamisega. Ese, mille varju tahetakse näidata, paigutatakse ekraani ja kahe kõrvuti asetatud valgusallika vahele. Üks valgusallikas on punane, teine roheline. Ekraanil saadakse kaks värvilist, osaliselt teineteist katvat varju: üks punane, teine roheline. Pealtvaatajad ei vaata nendele varjudele vahetult, vaid läbi punase ja rohelise klaasiga tasapinnaliste prillide.

Praegu seletasime, et sellistel tingimustel tekib ekraani ette astuva ruumilise kujutise illusioon. Illusioonid, mis saavutatakse „varjude imedega“, on väga naljakad: vahetevahel näib, et visatud ese lendab otse vaataja pihta või mingi hiiglaslik ämblik sammub õhus publiku poole, sundides teda tahtmatult karjatama ja kõrvale pöörduma.

Aparatuur on siin äärmiselt lihtne; see selgub joonisest 145, kus *Roh* ja *Pun* tähendavad rohelist ja punast lampi (vasakul), *P* ja *Q* esemeid, mis on asetatud lampide ja ekraani vahele; *p* ja *q* indeksitega *Roh* ja *Pun* nende esemete värvilisi varjusid ekraanil,  $P_1$  ja  $Q_1$  on kohad, kus vaatleja näeb neid esemeid läbi rohelise

(*Roh*) ja punase (*Pun*) klaasi. Kui butafoorne „ämblik“ liigub ekraani taga  $Q$ -st  $P$ -ni, siis paistab pealtvaatajale, nagu liiguks ta  $Q_1$ -st  $P_1$ -ni.

Üldse eseme lähenemine valgusallikatele ekraani taga põhjustab eseme varju suurenemist ekraanil, tekitab illusiooni, nagu liiguks ese ekraanilt pealtvaatajate poole. Kõik, mis vaatajale näib liikuvat tema poole, liigub tõeliselt vastupidises suunas, ekraani poolt valgusallikate poole.



Joonis 145. „Varjude ime“ saladus.

Samal põhimõttel on võimalik korraldada ka stereoskoopset kino; esinevate tehniliste raskuste tõttu on see idee leidnud teostamist alles kõige viimasel ajal.

### Ootamatu värvuse muutumine.

Siin on kohane jutustada sarjast katsetest, mis korraldati Huvitava Teaduse Paviljonis Leningradi Kultuuri ja puhkuse keskpargis Kirovi saartel ja mis külastajaile väga meeldisid. Üks nurk ruumist on sisustatud võõrastetoana. Mööbel on tumeoranžides katetes, laud on

kaetud roheline laudlinaga; sellel karavin kuremarja-morsiga ja lilled; raamaturiulil on raamatud värviliste pealkirjadega seljal. Algul näidatakse seda kõike harilikus valges elektervalgustuses. Seejärel lülitati pööre — ja valge valgus asendub punasega. See kutsub võõrastetoas esile ootamatu muutuse: mööbel muutub roosaks, roheline laudlina tumelillaks; morss värvituks kui vesi; lilled muudavad oma värvust ja paistavad hoopis teistena; osa pealkirju raamatute selgadel kaob jäljetult.

Lülitati uue pöördega valgustub ruumi nurk roheliselt — ja toa välimus muutub jälle tundmatuseni.

Kõiki neid huvitavaid metamorfoose seletab hästi Newtoni õpetus kehade värvustest. Õpetus seisneb selles, et keha pinna värvus oleneb nendest kiirtest, mida see pind hajutab, s. o. tagasi peegeldab vaataja silma, mitte aga kiirtest, mida pind neelab. Newtoni kuulus kaasmaalane, inglise füüsik Tyndall sõnastab selle lause järgmiselt:

„Kui me valgustame keha valge valgusega, siis punane värvus tekib roheliste kiirte absorbeerimise tagajärjel, roheline värvus aga punaste kiirte absorbeerimise tõttu, kuna ülejäänud värvused ilmnevad mõlemal juhul. Tähendab, kehad saavad oma värvuse negatiivsel viisil: värvus pole liitumise, vaid lahutumise tagajärg.

Roheline laudlina on järelikult roheline seepärast, et valgustamisel valgete kiirtega hajutab ta eeskätt rohelisi ja spektris neile lähedal olevaid kiiri; ülejäänud kiiri hajutab ta väga vähesel määral, neelates suurema osa neist. Kui juhtida niisugusele laudlinale punaste ja violetsete kiirte kimp, siis laudlina hajutab peaaegu ainult violetseid kiiri, neelates suurema osa punaseist. Silm saab tumelilla värvuse mulje.

Umbes samasugune on ka kõikide teiste võõrastetoa nurgas toimuvate värvusemetamorfooside põhjus. Mõistatuslikuna paistab vaid morsj värvituks muutumine: mispärast paistab punane vedelik punase valgustuse puhul värvusetuna? Lahendus on selles, et karavin morsiga seisab valgel salvrätikul, mis on laotatud rohelisele laudlinale. Kui võtta karavin salvrätikult, selgub kohe, et vedelik karavinis on ka punastes kiirtes punane, mitte aga värvitu. Värvituks muutub ta ainult salvräti kõrval, mis muutub punastes kiirtes punaseks ja mida me harjumuse ning kontrasti tõttu tumedavärvilisel laudlinal edasigi peame valgeks. Aga et vedeliku värvus karavinis on samasugune kui salvrätiku kujutletav valge värvus, siis arvame tahtmatult, et ka mors on valge; ta ei näi meie silmis enam morsina, vaid värvitu veena.

Võib korraldada samataolisi katseid ka lihtsamalt: on vaja muretseda värvilisi klaase ja vaadata läbi nende meid ümbritsevaid kehasid (sellesarnaseid efekte on kirjeldatud minu raamatus „Kas tunnete füüsikat?“).

### **Raamatu kõrgus.**

Tehke külalisele ettepanek näidata sõrmega seinal koht, milleni küünib tema käes oleva raamatu kõrgus, kui raamat asetada püsti põrandale. Kui ta on seda teinud, asetage raamat põrandale seina juurde: osutub, et raamatu kõrgus on näidatud kõrgusest peaaegu kaks korda väiksem.

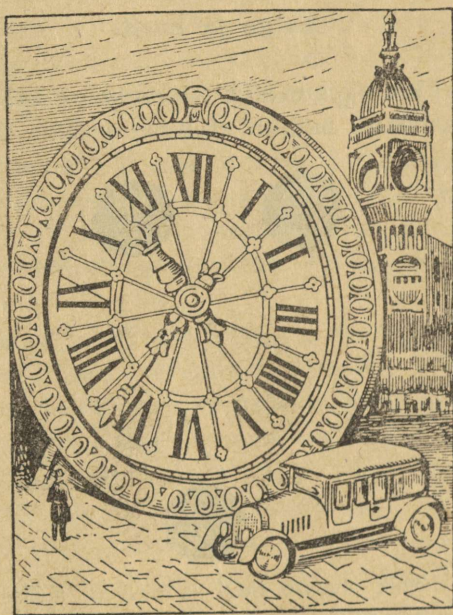
Eriti hästi õnnestub katse siis, kui küsitletav kõrguse näitamiseks ise ei kummardu, vaid seletab sõnadega, kuhu tuleks seinale märk teha. On arusaadav, et katset võib teha mitte ainult raamatuga, vaid ka lambiga, küba-

raga ja teiste asjadega, mida oleme tavaliselt harjunud nägema silmade kõrgusel.

Eksimise põhjus peitub selles, et kõik esemed lühenevad, kui vaadata piki neid.

### Tornikellade suurus.

Vea, mille tegi teie külaline raamatu kõrguse määramisel, teeme meie alatasa, kui tuleb määrata väga kõr-



Joonis 146. Westminster Abbey tornikella suurus.

gel asetsevate kehade suurst. Eriti iseloomulik on viga tornikellade suuruse määramisel. Me teame muidugi, et sellised kellad on väga suured, kuid siiski on

nende suurus meie kujutluses märksa väiksem tõelisest suurusest. Juurdelisatud joonis 146 kujutab Londoni Westminster Abbey kuulsa kella numbrilauda allatooduna tänavale.

Selle kellaga võrreldes näivad inimesed putukaina. Ja vaadates eemal olevat kellatorni te keeldute uskumast, et tornil nähtavad avaused on niisama suured kui kell.

### Valge ja must.

Vaadake kaugemalt joonisele 147 ja ütelge: mitu musta ringi mahub alumise ja ühe ülemise ringi



Joonis 147. Vahemik alumise ringi ja ükskõik millise ülemise ringi vahel paistab suuremana ülemiste ringide välimiste äärte vahelisest kaugusest. Tegelikult on need kaugused võrdsed.

vahel olevasse vabasse ruumi — kas neli või viis? Tõenäoliselt vastate, et neli kindlasti, viiendale võib-olla ruumi enam ei jätku.

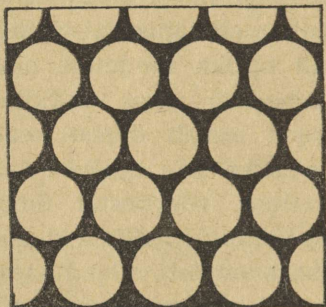
Kui teile aga öeldakse, et sellesse ruumi mahub ainult kolm ringi, siis te seda ei usu. Võtke pabeririba või sirkel ja te veendute, et olete eksinud.

Seda imelikku illusiooni, mille tõttu mustad kujutised paistavad meie silmale väiksemaina kui niisama suured valged kujutised, nimetatakse irradiatsiooniks. See omadus on tingitud silma ebatäiususest. Silm kui optiline riist ei vasta täielikult optika rangetele nõudmistele. Silma murdvad keskkonnad ei anna võrkkelele sellist teravat kujutist, nagu seda annab õigesti seatud fotokaamera mattklaasil: nn. sfäärilise aberratsiooni tõttu on iga hele kontuur võrkkestal ümbritsetud heleda randiga, mis selle kontuuri mõõtmeid võrkkestal suurendab. Ja tulemuseks on, et valged kujutised paistavad alati suuremaina kui niisama suured mustad kujutised.

