

POPULAARTEADUSLIK SARI

J. I. PERELMAN

HUYITAV FÜÜSIKA



II

RK · TEADUSLIK KIRJANDUS ·

A-16558

J. I. PERELMAN

HUVITAV FÜÜSIKA

II

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

TOIMETANUD
PROF. A. B. MLODZEJEVSKI



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU, 1949

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

Tõlkinud V. Masing.

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Eessõna kolmeteistkümnendale trükile.

See raamat moodustab endast iseseisva kogumiku ega ole otseseks jätkuks „Huvitava füüsika“ esimesele raamatule.

Esimese raamatu edu ergutas autorit läbi töötama tema kätte kogunenud ülejäänud materjali. Niiviisi koostus see teine või õigemini teissugune raamat, mis käsitleb samu füüsika alasid.

Käesolevas raamatus, nagu esimeseski, püüab autor mitte niivõrd anda uusi teadmisi, kui elustada ja värskendada neid lihtsaimaid teadmisi füüsikast, mis lugejal on juba olemas. Raamatu eesmärgiks on ergutada teadusliku kujutluse tegevust, õpetada mõtlema füüsika vaimus ja arendada oskust oma teadmisi igakülgselt rakendada. Sellepärast on „Huvitavas füüsikas“ antud kõrvaline koht efektsete katsete kirjeldusele, kuna esikohale nihkuvad füüsikalised „pähkliid“, huvitavad ülesanded, õpetlikud paradoksid, keerukad küsimused, ootamatud kõrvutamised füüsikaliste nähtuste valdkonnast jne. Sellise materjali otsinguis kasutab autor nähtusi igapäevasest elust, tehnikast, loodusest; kasutab teaduslik-fantastilisi romaane, ühe sõnaga kõike seda, mis, olles väljaspool õpikut ja füüsikakabinetti, võib huvi äratada teadmishimulises lugejas, kelleks on meie nõukogude lugeja.

Määrates raamatu mitte õppimiseks, vaid lugemiseks, püüdis autor, niipalju kui suutis, anda esitusele ka väliselt huvitava kuju, lähtudes sellest, et huvi aine vastu suurendab tähelepanu, tugevdab mõttetööd ja soodustab järelkult teadlikumat omandamist.

Huvi äratamiseks füüsikaliste arvutuste vastu on selle raamatu üksikutesse osadesse sisse võetud arvutamismaterjali (mida esimeses raamatus peaaegu pole tehtud).

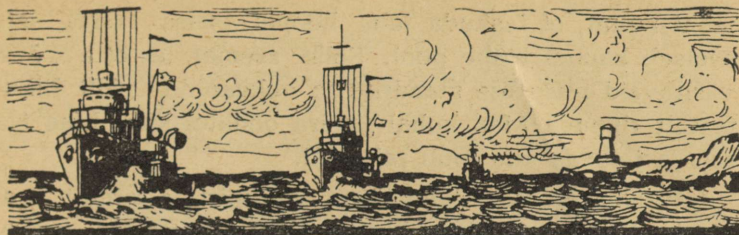
Üldiselt on käesolev lugemik oma materjali valikult määratud ettevalmistatumale lugejale kui „Huvitava füüsika“ esimene raamat, kuid vahe mõlema raamatu vahel on ses suhtes niivõrd väike, et neid võib lugeda vabas järjekorras ja olenematult teineteisest.

Käesolevasse trükki on võetud hulk uusi palasid ja jooniseid. On lisatud edaspidiseks lugemiseks soovitatavate raamatute nimistu.

„Huvitava füüsika“ kolmandat köidet pole olemas. Selle asemel on autoril koostatud järgmised raamatud: „Huvitav mehhaanika“ (vene keeles), „Kas tunnete füüsikat?“ (vene keeles) ja peale selle eri raamat, mis on pühendatud astronoomiale — „Huvitav astronoomia“¹ (vene keeles).

J. Perelman.

¹ Uus trükk 1946. a.



Esimene peatükk.

Mehhaanika põhiseadused.

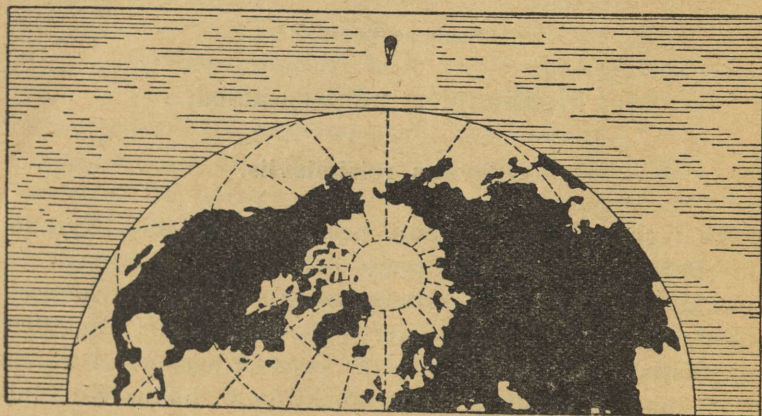
Odavaim reisimisviis.

XVII sajandi teravmeelne prantsuse kirjanik Cyrano de Bergerac jutustab oma satiirilises „Kuupealsete riikide ajaloo“ (1652. a.) muuseas tähelepanuväärsest juhtumist, mis olevat temaga juhtunud. Tegeldes füüsikaliste katsetega oli ta kord arusaamatul viisil koos oma klaasidega tõstetud kõrgele õhku. Kui tal mõne tunni pärast õnnestus uuesti maapinnale laskuda, siis tema hämmastuseks osutus, et ta ei olegi enam oma kodumaal, Prantsusmaal, isegi mitte Euroopas, vaid Põhja-Ameerika mandril Kanadas! Oma ootamatut lendu üle Atlandi ookeani peab prantsuse kirjanik siiski täiesti loomulikuks. Ta seletab seda sellega, et sel ajal kui tahtmatu reisija oli eemal maapinnast, jätkas meie planeet endiselt oma pöördumist itta ja seepärast, kui reisija uuesti laskus, oli ta jalgade all Prantsusmaa asemel juba Ameerika manner.

Milline odav ja lihtne reisimisviis, nagu näida võiks! Tarvitseb vaid maapinnalt tõusta ja viibida õhus kasvõi

mõni minut, et laskuda juba hoopis teises kohas, mis asetseb kaugel lääne pool. Selle asemel, et ette võtta väsitavaid reise üle mandrite ja ookeanide, võib liikumatult rippuda Maa kohal ja ära oodata, kuni Maa ise reisija jalgade alla toob reisisihi.

Kahjuks on see imeväärne reisimisviis ainult fantaasia. Esiteks, tõustes õhku me tõeliselt veel ei eraldu



Joonis 1. Kas oleks võimalik aerostaadilt jälgida Maa pöörlemist? (Joonisel pole mõõtmete vahekordi arvestatud.)

Maakerast: me jääme seotuks tema õhkkestaga, ripume tema atmosfääris, mis võtab samuti osa Maa pöörlemisest ümber telje. Õhk, õigemini selle madalamad tihedamad kihid, pöörleb koos Maaga, võttes kaasa kõik, mis temas asetseb: pilved, lennukid, kõik lendavad linnud, putukad jne. Kui õhk ei liiguks koos Maakeraga, siis, seistes maapinnal, tunneksime alatiselt kõige tugevamat tuult, millega võrreldes kohutavaimgi orkaan

oleks ainult kerge puhang². On ju täiesti ükskõik, kas seisame paigal ja liigub õhk või, vastupidi, õhk on paigal ja meie liigume temas; mõlemal juhul tunneme sama tugevusega tuult. Autosõitja, kihutades kiirusega 100 km tunnis, tunneb tugevaimat vastutuult isegi täiesti vaikse ilmaga.