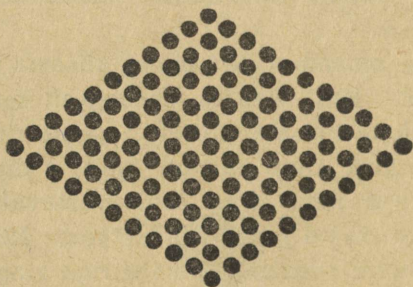
Oma „Õpetuses värvustest“ kirjutab suur luuletaja Goethe, kes oli ka tähelepanelik loodusevaatleja (kuid alati mitte küllalt ettevaatlik füüsik-teoreetik), selle nähtuse kohta:

„Tume ese paistab väiksemaina niisama suurest heledast esemest. Kui vaadata üheaegselt mustale ringile valgel alusel ja niisama suurele valgele ringile tumedal alusel, siis must ring paistab meile  $\frac{1}{2}$  diameetri võrra lühemana. Kui must ring teha vastavalt suuremaks, siis paistavad ringid meile võrdsetena. Kuu kitsas sirp paistab kuuluvat suurema diameetriga ringile, kui seda on Kuu ülejäänud, tume osa, mida võib mõnikord tähele panna (Kuu „tuhkvalgus“. — J. P.). Tumedais rõivastes inimesed näivad saledanaina kui heledais. Mingi ääre tagant väljapaistev valgusallikas teeb sellesse ääresse näiliku väljalõike. Joonlaud, mille tagant paistab künla leek, näib olevat sälguga selles kohas. Tõusev ja loojuv päike teeb nagu lohu horisondisse.“

Neis vaatlustes on kõik õige, välja arvatud väide, et valge ring näib suuremana niisama suurest mustast ringist alati ühe ja sama osa võrra. See näiv suuremine oleneb kaugusest, millest me neid ringe vaatame. Kohe saab meile selgeks, miks see nii on.



Joonis 148. Mõningalt kauguselt vaadatuna paistavad ringid kuusnurkadena.



Joonis 149. Kaugelt vaadatuna paistavad mustad ringid kuusnurkadena.

Lükake joonis 147 silmade juurest eemale — illusioon muutub veel tugevamaks, veel üllatavamaks. Seletus peitub selles, et lisarant, mis võrkkestal kujutist ümbritseb, jääb endise laiussega; kui see väikesel kaugusel

suurendas kujutise laiust ütleme 10% võrra, siis suurematel kaugustel, kus kujutis on ise vähenenud, ei suurenda see kujutise laiust mitte enam 10% võrra, vaid ütleme 30% ja isegi 50% võrra. Silma mainitud iseärasusega seletatakse ka tavaliselt joonise 148 imelikku omadust. Vaadates lähedalt näete rida valgeid ringe mustal taustal. Aga lükake raamat eemale ja vaadake joonisele 2—3 sammu või isegi, kui teil on hea nägemine, 6—8 sammu kauguselt; kujund muudab tunduvalt oma ilmet; te näete ringide asemel mesilaste kargede taolisi valgeid kuusnurki.

Selle nähtuse seletamine irradiatsiooniga ei rahulda mind enam täielikult sellest ajast alates, kui panin tähele, et ka mustad ringid valgel alusel paistavad kaugelt kuusnurkadena (joon. 149). Siin irradiatsioon ei suurenda, vaid vähendab ringe. Peab ütleva, et nägemisillusioonide praegu kehtivaid seletusi ei saa lugeda lõplikeks; illusioonide enamikul puuduvad üldse veel seletused<sup>1</sup>.

### Milline täht on mustem?

Joonis 150 tutvustab meid silma ühe teise puudusega — astigmatismiga. Kui vaadata joonisele ühe silmaga, siis ei paista neljast tähest tõenäoliselt mitte kõik ühtaoliselt mustadena. Tähele pannud, milline täht on kõige mustem, pöörake joonist. Toimub ootamatu muutus: kõige mustem täht muutub halliks ja kõige mustemaks saab mõni teine täht.

Tõeliselt on aga kõik tähed ühesuguselt mustad, nad on vaid viirutatud eri suundades. Kui silm oleks niisama

---

<sup>1</sup> Üksikasjalisemalt sellest minu raamatukeses „Nägemispettek“ optiliste illusioonide albumis.

täiuslik kui kallid klaasist objektiivid, siis ei tohiks viirutuse suund tähtede tumeduse määrale mõju avaldada. Meie silm aga ei murra erisuunalisi kiiri täiesti ühtaoliselt ja seepärast me ei näegi ühte viisi selgelt horisontaalseid, vertikaalseid ja kaldjooni.

Harva leidub inimesi, kelle silm on sellest puudusest täiesti vaba, mõnedel võib aga astigmatism tõusta sellise astmeni, et on juba märgatavaks takistuseks selgele nägemisele, vähendades selle teravust. Selleks et selgesti näha, peavad need inimesed tarvitama erilisi prille.



Joonis 150. Vaadake sellele sõnale ühe silmaga. Üks tähtedest paistab mustemana kui teised.

Silmal on veel teisigi orgaanilisi puudusi, mida meistrid oskavad optiliste riistade valmistamisega vältida. Kuulus Helmholtz ütles nende puuduste puhul: „Kui mõnele optikule tuleks mõte müüa mulle selliste puudustega riist, oleks mul täielik õigus avaldada oma paha-meelt tema töö hooletuse üle ja protestiga talle tema riist tagastada.“

Kuid peale nende illusioonide, millede põhjustajaiks on silma ehituse tuntud puudused, esineb nägemisel veel rida petteid, millel on hoopis teised põhjused.

### Elavad portreed.

Tõenäoliselt on kõik juhtunud nägema portreesid, mis mitte ainult teid ei vaata, vaid ka jälgivad teid silmadega,

kuhu te ka ei liiguks. Seda huvitavat iseärasust niisugustel portreedel on ammu juba täheldatud ja alati on ta paistnud paljudele mõistatuslikuna. Närvilisi inimesi võib see lausa ehmatada. Gogol oma „Portrees“ kirjeldab suurepäraselt üht niisugust juhtu:

„Silmad otse tungisid temasse ja paistis, et nad ei tahtnudki midagi muud näha kui teda... Portree vaatab mööda kõigest, mis on tema ümber, vaatab otse tema peale, nagu oleks tahtnud vaadata tema sisse...“

Pole vähe neid ebausulegende seoses selle salapärase silmade iseärasusega (meenutage sedasama „Portreed“), kuid lahendus peitub lihtsas nägemispettes.



Joonis 151. Salapärane portree.

Seletus seisneb selles, et sellistes portreedes asetsevad silmaterad silmade keskkohas. Nimelt niisugustena meie näeme inimese silmi, kes vaatab otse meie peale; kui aga inimene vaatab meist mööda, siis ei näi silmatera ja kogu vikerkest asetsevat silma keskel, vaid on

nihkunud kõrvale. Kui me ülalmainitud portreest mööda astume, siis jäävad selle silmaterad muidugi endistesse kohtadesse, s. o. silmade keskkohadesse. Et me aga ikkagi näeme kogu nagu veel meie suhtes endises asendis, siis meile loomulikult paistab, nagu oleks portree pööranud oma pea meie poole ja nagu ta meid jälgiks.

Sama seletuse leiavad veel teisedki meid jahmatama panevad iseärasused mõnedel piltidel: hobune sõidab meie poole, kuhu me ka pildist ei eemalduks; inimene näitab meie peale: tema väljasirutatud käsi on suunatud meie poole, jne. Sellist pilti näete joonisel 151. Seda liiki plakateid kasutatakse tihti agitatsiooni ja reklaami otstarbeks.

Kui hästi niisuguste illusioonide põhjuste üle järele mõelda, siis on selge, et neis pole midagi hämmastavat, vaid vastupidi: oleks imelik, kui pildil puuduks see omapärasus.

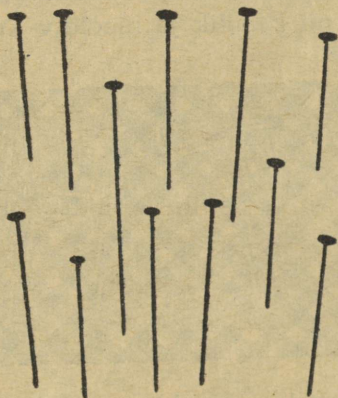
### **Sissetorgatud jooned ja teised nägemispetted.**

Esimesel pilgul ei paku joonisel 152 kujutatud nööpnõelad midagi iseäralikku. Tõstke aga raamat silmade kõrgusele ja vaadake ühe silmaga neile joontele nõnda, et nägemiskiir libiseks mööda neid (silm tuleb asetada punkti, kus lõikuvad nende joonte pikendused). Sellisel vaatamisel paistab teile, et nööpnõelad pole joonestatud paberile, vaid sellesse püsti sisse torgatud. Nihutades pead veidi kõrvale näete, et ka nööpnõelad näivad kalduvat selles suunas.

Seda illusiooni seletavad perspektiivsuse seadused: jooned on kujutatud nõnda, nagu peaksid paberile pro-

jekteeruma sellesse püsti sissetorgatud nõõpnõelad, kui neile vaadata ülalkirjeldatud viisil.

Omadust langeda nägemispetete ohvriks ei tule vaadata ainult kui nägemise puudust. Sel on ka oma küllalt kasulik külg, mis aga tihti unustatakse. Kui need petted puuduksid, poleks olemas ka maalikunsti ja me jääksime ilma neist naudinguid, mida pakub kujutav kunst. Kunstnikud kasutavadki laialt neid nägemise puudusi.



Joonis 152. Hoidke ühte silma (teist kinni hoides) ligikaudu selles punktis, milles lõikuvad antud joonte pikendused. Te näete, nagu oleksid nõõpnõelad paberisse torgatud. Kui joonist pisut ühelt poolt teiselt nihutada, näivad nõõpnõelad kiikuvat.

„Sellele petlikkusele on rajatud kogu maalikunst,“ nii kirjutab XVIII sajandi geniaalne teadlane Euler oma kuulsates „Kirjades mitmesugustest füüsikalistest materiatest“<sup>1</sup>. „Kui me oleksime võimelised tajuma esemeid sellistena, nagu need tõeliselt on, siis poleks olemas ka kunsti (s. o. kujutavat

<sup>1</sup> „Prantsuse keelest tõlgitud vene keelde Stepan Rumovski poolt. St. Peterburgis 1774. aastal.”

kunsti), nagu sel korral, kui oleksime pimedad. Kuigi kunstnik kulutaks kogu oma osavuse värvide segamiseks, ütleksime: näe, sellel laual on punane täpp, siin sinine, siin must, aga seal paar valget joont. Kõik asetseb ühel tasapinnal, pole näha mingit vahet kaugustes ega ole võimalik kujutada ühtki asja. Mis iganes olekski pildil kujutatud, ikka paistaks see meile kui kiri paberil... Kas poleks me sellise täiuslikkuse puhul kahetsemisväärsed, olles ilma neist naudinguid, mida pakub meile iga päev nii kasulik ja meeldiv kunst?"