See on esiteks. Teiseks, isegi siis, kui meil õnnestuks tõusta atmosfääri kõrgematesse kihtidesse, ei läheks meil korda kasutada seda odavat reisimisviisi, millest fantaseerib prantsuse satiirik. Tõepoolest: eemaldudes pöörleva Maa pinnalt me jätkame oma liikumist inertsiga, millest me oleme endise kiirusega, s. o. selle kiirusega, millega liigub Maa meie jalgade all. Kui aga uuesti laskume, oleme samas kohas, kust varem tõusime. Lugu on analoogiline sellega, kui me liikuva rongi vagunis pärast üleshüppamist langeme tagasi endisele kohale. Tõsi küll, me liigume inertsiga tõttu sirgjooneliselt (puutujat mööda), aga maapind meie jalgade all — kõverjooneliselt; lühikese ajavahemiku puhul see aga asja ei muuda.

„Maa, peatu!“

Tuntud inglise kirjanik Herbert Wells on kirjutanud fantastilise loo sellest, kuidas keegi kontoriametnik tegi imetegusid. Vaimselt üpris piiratud noormehel oli saatuse tahtel tähelepanuväärne võime: tal tarvitses ainult väljendada mõnd soovi — ja see täitus otsekohe. See

² Orkaani kiirus on 40 m sekundis, s. o. 144 km tunnis. Maakera aga viiks meid edasi, näiteks Leningradi laiusel, kiirusega 230 m sekundis ehk 828 km tunnis!

ahvatlev võime, nagu selgus, ei andnud aga selle omajale ega ka teistele inimestele midagi peale ebameeldivuste. Meile on õpetlik kuulda selle jutustuse lõppu.

Ametnik-imetegija, kartes pärast kauakestnud öist joomingut kojutulekuga jääda „valge peale“, tuli mõttele kasutada oma imetegemisvõimet öö pikendamiseks. Kuidas seda teha? Tuleb taevatähtedel käskida seisma jääda. Ametnik ei julgenud kohe ette võtta sellist ebataivalist tegu, ja kui sõber andis talle nõu peatada Kuu, ta, vaadates tähelepanelikult sellele, ütles kõhklevalt:

„Mulle näib, et Kuu on liiga kaugel selleks... Kuidas teie arvate?“

„Kuid miks mitte proovida?“ käis peale Maidit (see oli sõbra nimi — J. P.). „Ta muidugi ei peatu, teie ainult katkestate Maa pöörlemise. Loodan, et sellest ei tule kellegi kahju!“

„Hm,“ ütles Fotheringay (kontoriametnik — J. P.). „Hüva, katsun. Noh...“

Ta asetus käskivasse poosi, sirutas välja oma käed ja lausus pidulikult:

„Maa, peatu! Jäta pöörlemine!“

Ta ei jõudnud veel lõpetada neid sõnu, kui sõbrad juba lendasid ruumis kiirusega mõni tosin miili minutis.

Sellest hoolimata jätkas ametnik mõtlemist. Rutemini kui sekundi jooksul suutis ta otsustada ja väljendada omaette järgmise soovi:

„Mis ka ei juhtuks, jäägu mina terveks ja vigastamatuks!“

Ei saa märkimata jätta, et see soov oli väljendatud õigel ajal. Veel mõni sekund — ja ta kukkus mingile värskeltkaevatud maale, kuna tema ümber lendasid kivid, teda vähimalgi määral ohustamata, lendasid ehitiste tükid, mitmesugused metallesemed; lendas ka üks õnnetu

lehm, kes kokkupuutumisel maaga end surnuks löi. Tuul puhus kohutava jõuga; ta ei saanud isegi oma pead tõsta, et vaadata ümber...

„Mõistmatu lugu,“ hüüdis ta katkelise häälega. „Mis on juhtunud? On's torm? Arvatavasti tegin ma midagi viltu.“

Ringi vaadanud, niipalju kui seda tema tuule käes lehvivad kuuehõlmad lubasid, jätkas ta:

„Paistab, et taevaga on kõik korras. Siin on ka Kuu. Aga kõik muu... Kuhu on jäänud linn? Kus on majad ja tänavad? Kust tekkis tuul? Ma pole ju andnud käsku tuulele.“

Fotheringay katsus tõusta jalule, see aga osutus täiesti võimatuks ja seepärast liikus ta edasi neljakäpuli, hoides kinni kividest ja pinna konarustest. Muide, minna polnud kuhugi, sest niipalju kui oli võimalik näha kuuehõlmade vahelt, mida tuul roomava imetegija pea peale oli lükanud, kujutas endast ümbrus purustuse pilti.

„Midagi on maailmas tõsiselt rikki läinud,“ mõtles ta, „aga mis nimelt, ei tea.“

Tõepoolest, oli rikki läinud. Polnud näha ei maju, ei puid ega mingeid elavaid olevusi, polnud näha midagi. Ainult läbi tolmutpilvede vaevalt nähtavad vormitud varemed ja mitmesugused rusud, mis vaevalt paistsid tolmutormis, ümbritsesid teda.

Selle kõige süüdlane ei taibanud muidugi, milles asi seisneb. Ometi oli seletus väga lihtne. Peatades äkki Maa pöörlemise Fotheringay ei mõelnud inertsile, ometi pidi see ringliikumise äkilisel seismajäämisel möödapääsmatult maha pühkima Maalt kõik, mis sellel asetsetes. Seepärast lendaski kõik, mis polnud lahutamatult seotud Maakeraga massiga, nagu majad, inimesed, puud ja loomad, püssikuuli kiirusega Maakeralt minema maapinna

puutuja sihis. Ja seejärel langes see kõik uuesti Maale, purunedes tükkideks.

Fotheringay sai aru, et tema poolt tehtud ime polnud kuigi hästi õnnestunud. Seepärast valdaski teda sügav tülgastus igasuguste imede vastu ja ta andis endale sõna neid edaspidi mitte enam teha. Kõigepealt aga tuli tehtud kahju kõrvaldada. See ei olnud väike. Torm möllas, tolmupilved katsid Kuu ja eemalt oli kuulda läheneva vee kohinat; Fotheringay nägi välgu sähvatusel koguni tervet veeseina, mis lähenes tohutu kiirusega sellele kohale, kus ta lamas.

Ta muutus otsustavaks.

„Peatu!“ hüüdis ta, pöördudes vee poole. „Mitte samugi edasi!“ Siis kordas ta sama käsklust kõuele, valgule ja tuulele.

Kõik jäi vaikseks.

Kükitades mõtles ta järele.

„Et edaspidi mitte teha jälle mingit segadust,“ ütles ta, „siis kõigepealt, kui on täitunud kõik see, mis ma praegu käsin, kadugu minu võime teha imesid ja saagu minust tavaline inimene. Imesid pole tarvis — see on liiga ohtlik mäng. Ja siis — olgu kõik jälle nii, nagu oli varem: sama linn, samad inimesed, samad majad ja mina ise ka samasugune, nagu olin varem.“

Kiri lennukilt.

Kujutage endale ette, et olete kiiresti maa kohal sõitval lennukil. All on tuttavad kohad. Kohe te lendate üle maja, milles elab teie sõber. „Oleks hea talle saata tervisi,“ tekib teil mõte. Kiiresti kirjutate mõned sõnad märkmikulehele, kinnitate paberi kivikese külge ja ära

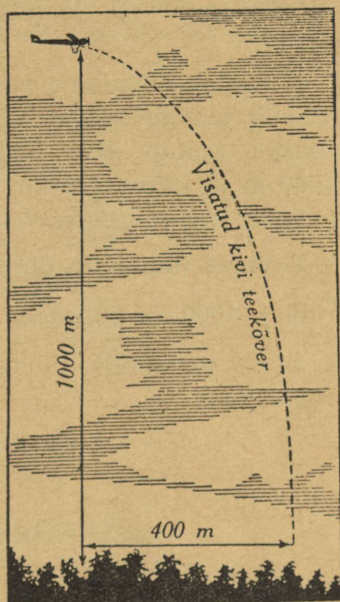
oodanud hetke, mil olete otse maja kohal, lasete kivi käest.