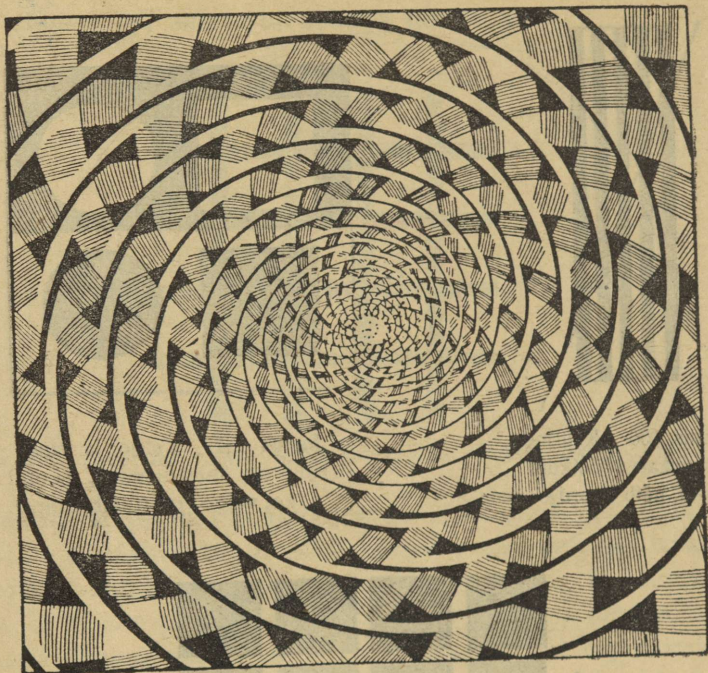
Joonis 153. Tähed on asetatud püsti.

Optilisi petteid on väga palju. Selliste illusioonide mitmesuguste näidetega võib täita terve albumi<sup>1</sup>.

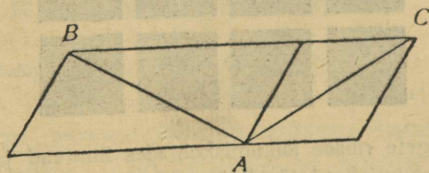
Paljud neist on üldtuntud, teised jälle vähem tuttavad. Toon siinkohal veel mõne huvitavama optilise pette näite vähem tuntute hulgast. Eriti efektsed on illusioonid võrgulisel alusel joon. 153 ja 154. Silm lausa loobub uskumast, et tähed joonisel 153 on asetatud püsti. Veel raskem on uskuda, et joonisel 154 pole meie ees

<sup>1</sup> Minu ülalmainitud raamatukesse „Nägemispettek“ on koondatud enam kui 60 optiliste illusioonide näidet.

spiraal. On vaja end veenda vahetu katsega: pannes pliatsi otsa ühele kujutletava spiraali harule võime



Joonis 154. Selle joonise kõverjooned paistavad spiraalina, kuigi nad on ringjooned. Selles on kerge veenduda, kui tõmmata teritatud tikuga mööda jooni.

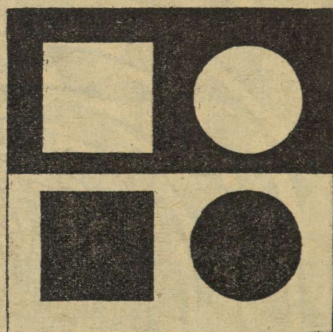


Joonis 155. Sirglõigud  $AB$  ja  $AC$  on võrdsed, kuigi  $AB$  näib pikemana.

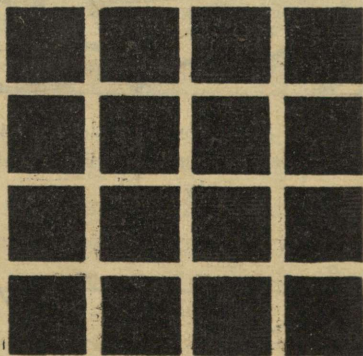
keerutada seda joont mööda, ilma et kaugeneksime kesk-  
punktist või sellele läheneksime. Samuti võib sirkli



Joonis 156. Kaldjoon,  
mis lõikab rööbikuid  
ribasid, näib murdjoonena.

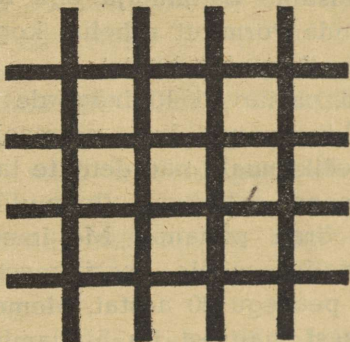


Joonis 157. Valge ja must  
ruut on ühesuurused, samuti  
ka valge ja must ring.



Joonis 158. Valgete ribade lõikumiskohtades ilmuvad ja siis jälle kao-  
vad hallikad ruudukujulised täpid. Tegelikult aga on need ribad kogu  
pikkuses täiesti valged, milles on kerge veenduda, kui paberiga kinni  
katta naabruses olevad mustad ruudud. Nähtus on tingitud kontrastist.

abiga näidata, et joonisel 155 AC pole lühem AB-st. Ülejäänud joonistel 156, 157, 158 ja 159 tekitatud illusioonide olemus on seletatud tekstis nende all.



Joonis 159. Mustade ribade lõikumiskohtades ilmuvad hallikad täpid.

Kuivõrd tugevasti mõjub joonise 158 illusioon, näitab järgmine naljakas lugu: selle raamatu ühe eelmise trüki kirjastaja, saades tsinkograafiast selle kliše e äratõmbe, arvas, et kliše pole täiesti valmis, ja kavatses juba selle töökotta tagasi saata, et kõrvaldataks hallid täpid valgete ribade lõikumiskohtades. Tänu minu juhuslikule ilmumisele sinna sain talle seletada, milles asi seisneb.

### **Kuidas näevad lühinägijad.**

Lühinägija näeb ilma prillideta halvasti; kuid mida tema tegelikult näeb ja millisena paistavad temale esemed, sellest on normaalse nägemisega inimestel väga ähmane ettekujutus. Lühinägijaid on muide üsna palju ja seepärast on kasulik tutvuda sellega, kuidas paistab neile neid ümbritsev maailm.

Esiteks, lühinägija (muidugi ilma prillideta) ei näe kunagi teravaid kontuure: kõik esemed on tal ähmaste piirjoontega. Normaalse nägemisega inimene, vaadates puud, eraldab üksikuid lehti ja oksi, mis selgesti eralduvad taeva taustal. Lühinägija aga näeb ebaselgete fantastiliste kujude vormitut rohelist kogumit; väikesed üksikasjad lähevad temale kaotsi.

Inimeste näod paistavad lühinägijale üldiselt nooremaina ja meeldivamana kui normaalsele nägijale; kortse ja muid väiksemaid näo defekte ta ei näe; krobeline toores punane nahajume (loomulik või kunstlik) paistab temale õrna punana. Me imestame üksikute meie tuttavate naiivsuse üle, kes inimeste vanuse määramisel eksivad peaaegu 20 aastat, oleme hämmastunud nende omapärasest maitsest ilu hindamisel, süüdistame neid ebaviisakuses, kui nad meile otse näkku vaatavad ja nagu ei taha ära tunda... Kõik see tuleneb lihtsalt lühinägelikkusest.

„Lütseumis,“ meenutab Puškini kaasaeglane ja sõber Dellwig, „keelati mul prillide kandmine; seetõttu paistis mulle kõik naised kaunitena. Suur oli minu pettumus, kui lütseumist lahkusin.“ Kuj lühinägija (ilma prillideta) teiega vestleb, ei näe ta sugugi teie nägu, igatahes mitte seda, mida arvate teda nägevat: tema ees on ähmane kuju, ja pole midagi imestada, kui ta teid poole tunni pärast uuesti kohates ära ei tunne. Suuremalt osalt tunnevad lühinägijad inimesi ära mitte niivõrd nende välimuse, kuivõrd häälekõla järgi: nägemise puudulikkus asendub kuulmise teravnemisega.

Ka on huvitav jälgida seda, millisena paistab lühinägijale maailm öösel. Oises valgustuses kasvavad lühinägijale kõik eredad asjad, nagu laternad, lambid, valgustatud aknad jne., väga suureks, muutes pildi eredate

kujuta laikude ning tumedate ja uduste siluettide kaoseks. Laternate kontuuride asemel näeb lühinägija tänaval kahte-kolme hiiglasuurt eredat laiku, mis varjavad tema eest tänava ülejäänud osa. Liginevat autot ta ei eralda; selle asemel näeb ta kahte eredat esituld ja nende taga tumedat kogu.

Isegi öine taevas paistab lühinägijale hoopis teistsugusena kui normaalsele silmale. Lühinägija näeb vaid kolme-nelja esimese suurusjärgu tähte; järelikult mõne tuhande asemel näeb ta ainult paarsada tähte. See-eest paistavad aga need üksikud tähed suurte valgustompudena. Kuu paistab lühinägijale hiiglasuurena ja väga lähedana; poolkuu võtab aga tema silmis väga keeruka fantastilise kuju.

Kõikide nende moonutuste ja kehade kujutiste suurenemise põhjus peitub muidugi lühinägija silma ehituses. Lühinägija silm on liiga sügav, sedavõrd sügav, et esemete kujutised ei teki silma võrkkestale, vaid veidi selle ette. Võrkkestale aga, mis vooderdab silma põhja, jõuavad juba hajuvate kiirte kimbud, mis kutsuvad siin esile ähmaseid laialivalgunud kujutisi.



Kümnes peatükk.

## Hääl ja kuulmine.

### Kuidas leida kaja?

Pole keegi teda näinud,  
aga kuulnud igaüks;  
pole keha, aga elab,  
pole keelt, aga hõikab.

*Nekrassov.*

Ameerika humoristi Mark Twaini jutustuste seas on naljakas väljamõeldis ühe kolleksionääri viperustest, kellele tuli pähe mõte koguda . . . kas teate, mida? Kajasid! See veidrik ostis väsimatult kokku neid maatükke, kus olid kuulda mitmekordsed või muidu millegi poolest tähelepanuväärsed kaja.

„Kõigepealt ostis ta endale kaja Georgia osariigis; see kordas neli korda; siis kuuekordse kaja Marylandis, pärast seda kolmeteistkümnekordse Maine'is. Järgmiseks ostuks oli üheksakordne kaja Kansases, edasiseks kaheteistkümnekordne Tennesseees, mille ta sai odavalt, sest see vajas remonti: osa kaljust oli alla kukkunud. Ta arvas, et seda on võimalik taastada

juurdeehitusega, aga arhitekt, kes selle töö enda peale võttis, polnud kunagi varem tegelnud kajade ehitamisega ja seepärast rikkus asja sootuks; pärast ümbertöötamist võis see kõlvata vaid kurtummade varjupaiga jaoks ...“

See muidugi on nali; tõeliselt on aga siiski olemas suurepäraseid mitmekordseid kajasid paljudes, eriti mägistes kohtades ja mõned neist on ammugi juba omandanud maailmakuulsuse.