Muidugi olete täiesti veendunud, et kivi kukub maja aeda. Siiski kivi ei kuku sinna, kuigi aed ja maja on otse teie all!

Jälgides kivi kukumist lennukilt, te täheldate ime-likku nähtust: kivi, langedes alla, püsib samal ajal lennuki all, nagu oleks ta kinnitatud nähtamatu niidiga lennuki külge. Ja kui kivi jõuab maani, on ta sel-lest kohast, kuhu ta oli mää- ratud, kaugel eemal.

Siin ilmneb sama inertsiseadus, mis ei luba kasutada ahvatlevat nõuannet reisida Bergerac'i eeskujul. Nii- kaua kui kivi oli lennukis, lendas ta lennukiga kaasa. Te heitsite ta lennukist, kuid langedes ta ei kaota oma esialgset kiirust ja jätkab langemise ajal oma liikumist endises suunas. Mõle- mad liikumised, püst- ja rõhtliikumine, liituvad ja tulemuseks on kivi liikum-

ine kõverat joont mööda, jäädes kogu aja lennuki alla (kui muidugi lennuk ei muuda oma liikumissuunda ja kiirust). Kivi lendab tõepoolest nii, nagu seda teeks rõhtsalt visatud keha, näiteks kuul rõhtsalt hoitud püs-



Joonis 2. Kivi, mis on visatud lendavalt lennukilt, ei kuku püsti alla, vaid mööda kõverat.

sist: keha liigub kõverat teed mööda, mis lõppeks puutub kokku maapinnaga.

Märkigem, et kõik räägitu oleks täiesti õige, kui poleks õhutakistust. Tegelikult aga see takistus pidurdab nii kivi püst- kui ka rõhtliikumist, mille tõttu kivi ei püsi kogu aja lennuki all, vaid jääb sellest veidi maha.

Kõrvalekaldumine püstsihist võib olla väga suur, kui lennuk lendab kõrgel ja suure kiirusega. Tuulevaikse ilmaga kukub kivi lennukist, mille lennukõrgus on 1000 m ja kiirus 100 km tunnis, umbes 400 m ettepoole kohast, mis on püstsuunas lennuki all (joon. 2).

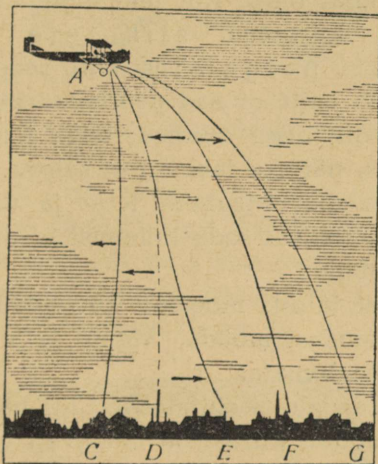
Arvutus (kui jätta õhutakistus arvestamata) pole keeruleine. 1000 m kõrguselt peab kivi langema $\sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{9,8}}$, s. o. 14 sekundiga. Selle aja jooksul ta liigub edasi rõhtsuunas

$$\frac{100\,000}{3600} \cdot 14 = 390 \text{ m.}$$

Pommitamine.

Pärast öeldut on selge, kuivõrd raske on sõjaväe lenduri ülesanne, kellel tuleb heita pomm määratud kohta: tal tuleb arvesse võtta lennuki kiirus ja raske keha langemise tingimused õhus ja peale selle veel tuule kiirus. Joonisel 3 on skemaatiliselt kujutatud heidetud pommi mitmesugused teed, vastavalt ühele või teisele tingimusele. Kui tuult pole, lendab heidetud pomm mööda kõverat AF; mispärast, on ülal seletatud. Pärituulega kandub

pomm ettepoole ja ta liigub mööda kõverat AG . Mõõduka vastutuule puhul langeb pomm kõverat AD mööda, kui tuul ülal ja all on ühesugune; kui aga tuul, nagu sageli juhtub, on all suunatud vastupidiselt ülemisele tuulele (ülal vastutuul, all pärituul), siis pommi langeamise tee muudab oma kuju ja näeb välja nagu kõver AE . Veidi teisiti on pommitamisel nõndanimetatud pikeeri-



Joonis 3. Tee, mida mööda langevad lennukilt visatud pommid: AF — tuulevaikse ilmaga; AG — pärituulega; AD — vastutuulega; AE — tuulega, mis on ülal vastu ja allpool päri.

vaist pommilennukeist. Need lennukid ei pommita märki mitte rõhtsalt lennult, vaid „pikeerimise“ asendist: lennuk „langeb“ märgile peaaegu täisnurga all. See võimaldab pommi sihtida lennuki langemise suunas. Liia tigi heidetakse seejuures pommid väiksemalt kõrguselt pikeerimise lõpul. Kõik see täpsustab pommitamist.

Peatusteta raudtee.

Kui te seisate raudteejaama liikumatul perroonil ja teie eest kihutab mööda kiirrong, siis on liikuvasse vagunisse hüppamine muidugi raske. Kuid oletage, et perroon liigub sama kiirusega ja samas suunas nagu rongki. On teil siis raske minna vagunisse?

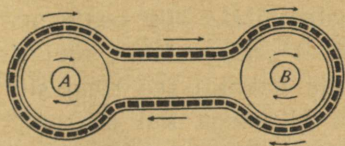
Sugugi mitte: te astute vagunisse niisama rahulikult, kui vaguni paigal olles. Kui teie liigute rongiga samas suunas sama kiirusega, siis teie suhtes on rong täiesti paigal. Tõsi küll, rongi rattad pöörlevad, teile aga näib, et nad pöörlevad koha peal. Täpselt öeldes, kõik need esemed, mida harilikult peame paigalseisvaiks, näiteks jaama ees seisev rong, liiguvad koos meiega ümber Maakera telje ja ümber Päikese; tegelikkuses me siiski seda liikumist ei arvesta ja see ei sega meid sugugi.

Järelikult on täiesti mõeldav korraldada asja nii, et rong, sõites jaamast mööda, võtab ja annab reisijaid täiel käigul, peatumata.

Seda laadi seadeldisi ehitatakse tihti näitustel, et võimaldada külastajail kiiresti ja mugavalt tutvuda näituse laiale alale väljapandud tähelepanuväärsustega. Näituse äärmised punktid on raudteega nagu lõputu lindiga ühendatud; reisijad võivad igal hetkel ja igas kohas vagunitesse astuda ja neist väljuda rongi täiskäigu ajal.

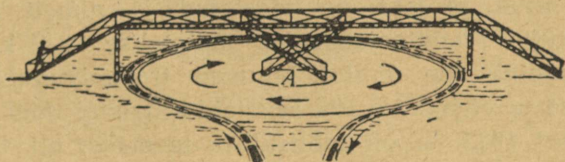
See huvitav seadis on näidatud juurdelisatud joonistel. Joonisel 4 on tähega *A* ja *B* ära märgitud äärmised jaamad. Igas jaamas on ümmargune liikumatu platvorm, mis on ümbritsetud suure pöörleva rõngakujulise kettaga. Mõlema jaama pöörlevate ketaste ümber on tõmmatud köis, mille külge on kinnitatud vagunid. Nüüd jälgige, mis toimub ketta pöörlemisel. Vagunid liiguvad

ümber ketta sama kiirusega nagu ketta välimised ääred; järelikult, reisijad võivad vähimagi ohuta minna kettalt vagunitesse ja, vastupidi, lahkuda rongilt. Väljudes vagunist läheb reisija pöörlevat ketast mööda ringi keskpunkti poole, kuni jõuab liikumatu platvormini; üle-



Joonis 4. Peatusteta raudtee ehituse skeem jaamade A ja B vahel. Jaamade ehitus on näidatud järgmisel joonisel.

minek pöörleva ketta sisemiselt äärelt liikumatule platvormile toimub vaevata, sest ketta sisemise ääre väikese raadiuse tõttu on ka kiirus väga väike³. Sisemiselt liikumatult platvormilt pääseb reisija silda mööda maale väljaspool raudteed (joon. 5).