Loetlegem mõningad neist. Woodstocki lossis Inglismaal kordab kaja selgesti 17 silpi. Dörenburgi lossi varemed Halberstadt juures andsid 27-kordse kaja, mis aga pärast ühe seina õhkulaskmist on vaikinud. Kaljud, mis ringikujuliselt ümbritsevad Adersbachi Tšehhoslovakkias, kordavad teatavas kohas kolmekordselt seitse silpi, kuid mõne sammu võrra kaugemal ei anna isegi püssipauk mingit kaja. Väga paljukordset kaja oli kuulda ühes (praegu mitte enam olemasolevas) lossis Milaano lähedal: lossi tiiva aknast lastud püssipauk kordus 40—50 korda, vali hüüe aga korda 30.

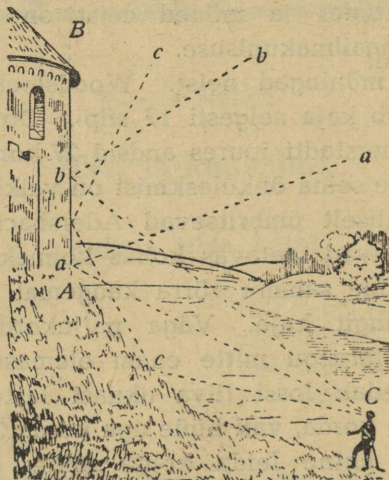
Pole kuigi lihtne leida kohta, milles oleks selgesti kuulda isegi ühekordne kaja. Muide, meil Liidus on suhteliselt kerge niisuguseid kohti leida. Meil on palju metsadega ümbritsetud tasandikke, palju lagendikke metsades: on tarvis vaid sellises kohas kõvasti hüüda, et kuulda enam-vähem selget kaja.

Kaja suhtes pole nii õnnelik olukorras meie läänepoolsed naabrid, kes elavad mägistes kohtades. Mägedes on kaja küll mitmekesisem kui lausikmail, kuid haruldasem. Mägises kohas on kaja raskem kuulda kui metsaga ümbritsetud tasandikul.

Mispärast see nii on, taipate kohe. Kaja pole muud midagi kui mingisuguselt takistuselt tagasipeegeldunud

häälelaine; nagu valguse peegeldumisel, on ka siin keh-  
tiv seadus: häälekiire langemisenurk võrdub peegeldu-  
misenurgaga. (Hääle kiir on see suund, mida mööda  
häälelained levivad.)

Nüüd kujutlege, et asute mäejalal (joon. 160), häält  
peegeldav takistus asetseb aga teist kõrgemal, näiteks

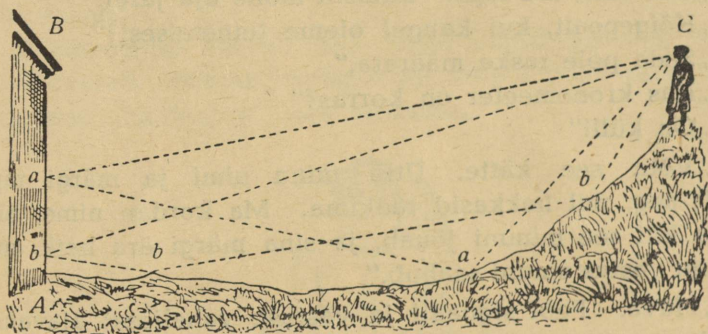


Joonis 160. Kaja puudub.

AB-s. On ju kerge näha, et häälelained, mis liiguvad  
mööda Ca-d, Cb-d ja Cc-d, ei satu pärast peegeldumist  
teie kõrva, vaid hajuvad laiali suundades aa, bb ja cc.  
Teine asi on, kui asetsete takistuse kõrgusel või sellest  
kõrgemal (joon. 161). Häält, minnes alla Ca või Cb suu-  
nas, tuleb tagasi teie kõrva murdjooni CaaC või CbbbC  
mööda, olles vahepeal üks või kaks korda maapinnalt  
peegeldunud. Nõgu maapinnas kahe punkti vahel  
veelgi soodustab kaja selgust, mõjudes kui nõguspeegel.

Vastupidi, kui maapind punktide C ja B vahel on kumer, on kaja nõrk või ei jõua üldse teie kõrvadeni: selline maapind hajutab häälekiiri nagu kumerpeegel.

Kaja leidmine ebatasases kohas nõuab teatavat vilumust. Isegi kui on leitud soodne koht, peab oskama kaja esile kutsuda. Kõigepealt ei tule asuda takistusele liiga lähedale: on vaja, et hääl läbiks küllalt pika tee, muidu tuleb ta liiga kiiresti tagasi ja liitub hüüde endaga. Teades, et hääle kiirus on 340 meetrit sekundis, on arusaadav, et kui seista 85 m kaugusel takistusest, peate kuulma kaja täpselt pool sekundit pärast häält.



Joonis 161. Selge kaja.

Kuigi „iga hääl tekitab tühjas õhus kaja“, pole see siiski iga hüüde puhul ühesuguselt selge. Kaja pole ühesugune, „kas mõirgab elajas tihedas metsas, või puhub pasun, või müristab äike, või laulab näitsik künka taga“. Mida teravam, katkelisem on hüüe, seda selgem on kaja. Kõige parem on tekitada kaja käte plaksutamisega. Inimese hääl on selleks vähem kõlblik, eriti mehe hääl; naiste ja laste hääle kõrged toonid annavad märksa selgema kaja.

## Hääl mõõtlindi asemel.

Teades hääle levimise kiirust õhus võib häält mõnikord kasutada ligipääsmatute esemete kauguse määramiseks. Sellist juhtu kirjeldab Jules Verne oma romaanis „Reis Maa keskpunkti“. Maa-aluse matka ajal kaotasid kaks reisijat — professor ja tema vennapoeg — teineteise silmist. Kui neil viimaks õnnestus kaugelt teineteist kuulda, toimus nende vahel järgmine kõnelus:

„Lell!“ hüüdsin (jutustab vennapoeg).

„Kas sina, mu laps?“ kuulsin mõne aja järel.

„Kõigepealt, kui kaugel oleme teineteisest?“

„Seda pole raske määrata.“

„Kas kronomeeter on korras?“

„On küll!“

„Võta see kätte. Utle minu nimi ja märgi täpselt aeg, mil hakkasid rääkima. Ma kordan nime, niipea kui see minuni jõuab, ja sina märgi ära hetk, mil minu vastus sinuni saabub.“

„Hüva. Pool signaali ja vastuse vahelisest ajavahe-  
mikust näitab, mitme sekundi jooksul hääl läbib vahe-  
maa meie vahel. Kas oled valmis?“

„Jah.“

„Tähelepanu! Ma lausun sinu nime.“

Ma panin kõrva vastu seinu. Kohe, kui sõna „Axelle“ (nii oli jutustaja nimi) minu kõrva jõudis, kordasin ma seda ja jäin ootama.

„Nelikümmend sekundit,“ ütles lell, „järelilikult jõudis hääl minuni 20 sekundi jooksul. Et hääl läbib sekundis kolmandiku kilomeetrit, siis on vahemaa meie vahel umbes 7 kilomeetrit.“

Kui teie hästi taipasite, millest selles katkendis jutustati, siis on teil kerge lahendada järgmine ülesanne:

Ma kuulsin kauge veduri vilet poolteist sekundit pärast seda, kui nägin selle vile tekitajat — valget suitsupilvekest. Kui kaugel asusin ma vedurist?

### Häälepeeglid.

Metsasein, kõrge plank, ehitis, mägi — üldse iga tõke, mis häält peegeldab, pole muud midagi kui peegel hääle jaoks: see peegeldab häält samuti nagu tasapeegel valgust.

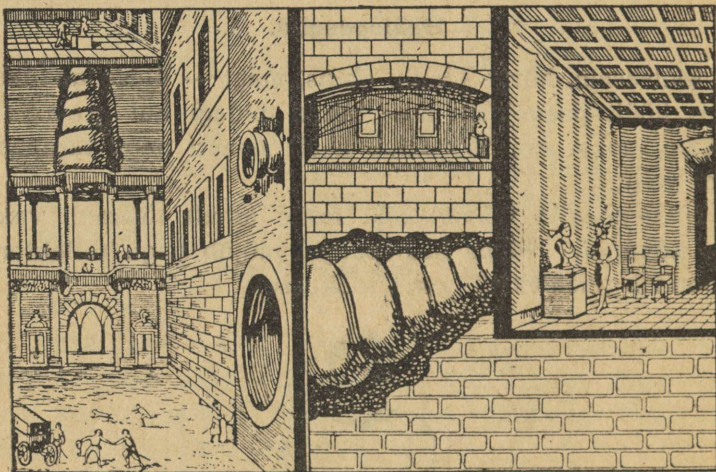
Häälepeeglid võivad olla mitte ainult tasased, vaid ka kõverad. Nõgus häälepeegel mõjub nagu reflektor: koondab „häälekiiri“ oma fookusse.



Joonis 162. Hääle nõguspeeglid.

Kaks supitaldrikut võimaldavad teha järgmist huvitavat katset. Pange üks taldrik lauale ja hoidke paari sentimeetri kaugusel selle põhjast taskukella. Teist taldrikut hoidke pea juures kõrva ligi, nagu on näidatud joonisel 162. Kui kella, kõrva ja taldrikute asend

on õigesti valitud (see õnnestub mitme proovimise järel), siis kuulete kella tiksumist, nagu oleks see lähtunud pea kõrval asetsevast taldrikust. Illusioon tugevneb veelgi, kui silmad kinni hoida: siis on otse võimatu kuulmise järgi öelda, millises käes on kell, kas paremas või vasakus.



Joonis 163. Imelikud hääleseadmed vanaaegses lossis — rääkivad büstid. Athanasius Kircheri raamatust 1560. a.

Keskaja losside ehitajad korraldasid tihti sääraseid hääle kurioosumeid sel teel, et paigutasid büstid kas nõguspeegli fookusse või osavalt seinasse peidetud kõnetoru otsa juurde. Joonisel 163, mis on võetud vanaaegsest XVI sajandi raamatust (Athanasius Kircher, 1560), on näha neid teravmeelseid seadeldisi: väljast kõnetoru kaudu sissesuunatud hääled juhivad lõpuks läbi büsti huultele; tohutu suured hoonesse sissemüritud kõnetorud toovad väljast mitmesuguseid hääli saali

seina äärde asetatud kivist büstide juurde jne. Sellise galerii külastajale paistis, nagu oleksid marmorkujud sosistanud, laulu ümisenud jne.

### Hääled teatrisaalis.

Sellele, kes on palju külastanud mitmesuguseid teatri- ja kontsertsaale, on hästi teada, et kuuldavuselt võivad saalid olla hea ja halva akustikaga: mõnedes ruumides on näitlejate ja muusikariistade hääl hästi kuuldav suure kauguseni, teistes aga on hääl isegi lähedal ebaselge. Selle nähtuse põhjus on väga hästi seletatud ameerika füüsiku Wood'i raamatus „Häälelained ja nende rakendused“<sup>1</sup>.