Joonis 5. Raudteejaam peatusteta raudteel.

Sagedate peatuste puudumine annab väga suure kokkuhoiu ajas ja energiakulus. Näiteks linna trammi-des kulub suur osa ajast ja peaaegu kaks kolmandikku

³ On arusaadav, et ketta sisemise ääre punktid liiguvad palju väiksema kiirusega kui ketta välimise ääre punktid, sest sama aja jooksul esimesed läbivad palju lühema ringtee pikkuse.

kogu energiast kiirenduse andmisele äraminekul peatuskohtadest ja pidurdamisele peatustes⁴.

Selleks et vastu võtta ja välja saata reisijaid rongi täiel käigul, poleks raudteejaamades isegi tarvis ehitada erilisi liikuvaid platvorme. Kujutlege, et tavalisest liikumatust jaamast kihutab mööda kiirrong; me soovime, et rong peatumata võtaks siin peale uusi reisijaid. Siirdugu need reisijad esialgu teise, rööbitisel tagavarateel seisvasse rongi ja hakaku see rong siis liikuma samas suunas ja sama kiirusega kui kiirrong. Kui mõlemad rongid on teineteise kõrval, siis on nad teineteise suhtes paigalolekus: tarvitseb ainult mõlemad rongid sillaga ühendada ja abirongi reisijad võivad rahulikult üle minna kiirrongi. Peatused jaamades muutuavad, nagu näete, liigseteks.

„Selline on teooria. Selle projekti elluviimine on aga tõenäoliselt väga tülikas, sest vastavaid seadeldisi pole veel kusagil ehitatud,“ kirjutasin „Huvitava füüsika“ eelnevates trükkides. Aga alates 1924. a. võin ma lisada, et mainitud projekt on teostatud ja nimelt siinesitatud kujul: raudteejaamades ehitatakse 1—2 km pikkune rööbik tee, millel liiguvad trammivagunid, mis annavad ja võtavad peale reisijaid kiirrongi täiel käigul. Mis veel 1922. a. oli mõtiskluse teemaks, oli 1924. a. juba ellu viidud. See on õpetlik näide kõigile neile, kes kalduvad nägema teaduslikus fantaasias ainult mõistuse viljatut mängu...

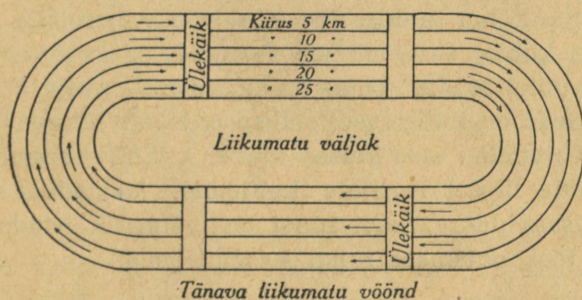
Selle kavaga sarnaneb teine kava, mis esitati 1936. a.: maapinnast kõrgemal oleva tee kava. See tee koos-

⁴ Energiakulu pidurdamisel võib vältida sel viisil, et pidurdamisel lülitatakse vaguni elektrimootorid ümber dünamomasina-teks, mis hakkavad andma voolu võrku.

neb kahest kõrvuti asetsevast, eri kiirusega liikuvast platvormist. „Esimene platvorm,“ vastavalt ajalehtedes ilmunud teadetele, „liigub kiirusega 20 km tunnis ja peatub igas minutis täpselt 10-ks sekundiks. Selle platvormi liikumine on kooskõlastatud teise platvormi liikumisega; viimane platvorm kujutab endast täielikku istekohtadega rongi. See rong-platvorm liigub kiirusega 26 km tunnis, kuid aeg-ajalt vähendab ta oma kiirust kuni esimese platvormi kiiruseni. Kui mõlema platvormi kiirused on võrdsed, siis võivad reisijad üle minna esimeselt platvormilt rong-platvormile, mis seejärel oma kiirust suurendab.