„Iga hoones tekitatud hääl kuulub veel pikemat aega peale hääle tekitamist; mitmekordsete peegeldumiste tagajärjel käib hääl hoones mitu korda ringi. Sel ajal aga tekivad juba uued hääled ja kuulaja pole võimaline neid tajuma õiges järjekorras ega neist aru saada. Näiteks kui hääl kestab kolm sekundit ja kõneleja räägib kiirusega kolm silpi sekundis, siis liiguvad häälelained, mis vastavad üheksale silbile, kõik koos toas ringi ja tekitavad täielikku segadust ja müra, mille tõttu kuulaja ei saa kõnelejast aru.

Kui kõnelejal tuleb sellistel tingimustel esineda, siis peab ta rääkima väga selgelt ja mitte väga kõvasti. Tavaliselt aga püüavad kõnelejad, otse vastupidi, rääkida valjusti ja sellega ainult suurendavad müra.“

Mitte väga palju aega tagasi vaadati hea akustikaga teatrile kui õnnelikule juhusele. Praegu on aga leitud viise, kuidas edukalt võidelda hääle sellise soovimatu

---

<sup>1</sup> Selle raamatu venekeelne tõlge ilmus 1934. a.

kestusega (mida nimetatakse reverberatsiooniks), mis häirib kuuldavust. Selle raamatu ülesandeks pole tuua üksikasju, mis võiksid huvitada ainult arhitekte. Täheandan vaid, et võitlus halva akustikaga seisneb peamiselt häält absorbeerivate pindade loomises. Kõige paremaks hääle absorbeerijaks on avatud aken (nagu parimaks valguse neelajaks on ava); avatud akna üks ruutmeeter on võetud isegi ühikuks, millega mõõdetakse hääle neeldumist. Samuti väga hästi, kuid siiski kaks korda halvemini kui avatud aken neelavad hääli teatri külastajad ise: iga inimene on ses suhtes samaväärne näiteks avatud akna poole ruutmeetriga. Ja kui on õige ühe füüsiku märkus, et „auditoorium sõna otseses tähenduses neelab oraatori kõne“, siis on niisama õige, et tühi saal selle sõna otseses tähenduses on kõnelejale samuti väga ebameeldiv.

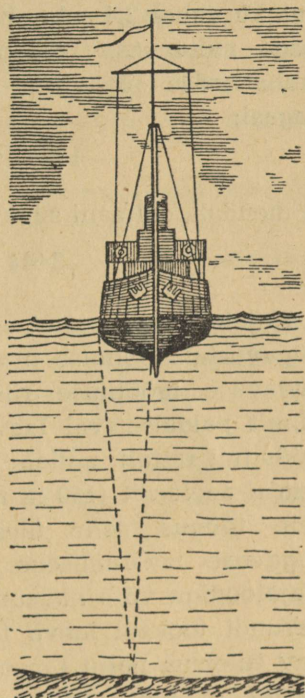
Vastupidi, kui hääle neeldumine on liiga suur, halveneb kuuldavus samuti. Esiteks, liiga suur neeldumine summutab hääli, teiseks vähendab reverberatsiooni sel määral, et hääled kuuldavad lahtirebenenuina ja tekivad teatava kuivuse mulje. Seepärast, kuigi tuleb vältida liiga suurt reverberatsiooni, pole ka liiga lühike reverberatsioon soovitav. Mitmesuguste saalide parim reverberatsioon pole ühesugune, ja seda tuleb määrata juba iga saali projekteerimisel eraldi.

Teatris on olemas veel üks füüsika seisukohalt huvitav ese: suflöörkast. Kas olete täheldanud, et sellel esemel on kõigis teatris ühesugune kuju? See on tingitud asjaolust, et suflöörkast on teataval määral füüsikariist. Kasti lagi kujutab endast nõgusat häälepeeglit, millel on täita kaks ülesannet: vältida suflööri suust tulnud häälelainete levimist publiku suunas ja peegeldada neid lava suunas.

## Kaja merepõhjast.

Pikemat aega ei osanud inimene kajast mingit kasu saada, nimelt niikaua, kuni ta ei hakanud kasutama kaja merede ja ookeanide sügavuse määramiseks. See rakendus avastati juhuslikult. 1912. aastal uppus pea-aegu kõikide reisijatega hiiglasuur ookeaniaurik „Titanic“ juhusliku kokkupõrke tagajärjel suure ujuva jäämäega. Selleks et kindlustada laevasõitu säärase õnnetuste eest ja avastada õisel ajal ja uduse ilmaga laeva ees olevaid jäätkoikeid, hakati kasutama kaja. See viis ei andnud praktikas tulemusi, see-eest aga viis ühele teisele mõttele: mõõta meresügavusi kaja abil. Mõte osutus väga õnnestunuks ja praegu on juba terve hulk laevu, nende hulgas ka meie jäälõhkuja „Jermak“, varustatud vastava tehnilise seadisega.

Joonisel 164 näete sellise seadise skeemi. Laevaruumis ühe külgeina kõrval põhja läheduses on padrun, mis tekitab lõhkemisel tugeva hääle. Häälelained levivad läbi vee merepõhjani, peegelduvad seal ja tulevad tagasi, tekitades kaja. Kaja püü-



Joonis 164. Kajaaloodi töötamise skeem.

takse kinni tundliku riistaga, mis asetseb, nagu padruni, laevapõhja lähedal. Täpne kell määrab ajavahemiku hääle tekkimise ja kaja tagasituleku aja vahel. Teades hääle kiirust vees on kerge arvutada merepõhja kaugust laevast, s. o. määrata mere või ookeani sügavust.

Olgu ajavahemik padruni lõhkemise ja kaja tagasituleku vahel 2,4 sek. Korrutades seda arvu hääle kiirusega merevees (1435 meetrit sekundis) saame ookeani kahekordse sügavuse, s. o. hääle tee merepõhjani ja tagasi:

$$1435 \times 2,4 = 3444 \text{ m.}$$

Tähendab, ookeani sügavus on antud kohas:

$$3444 : 2 = 1722 \text{ m.}$$

Kajalood (nii nimetatakse seda seadist) tekitab mere-sügavuste mõõtmise praktikas täieliku pöörde. Endiste sügavuse mõõtmise riistade kasutamine oli võimalik ainult paigalseisval laeval ja vajas palju aega. Loodi nõör tuli rattalt, millele see oli mähitud, alla lasta võrdlemisi aeglaselt (150 m minutis); peaaegu niisama aeglaselt toimus selle ülesvinnamine. Kolmekilomeetrise sügavuse määramiseks selle meetodiga kulus  $\frac{3}{4}$  tundi. Kajaloodiga võib niisama suurt sügavust määrata mõne sekundi jooksul laeva täiel käigul. Seejuures on saadav tulemus palju täpsem ja kindlam. Uusimail mõõtmistel ei ületa viga veerand meetrit (ajavahemikud mõõdetakse kuni kolme tuhandiku sekundilise täpsusega). Kui suurte sügavuste mõõtmine on tähtis okeanograafiale, siis väikeste sügavuste kiire, täpne ja kindel mõõtmine on olulise tähtsusega meresõidule, kindlustades sõidu ohutust: tänu kajaloodile võib laev julgelt ja kiire sõiduga kaldale läheneda.

Praegusel ajal on kasutusel umbes pool tosinat süsteemi kajaloode. Kajaloodi abil teostatud mõõtmiste arv võistleb selle arvuga, mis on saadud mehhaanilise loodi abil. Ainuüksi saksa ekspeditsioonilaev „Meteor“ teostas Atlandi ookeanil umbes 70 000 sügavusemõõtmist uue meetodi järgi<sup>1</sup>.

Esimene nõukogude kajalood (valmis tervenisti Leningradi tehases) võeti tarvitusele „Jermakil“. Selle jäälõhkuja reisul Leningradist Murmanski 1934. aastal tehti kajaloodiga palju sügavusemõõtmisi, mis näitasid nõukogude aparaadi kõrgeid omadusi.

On tehtud edukaid katseid kasutada kajaloodi ka lennuasjanduses lennuki kõrguse määramiseks maapinna või vee kohal juhtudel, kui teised mõõtmisviisid ei anna kindlaid tulemusi.

Moodsates kajaloodides ei kasutata harilikke hääli, vaid väga intensiivseid ultrahääli, millede sagedus tõuseb mitme miljonini sekundis ja mis pole kuuldavad inimese kõrvale.

Selliseid häälelaineid tekitatakse kiiresti muutuvasse elektrivälja paigutatud kvartsplaadi (pieso-kvarts) võnkumiste abil.

### **Putukate sumin.**

Mispärast putukad tihti teevad sumisevaid hääli? Enamikul juhtudest puuduvad neil selleks üldse erilised elundid. Sumin, mis on kuuldav ainult lennul, on tingitud lihtsalt sellest, et putukas liigutab lennul oma tiibu

---

<sup>1</sup> USA kallaste kaardistamise valitsuse kajalood mõõdab sügavusi 2–36 meetrini täpsusega kuni paar cm, teostades kuni 20 mõõtmist sekundis (s. o. tee iga veerandmeetri järel). Seda loodi kasutatakse edukalt muuseas ka uppunud laevade otsimisel.

mitusada korda sekundis. Tiib on võnkuv plaadike, ja me teame, et iga küllalt suure sagedusega (enam kui 16 korda sekundis) võnkuv plaat tekitab kindla kõrgusega tooni.

Nüüd aimate, kuidas nimelt oli võimalik määrata tiibade liigutuste arvu, mida teeb lennul üks või teine putukas. Selleks on vaid tarvis kuulmise järgi määrata putuka poolt tekitatud tooni kõrgus; vastab ju iga tooni kõrgusele kindel võnkesagedus. Ajaluubi (I ptk.) abil on kindlaks tehtud, et tiivaliigutuste arv on igal putukal peaaegu muutumatu; lennu reguleerimiseks muudab putukas ainult tiiva liikumise ulatust — amplituudi — ja tiibade kallakust; liigutuste sagedus sekundis suureneb ainult külma mõjul. Seepärast on ka toon, mida teeb putukas lennul, muutumatu. Näiteks on leitud, et toakärbes (tekitades lennul tooni  $f^1$ ) teeb sekundis tiibadega 352 liigutust. Kimalane teeb 220 tiivaliigutust sekundis. Mesilane (tekitades tooni  $a^1$ ) teeb vabalt lennates tiibadega 440 liigutust sekundis ja ainult 330 liigutust (toon  $b^1$ ), kui ta lendab meekoormaga. Mardikad, kes tekitavad lennul madalamaid toone, liigutavad oma tiibu aeglasemalt. Seevastu sääsk teeb tiibadega sekundis 500—600 liigutust. Võrdluseks mainime, et lennuki propeller teeb sekundis keskmiselt umbes 25 tiiru.

### Kuulmispettek.

Kui me millegipärast arvame, et väikese müra tekitaja pole meie läheduses, vaid palju kaugemal, siis kuuldub hääl meile palju valjemana. Selletaolisi kuulmispetteid juhtub meiega üsna sageli; me ei pane neid vaid alati tähele.

Toon huvitava juhtumi, mida kirjeldas nüüd juba surnud ameerika teadlane William James oma „Psühholoogias“.

„Kord hilja öösel ma istusin ja lugesin. Äkki kuulsin maja ülemisest osast tugevat müra, siis vaibus see, kuid minuti pärast kuuldus uuesti. Ma siirdusin saali, et seda kuulata, aga seal polnud müra kuulda. Vaevalt olin oma tuppä tagasi tulnud ja raamatu juurde istunud, kui jälle tõusis vali, rahutuks tegev müra, nagu enne tormi või uputust. Seda oli kuulda igalt poolt. Siirdusin äärmiselt erutatuna uuesti saali — ja müra kadus uuesti.

Teistkordselt oma tuppä tagasi tulnud, ma avastasin äkki, et müra tekitajaks oli väike koer, kes norsates põrandal magas! . . .

Siinjuures on huvitav see, et olles kord kindlaks teinud müra põhjuse, ei õnnestunud kõigile pingutustele vaatamata enam esile kutsuda eelnenud illusiooni.“

Lugeja tõenäoliselt saab meenutada ka omast elust sellesarnaseid juhtumeid. Mina olen juhtunud neid täheldama rohkem kui korra.

### **Kus siristab rohutirts?**

Väga tihti eksime häält tekitava keha suuna, mitte aga kauguse määramisel.

Meie kõrvad teevad üsna hästi vahet, kas püssipauk kuuldus paremal või vasakul pool (joon. 165), aga eksivad sageli, kui hääleallika asukoht on otse meie ees või taga (joon. 166). Püssipauk eestpoolt kuuldub lastuna tagant.

Sellistel juhtudel suudame vaid hääle tugevuse järgi eristada kauget pauku lähedasest.

Järgmine katse võib olla küllaltki õpetlik. Pange kedagi istuma keset tuba kinniseotud silmadega ja paluge teda istuda rahulikult, pead pööramata. Seejärel, seistes kogu aeg püsttasapinnas, mis läbib külalise pea silmade vahelt, võtke kätte kaks metallraha ja lööge ühte münti teise vastu. Katsealune püüdku arvata, kus laksatus kõlas. Tulemus on lausa uskumatu: hääl tekitati toa ühes nurgas, katsealune näitab aga sellele vastu- pidist nurka.



Joonis 165. Kus lasti: kas paremal või vasakul?

Kui astute pea sümmeetriatasapinnast kõrvale, siis pole vead enam nii suured. See on ka arusaadav: hääl jõuab lähemasse kõrva veidi varem ja ka valjemalt; tänu sellele võib katsealune määrata hääle lähtekohta.

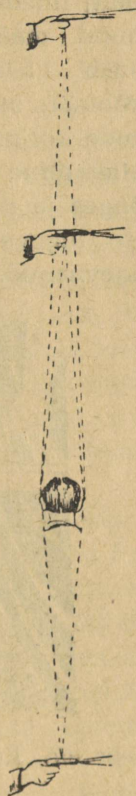
See katse muide seletab ka, miks on nii raske märgata rohus siristavat rohutirtsu. Kuuldub terav hääl teist

kahe sammu kaugusel, paremal pool teerada. Te vaatate sinna, kuid rohutirtsu pole näha; häält on aga kuulda juba vasakult. Pöörake pea sinna — ja te kuulete häält juba mingist kolmandast kohast. Mida kiiremini pead siristava hääle poole pöörate, seda kiiremini toimuvad selle nägematu moosekandi hüpped. Tõeliselt aga istub putukas kogu aeg ühes kohas; tema hämmastavad hüpped on ainult teie kujutluse vili, kuulmispette tagajärg. Viga seisneb selles, et te pead pöörates asetate ta nii, et rohutirts asub teie peaga ühes sümmeetriatasapinnas. Nagu teame, võib sellistel tingimustel hääle suuna suhtes kergesti eksida: rohutirtsu siristamine on teie ees, eksikombel arvate selle aga olevat vastassuunas.

Siit praktiline järeldus: kui tahate määrata, kust kostab rohutirtsu hääl, käo kukkumine või taolised kauged hääled, ärge pöörake nagu hääle poole, vaid, vastupidi, pöörake pea kõrvale. Muide, seda me ju teemegi, kui me, nagu öeldakse, „kõrvu teritame“.

### Kuulmise kurioosumid.

Närides kõva kuivikut kuuleme kõrvulukustavat raginat, kuigi samal ajal meie naabrid söövad samasuguseid kuivikuid ilma tähelepandava praksumiseta. Millise kavalusega väldivad nad seda raginat?



Joonis 166.

Kus lasti?

Asi seisneb selles, et see ragin ja müra esineb ainult meie kõrvades ja häirib vähe meie naabrite kõrvu. Kolju luud, nagu üldse kõvad ja elastsed kehad, juhivad hästi häält; tihedas keskkonnas võib aga hääl mõnikord väga suurel määral tugevnedada. Kuiviku praksumist, mis jõuab läbi õhu kõrvani, tajutakse kui kergelt krõbinat; sama praksumine, minnes läbi kõvade koljuluude koljunärvi, muutub valjuks raginaks. Veel üks selletaoline katse: võtke hammaste vahele taskukella rõngas ja sulgege kõrvad tugevasti sõrmedega: te kuulete tugevaid lööke — kella tiksumine on sedavõrd tugevnenud.



Joonis 167. Kurttummad tantsivad muusika järgi. Orkester asetseb tantsusaali põranda all.

Nagu räägitakse, olevat Beethoven peale kurdiksjäämist kuulanud klaverimängu sel viisil, et pani kepi ühe otsa klaverile, teist otsa aga hoidis hammaste juures. Samuti võivad ka kurdid, kelle sisekõrv on terve, muusika järgi tantsida: hääled jõuavad neil kuulmisnärvi

põranda ja luude kaudu. Joonisel 167 näete kurtummadele korraldatud tantsuõhtu pilti: orkester asetseb tantsusaali põranda all ja hääled kanduvad läbi puitpõranda tantsijate jalgadesse.

### Kuidas mõõdetakse müra.

Igaühele on selge vajadus uurida muusikatoone, s. o. hääli, millel on kindel kõrgus ja kindel võnkesagedus. Kuid milleks uurida müra, seda vahelduva sagedusega häälte ebamäärast segu? Veel hiljuti mürasid teaduslikult peaaegu üldse ei uuritud. Mitmekülgse uurimise objektiks said nad alles viimasel ajal, kui selgus, et väga valjud hääled mõjuvad inimese tervisele kahjulikult ja alandavad tema töö produktiivsust<sup>1</sup>. Tekkis kõigepealt vajadus mõõta täpselt müra valjust, väljendada seda arvuliselt. Selleks oli aga tarvis kokku leppida valjuse ühiku kohta.

Hääle valjuse ühikuks on valjus 1 bell<sup>2</sup>, mis on võrdne 10 detsibelliga. Vaikne sosin kahe sammu kaugusel või lehtede sahin kerge tuulega on hääle valjusega 10 detsibelli (1 bell); vali kõnelemine — 65 detsibelli; neetimismasina müra 10 meetri kaugusel — peaaegu 100 detsibelli. Selle hindamisviisi iseärasus seisneb asjaolus, et valjuste vahele 1 bell vastab hääle tugevuste suhe 10, vahele 2 belli vastab suhe 100 jne. Kui te teate, et vaikse auto poolt tehtud müra on 5 belli ja lehtede sahin on üks bell, siis ületab auto poolt tekitatud hääle tugevus (õigemini energia) sahina energia mitte viis korda, vaid  $10^4$ , s. o. 10 000 korda. Asja matemaatilisel

<sup>1</sup> Isegi nõrk müra võib tööviljakust 40% võrra alandada.

<sup>2</sup> Telefoni ühe leiutaja Bell'i nime järgi.

küljel ma siinkohal ei peatu; selle küsimusega võib lugeja tutvuda minu raamatus „Huvitav algebra“.

Hääle valjuse näidetena on toodud mõnede looduslike ja tehniliste mürade valjused:

Lehtede sahin nõrga tuulega	10	detsibelli
Tavaline sosin kõrvast 120 cm kaugusel	20	”
Vaikne tänav õhtutundidel	30	”
Tasane auto 10 m kaugusel	50	”
Tavaline jutlemine 1 m kaugusel	65	”
Kõige mürarikkam koht Niagara joal	90	”
Neetimismasin 10 m kaugusel	97	”
Lennukimootor summutajata	100	”

Müra 80 ja enam detsibelli mõjub juba inimese tervisele kahjulikult: rikub südame rütmi, suurendab vere rõhumist jne. Siit järgneb vajadus võidelda kahjulikkude müradega. Kuidas?

Sellele küsimusele annab asjatundja prof. Rževkin järgmise vastuse:

„Võitluses müraga võib taotleda kõige mürarikimate masinate ehituse parandamist. Mürategevad masinad tuleb paigutada häält isoleerivate seinte ja vundamendiga eriruumidesse. Allmaaraudtee müra vähendamist võib saavutada vagunite erilise konstruktsiooniga ja tunneliseinte katmisega häält neelavate ainetega. Lennukabiini hääleisolatsioonis on saavutatud üsna suuri edusamme. Väga suur tähtsus on elumajade hääleisoleerimisel nii välimistest kui ka sisemistest müradest. Selles suhtes võib palju saavutada seinte, lagede ja uste ots-  
tarbeka konstruktsiooniga ilma ehitise erilise kallinemiseta.“

## „Kõhurääkimise imed“.

Kõhurääkijate poolt sooritatud „imed“, mis meid lausa hämmastama panevad, põhinevad neilsamadel hääle iseärasustel, milledest oli juttu lk. 312—315.

Prof. Hampson kirjutab: „Kui keegi kõnnib katuseharjal, siis ta hääle kuulub majas nõrga sosinana. Mida enam läheneb ta maja äärele, seda nõrgemaks muutub see sosin. Kui me istume majas mingis toas, siis meie kõrv ei võimalda midagi öelda selle rääkiva isiku kaugusest ja kohast, kust tuleb hääle. Hääle nõrgenemise põhjal järeldab meie mõistus, et rääkiv inimene meist kaugeneb. Kui sama hääle ütleb nüüd, et hääle tekitaja liigub katusel, siis jääme seda kergesti uskuma. Ja lõpuks, kui keegi hakkaks jutlema selle isikuga, kes oleks nagu väljas, ja saab seejuures mõtestatud vastuseid, siis on illusioon täielik.“

„Sellised on tingimused, millel toimub kõhurääkimine. Kui järg jõuab katusel kõndiva inimese kätte, siis kõhurääkija pomiseb nõrgalt; on aga tema kord kõnelda, siis, et rõhutada kontrasti teise häälega, räägib ta valju, selge häälega. Veel enam suurendab illusiooni tema märkuste ja ta kujutletava kaasvestleja vastuste sisu. Ainsaks nõrgaks kohaks selles pettuses võib olla asjaolu, et kujutletava väljas oleva isiku hääle tõeliselt tuleb laval olevalt inimeselt, seega häälel on valesuund.“

„Tuleb veel märkida, et sõna kõhurääkija pole sobiv. Kõhurääkija peab oma kuulajate ees varjama seda fakti, et ta räägib ise oma kujutletava kaasvestleja asemel. Selleks tarvitab ta igasuguseid võtteid. Mitmesuguste žestide abil püüab ta kuulajate tähelepanu endast eemale pöörata. Painutades end kõrvale ja hoides kätt kõrva juures, nagu tahtes kuulatada, püüab ta

varjata oma huuli. Kui pole võimalik oma nägu varjata, siis teeb ta huultega ainult kõige vajalikumaid liigutusi. Sellele aitab kaasa ka asjaolu, et tihti on vaja vaid ebaselget nõrka sosinat. Huulte liikumise varjamine toimub nii osavalt, et mõned inimesed arvavad, nagu tuleks teine hääl kusagilt näitleja keha sügavusest; sellest siis ka nimetus „kõhurääkimine“.

Kõhurääkimise kujutletavad imed põhinevad seega asjaolul, et me pole võimelised täpselt otsustama suuna ja ka koha üle, kust hääl tuleb. Tavalistel tingimustel teeme seda ainult ligikaudu; kuid tarvitseb meid hääle tajumise suhtes asetada vaid mitte päris tavalistesse tingimustesse — ja me võime hääleallika määramisel kõige rängemalt eksida. Hoolimata sellest, et hästi teadsin, milles asi seisneb, ei saanud ma kõhurääkijat vaadeldes vabastada end illusioonist.

## Sada küsimust „Huvitava füüsika“ esimese raamatu kohta.

- 1) Mitu korda liigub tigu aeglasemalt jalakäijast?
- 2) Kui suur on nüüdisaegse lennuki kiirus?
- 3) Kas võib inimene Päikesele järele jõuda selle ööpäevasel liikumisel taeval?
- 4) Millest tekkis sõna „silmapilk“?
- 5) Kuidas saavutatakse kinoekraanil liikumiste ebaloomulikku aeglustamist?
- 6) Millal maakera elanikud liiguvad ümber Päikese kiiremini, kas keskööl või keskpäeval?
- 7) Mispärast liikuva ratta ülemised kodarad vaatlemisel mõnikord liituvad ühte, kuna alumisi on näha eraldi?
- 8) Missugused liikuva veduri punktid liiguvad edasi kõige aeglasemalt? Missugused osad liiguvad vastassuunas?
- 9) Mispärast tähed paistavad meile ettenihutatuina Maa liikumise suunas oma orbiidil?
- 10) Mispärast kallutame keha ette või lükkame jalad tooli alla, kui tahame toolilt tõusta?
- 11) Millega on seletatav vanade meremeeste eriline kõnnak?
- 12) Mille poolest erineb kõndimine jooksust?
- 13) Kuidas tuleb hüpata liikuvast vagunist, kui see on hädavajalik? Esitage vastuse põhjendus!

- 14) Kuulus luiskaja Münchhausen rääkis, et tema olivat püüdnud lendavaid kahurikuule. Kas on see tingimata võimatu?
- 15) Kas võib, olles kiiresti kihutavas autos, ohutult püüda sellesse visatud esemeid?
- 16) Kas vabalt langev keha kaalub rohkem või vähem kui paigalseisev keha?
- 17) Kas iga ülesvisatud keha peab tingimata Maa peale tagasi kukkuma?
- 18) Kas Jules Verne'i romaanis „Kahurist Kuule“ on kirjeldatud õigesti seda, mis toimus lendavas mürsus?
- 19) Kas on võimalik õigesti kaaluda mitteõigete kaaludega, kui on käepärast õigeid vihte? Ja õigete kaaludega, kui vihid pole õiged?
- 20) Kas on meile kasulik, et skeleti luud töötavad nagu kangid tingimustel, kus suure tungiga ületatakse väike takistus?
- 21) Mispärast ei vaju suusataja kobedasse lumme?
- 22) Mispärast pole kõva lamada võrkkiiges?
- 23) Kuidas teostasid sakslased tulistamist 120 km kaugusele?
- 24) Mispärast tõuseb paberlohe lendu?
- 25) Kas kivi, langedes suurest kõrgusest, liigub õhus kogu aja üha suureneva kiirusega?
- 26) Milline on suurim langemiskiirus inimesel, kes langeb avamata langevarjuga?
- 27) Kuidas seletatakse bumerangi kummalist lendu?
- 28) Kas on võimalik muna katki tegemata otsustada, kas ta on toores või keedetud?
- 29) Kus on esemed raskemad: kas ekvaatori või pooluse läheduses?

- 30) Kuhupoole suundub pöörleva ratta pöial kasvava taime juur?
- 31) Kas on vahet „igavese liikumise“ ja „igavese jõumasina“ vahel?
- 32) Kas katsed ehitada igavest jõumasinat olid edukad?
- 33) Kustpoolt avaldab vedelik temasse asetatud kehale suurimat rõhumist: ülalt, külgedelt või alt?
- 34) Mis toimub, kui kaalukaasil vihtidega tasakaalustatud anumasse lasta raskus, mis ripub käes hoitava nõõri küljes?
- 35) Missuguse kuju peaks omandama vedelik, mis ei oma kaalu? Kas oleks võimalik vastust katseliselt kontrollida?
- 36) Mispärast on vihmatilgad kerakujulised?
- 37) Kas on õige, et petrooleum imbub läbi klaasi ja metallide? Millest tekkis niisugune arvamus?
- 38) Kas võib terasnõela vee peale ujuma panna?
- 39) Mis on flotatsioon?
- 40) Mispärast seep mustuse ära peseb?
- 41) Mispärast lendab seebimull üles? Missuguses ruumis tõuseb ta kiiremini, kas külmas või soojas?
- 42) Mis on õhem ja umbes mitu korda: inimese juus või seebimulli kile?
- 43) Kui taldrikule, milles on vesi, panna ümberpööratud klaas põleva paberiga, siis koguneb vesi klaasi alla. Mispärast?
- 44) Mispärast tõuseb vesi üles, kui seda läbi õlekõrre imeda?
- 45) Kaaludel on puutükk tasakaalustatud vihtidega. Kas jääb tasakaal püsima, kui asetada kaalud õhupumba kupli alla ja õhku hõrendada?
- 46) Mis toimub kaaludega eelmisest küsimusest, kui need asetada tihendatud õhku?

- 47) Kui teie keha kaotab oma kaalu, rõivad aga mitte, kas tõuseksite siis õhku või jääksite maapinnale?
- 48) Kas on olemas vahet „igavese“ ja „tasutu“ jõumasina vahel? Kas on õnnestunud ehitada tasuta töötavat jõumasinat?
- 49) Missugune rike ähvardab trammi rööbasteed suure palavusega? Tugeva pakasega? Mispärast ei ähvarda seesama oht raudtee rööbasteed?
- 50) Missugusel aastaajal ripuvad telefoni- ja telegraafijuhtmed kõige madalamal?
- 51) Missugused klaasid lõhkevad kõige sagedamini kuumast veest, kas paksude või õhukeste seintega? Ja külmast?
- 52) Mispärast on limonaadiklaasid valmistatud pakside põhjadega ja mispärast ei kõlba niisugused klaasid teejoomiseks?
- 53) Missugusest läbipaistvast ainest oleks kõige parem valmistada nõusid, et need kuuma ega külma käes ei lõhkeks?
- 54) Mispärast on tülikas tõmmata saabast kuuma jalga?
- 55) Kas on võimalik ehitada sellist kella, mida pole tarvis üles keerata?
- 56) Kas on võimalik ehitada samal põhimõttel suuremaid mehhanisme?
- 57) Mispärast tõuseb suits üles?
- 58) Kuidas toimite, kui soovite jääga jahutada pudelit limonaadi?
- 59) Kas jää sulamine kiireneb, kui jää mähkida kassasse?
- 60) Kas on õige, et lumi maad soojendab?
- 61) Mispärast maa-alustes torudes vesi talvel ei külmu?
- 62) Kus kohas Moskva oblastis on talv juulikuus?

- 63) Kuidas on võimalik, et vett võib keeta joodetud anumates, ja mispärast anum seejuures tules ei sula?
- 64) Mispärast liigub kelk lumel suure külmaga halvasti?
- 65) Mispärast on sula ilmaga lumepallid head, külmaga aga lagunevad?
- 66) Kuidas tekivad jääpurikad mittekõetavate hoonete katustel?
- 67) Miks on ekvatoriaalsetes maades soojem kui polaarmaades?
- 68) Kuidas muutuks Päikese tõusu hetk, kui valgus leviks silmapilkselt?
- 69) Kas muutuks teleskoopide ja mikroskoopide töötamine, kui valgus leviks igas keskkonnas silmapilkselt?
- 70) Kui tugevasti rõhuvad päikesekiired ühehehtaarsele kiirtega risti asetsevale pinnale?
- 71) Kas võib sundida valguskiiri tõkete ümbert ringi minema?
- 72) Kuhu tuleb paigutada lamp, et oma nägu oleks paremini peeglis nähtav, kas enda ette või taha?
- 73) Kas nägu ja selle kujutis tasapeeglis on täiesti sarnased?
- 74) Kas on võimalik saada praktilist kasu kaleidoskoobist?
- 75) Kuidas saada tuld jää abil?
- 76) Kas võib miraaže näha meie laiustes?
- 77) Mis on „roheline kiir“?
- 78) Kuidas tuleb vaadata fotoülesvõtteid?
- 79) Mispärast omandavad fotod reljeefsuse ja sügavuse, kui neid vaadata luubi või nõguspeegli abil?

- 80) Mispärast on kinoteatris filmid kõige paremini nähtavad keskmistest ridadest?
- 81) Mispärast kunstnike maale on parem vaadata ühe silmaga?
- 82) Milles seisneb stereoskoobi toime?
- 83) Kas võib oma nägemist teha sarnanevaks muinasjutulise hiiglase nägemisega?
- 84) Mis on stereopikksilm?
- 85) Millest on tingitud läige?
- 86) Mispärast näib maastik reljeefsemana, kui seda vaadelda kihutava vaguni aknast?
- 87) Katsuge välja mõelda katse, milles oleks näha värvilisi varje!
- 88) Millel põhineb nn. „varjude imede“ efekt?
- 89) Mis värvust paistab punane lipp sinise valgustuse puhul?
- 90) Seletage sõnade „irradiatsioon“ ja „astigmatism“ tähendus!
- 91) On olemas portreid, mis nagu jälgivad meid oma silmadega. Kuidas seda seletada?
- 92) Kellele paistavad heledad tähed suuremaina: kas normaalsele silmale või lühinägijale?
- 93) Te kuulsite kaja  $1\frac{1}{2}$  sekundit pärast seda, kui plaksutasite kätt. Kui kaugel teist on tõke?
- 94) Kas on olemas häälepeeglid?
- 95) Kus levib hääl kiiremini: õhus või vees?
- 96) Näidake kaja tehnilist rakendamist!
- 97) Mispärast mesilane sumiseb?
- 98) Mispärast on raske leida läheduses siristavat rohutirtsu?
- 99) Mis on valjem: kas Niagara joa müra kõige mürarikamas kohas või summutajata automootori müra? Mitu korda?

100) Milles seisneb kõhurääkimise saladus?

Edasiseks lugemiseks soovitatavate raamatute nimistu on avaldatud „Huvitava füüsika“ teises osas (1947. a. väljaanne).



## Sisukord.

	Lk.
Eessõnast kolmeteistkümnele trükile . . . . .	3
Esimene peatükk. Kiirus. Kiiruste liitmine.	
Kui ruttu me liigume? . . . . .	7
Kuidas väljendatakse kiirust? . . . . .	11
Kiiremini Päikesest ja Kuust . . . . .	12
Üks tuhandik sekundit . . . . .	14
Ajaluup . . . . .	13
Päeval või öösel? . . . . .	19
Vankriratta mõistatus . . . . .	21
Ratta kõige aeglasem osa . . . . .	23
Ülesanne, mis pole naljaasi . . . . .	23
Kust ujus paat? . . . . .	25
Teine peatükk. Raskus ja kaal. Kang. Rõhk.	
Tõuske! . . . . .	28
Kõndimine ja jooks . . . . .	32
Kas liikuvast vagunist tuleb hüpata liikumise suunas? . . . . .	35
Püssikuuli käega kinni võtmas . . . . .	33
Arbuus-pomm . . . . .	38
Kaalude platvormil . . . . .	41
Kus on kehad raskemad? . . . . .	42
Kui palju kaalub langev keha? . . . . .	44
Kahurist Kuule . . . . .	46
Kuidas Jules Verne kirjeldas teekonda Kuule ja kuidas see reis oleks pidanud toimuma . . . . .	50
Kuidas õigesti kaaluda mitteõigete kaaludega . . . . .	52
Tugevam iseendast . . . . .	53
Miks teravad esemed torgivad? . . . . .	55
Leviaatanitaoline . . . . .	57
Kolmas peatükk. Keskkonna takistus.	
Kuul ja õhk . . . . .	59
Ülikauge tulistamine . . . . .	60

	Lk.
Miks tõuseb paberlohe lendu? . . . . .	63
Elavad planeerid . . . . .	65
Mootorita lendamine taimedel . . . . .	66
Langevarjuri kestushüpped . . . . .	68
Bumerang . . . . .	69
Neljas peatükk. Pöörlemine. „Igavesed jõumasinad”.	
Kuidas eraldada keedetud muna toorest? . . . . .	73
„Kuradiketas“ . . . . .	75
Tindikeerised . . . . .	77
Petetud taim . . . . .	78
„Igavesed jõumasinad“ . . . . .	79
„Pisut puudub“ . . . . .	84
„Peajõud on kerades“ . . . . .	86
Ufimtsevi akumulaator . . . . .	88
Ime ja ka mitte-ime . . . . .	88
Veel „igavestest jõumasinatest“ . . . . .	90
Peeter I aegne „igavene jõumasin“ . . . . .	91
Viies peatükk. Vedelikkude ja gaaside omadused.	
Ülesanne kahest kohvikannust . . . . .	97
Mida vanasti ei teatud . . . . .	98
Vedelikud rõhuvad... ülespoole! . . . . .	99
Mis on raskem? . . . . .	101
Vedeliku loomulik kuju . . . . .	103
Miks on haavlid ümmargused? . . . . .	105
„Põhjatu“ peeker . . . . .	107
Petrooleumi huvitav iseärasus . . . . .	109
Kopikas, mis vees põhja ei vaju . . . . .	110
Vesi sõelas . . . . .	112
Vaht tehnika teenistuses . . . . .	113
„Igavene“ jõumasin . . . . .	115
Seebimullid . . . . .	117
Mis on kõige õhem? . . . . .	122
Kuivalt veest välja . . . . .	124
Kuidas me joome? . . . . .	125
Parandatud lehter . . . . .	126
Tonn puitu ja tonn rauda . . . . .	126
Mees, kes midagi ei kaalunud . . . . .	127
„Igavene“ kell . . . . .	132

## Kuues peatükk. Soojusnähtused.

Millal on Oktoobriraudtee pikem, kas suvel või talvel?	135
Karistamata varastamine . . . . .	137
Eiffeli torni kõrgus . . . . .	138
Teeklaasist veemõõtjani . . . . .	139
Legend saapast saunas . . . . .	141
Kuidas tehakse imesid? . . . . .	142
Kell, mida polnud tarvis üles keerata . . . . .	144
Õpetlik pabeross . . . . .	148
Jää, mis keevas vees ei sula . . . . .	148
Jää peale või jää alla? . . . . .	149
Miks puhub kinnisest aknast tõmbetuul? . . . . .	151
Salapärane virel . . . . .	152
Kas kasukas soojendab? . . . . .	153
Missugune aasta-aeg on meie jalgade all? . . . . .	154
Talvine küte suvise Päikesega . . . . .	156
Paberist kastrul . . . . .	161
Ainus libe keha looduses . . . . .	164
Ülesanne jääpurikaist . . . . .	166

## Seitsmes peatükk. Valguskiired.

Kinnipüütud varjud . . . . .	169
Kanapoeg munas . . . . .	172
Signaal Kuult . . . . .	173
Karikatuursed fotod . . . . .	174
Ülesanne päikesetõusust . . . . .	177
Valguse kiirus . . . . .	177
„Lõpmatuse lainetel“. C. Flammarion . . . . .	178
1. Mineviku pealtnägija . . . . .	178
2. Aastakümned kestavad üks tund . . . . .	181
3. Maaailma ajaloo tagasikäik . . . . .	183
4. Lahing algab lõpust . . . . .	186
5. Üles mööda aegade voolu . . . . .	188
Kas on see nii? . . . . .	189
Mööda maailmaruumi . . . . .	191

## Kaheksas peatükk. Valguse peegeldumine ja murdumine.

Nägemine läbi seinte . . . . .	195
Rääkiv maharaiutud pea . . . . .	198
Kas ees või taga? . . . . .	199
Kas peeglit on näha? . . . . .	200

	Lk.
Loomad peegli ees . . . . .	200
Keda me näeme peeglisse vaadates? . . . . .	202
Joonistamine peegli ees . . . . .	204
Kokkuhoidlik rutt . . . . .	205
Varese lend . . . . .	206
Uut ja vana kaleidoskoobist . . . . .	208
Illusioonide ja miraažide palee . . . . .	210
„Piinamine peeglitega“ (jutustus) . . . . .	214
Mispärast ja kuidas murdub valgus? . . . . .	218
Kunas on pikk tee kiirem lühikesest? . . . . .	220
Uued Robinsonid . . . . .	225
Ebatavaline tulekahjude põhjus . . . . .	228
Kuidas jää abil saada tuld? . . . . .	230
Päikesekiirte abil . . . . .	233
Vana ja uut miraažidest . . . . .	235
„Roheline kiir“ . . . . .	240
Üheksas peatükk. Nägemine ühe ja kahe silmaga.	
Kui veel polnud fotograafiat . . . . .	245
Mida paljud ei oska . . . . .	246
Kunst fotosid vaadata . . . . .	248
Kui kaugelt tuleb fotosid vaadata? . . . . .	249
Suurendusklaasi imelik toime . . . . .	250
Fotode suurendamine . . . . .	252
Parim koht kinos . . . . .	253
Nõuanne pildiajakirjade lugejaile . . . . .	254
Piltide vaatlemine . . . . .	256
Ruumiliste kujundite kujutamine tasapinnal . . . . .	257
Mis on stereoskoop? . . . . .	258
Meie loomulik stereoskoop . . . . .	260
Ühe ja kahe silmaga . . . . .	264
Lihtne viis võltsingute avastamiseks . . . . .	266
Hiiglaste nägemine . . . . .	267
Maailm stereoskoobis . . . . .	270
Nägemine kolme silmaga . . . . .	274
Mis on läige? . . . . .	276
Nägemine kiirel liikumisel . . . . .	278
Värvilised varjundid . . . . .	279
Läbi värviliste prillide . . . . .	280
„Varjude imed“ . . . . .	281

	Lk.
Ootamatu värvuse muutumine . . . . .	282
Raamatu kõrgus . . . . .	284
Tornikellade suurus . . . . .	285
Valge ja must . . . . .	286
Milline täht on mustem? . . . . .	289
Elavad portreed . . . . .	290
Sissetorgatud jooned ja teised nägemispettek . . . . .	292
Kuidas näevad lühinägijad . . . . .	297
Kümnnes peatükk. Hääl ja kuulmine.	
Kuidas leida kaja? . . . . .	300
Hääl mõõtlindi asemel . . . . .	304
Häälepeeglid . . . . .	305
Hääled teatrisaalis . . . . .	307
Kaja merepõhjast . . . . .	309
Putukate sumin . . . . .	311
Kuulmispettek . . . . .	312
Kus siristab rohutirts? . . . . .	313
Kuulmise kurioosumid . . . . .	315
Kuidas mõõdetakse müra . . . . .	317
„Kõhurääkimise imed“ . . . . .	319
Sada küsimust „Huvitava füüsika“ esimese osa kohta . . . . .	321



*Vastutav toimetaja*

*J. Lang.*

*Tehniline toimetaja*

*H. Kohu.*

Ladumisele antud 13. IV 48.  
Trükkimisele antud 16. VII 48.  
Paberi kaust 56×79. 1/16. Trüki-  
poognaid 21. Autoripoognaid  
12. Arvestuspoognaid 14,9.  
MB 04342. Laotihedus trpg.  
30000. Tiraaz 5000. Trükikoda  
tellimus nr. 766. Trükikoda  
„Hans Heidemann“, Tartu,  
Vallikraavi 4.

Я. И. Перельман. Занима-  
тельная физика. I.

На эстонском языке.  
Эгосиядат „Научная Литера-  
тура“, Тарту.