Tuleviku tänavad.

Relatiivsele liikumisele on rajatud veel teine seadeldis, mida on kasutatud tänapäevani ainult näitustel: nii-



Joonis 6. Liikuvad kõnniteed.

nimetatud „liikuvad kõnniteed“. Esimest korda võeti nad tarvitusele Chicago näitusel 1893. a., hiljem Pariisi maailmanäitusel 1900. aastal.

Siin on antud sellise seadeldise skeem (joon. 6). Te näete viit suletud vöö-kõnniteed, mis liiguvad erilise

mehhanismi abil üksteise sees erineva kiirusega. Kõige äärmisem vöö liigub üsna aeglaselt, ainult 5-km-se tunni-kiirusega; see on jalakäija tavaline kiirus ja on arusaadav, et astumine sellisele aeglaselt roomavale vööle pole raske. Selle kõrval, seespool, liigub teine vöö, kiirusega 10 km tunnis. Liikumatul tänavalt vahetult sellele astuda oleks ohtlik, kuid üleminek esimeselt vöölt teisele on ohutu. Tõepoolest: esimese, 5-km-se tunniikiirusega roomava vöö suhtes on teise, 10-km-se tunniikiirusega liikuva vöö kiirus ainult 5 km tunnis; tähendab — üleminek esimeselt vöölt teisele toimub niisama kergesti kui üleminek liikumatult tänavalt esimesele vööle. Kolmas vöö liigub kiirusega 15 km tunnis, üleminek tolle teiselt vöölt toimub muidugi raskusteta. Niisama kerge on üle minna kolmandalt vöölt järgmisele, neljandale vööle, mis liigub kiirusega 20 km tunnis ja lõpuks neljandalt vöölt viiendale, mis liigub juba kiirusega 25 km tunnis. See viies vöö viib reisija soovitasse kohta; siin, minnes vastupidises suunas järjest vöölt vööle, reisija jõuab liikumatule tänavale.

Muuseas on kavatsusel sellise pidevalt liikuva tänavrongi ehitamine maa-aluses tunnelis. Selle eesmärk — ära hoida liigset reisijate kuhjumist jaamades — on täiesti saavutatav, sest rongi on võimalik istuda igas kohas teel, ootamata rongi seismajäämist.

Õnnetuste ennetamine.

Veel üheks huvitavaks näiteks relatiivse liikumise ärakasutamise kohta on hiljuti patenteeritud seadeldis, mille abil loodetakse ennetada kokkupõrkeid autode ja rongide vahel kohtades, kus maantee ristub raud-

teega. Raudtee ülesõidukohtades ehitatakse eriline pealesõidu-platvorm, mille kate rongi lähenemisel hakkab automaatselt rullidel tagasi liikuma lõputa rihma sarnaselt. Selle katte liikumiskiirus ületab auto suurima kiiruse; seepärast kandub auto, mis liigub sellele platvormile, tagasi, olgu auto kiirus kuitahes suur. Pärast rongi möödumist jääb platvormi kate seisma ja auto võib takistamatult üle raudtee sõita.

Mõistetamatu seadus.

Ükski kolmest mehhaanika põhiseadusest ei kutsu esile niipalju kahtlusi kui kuulus „Newtoni kolmas seadus“ — mõju ja vastumõju seadus. Seda seadust tunnevad kõik, oskavad isegi seda seadust teatavatel juhtudel õigesti rakendada, aga siiski on vähe neid, kes oleksid vabad mõningaist ebaselgustest sellest seadusest arusaamisel. Võib-olla teil, lugeja, õnnestus sellest kohe aru saada, aga mina, pean tunnustama, sain sellest seadusest aru alles kümmekond aastat pärast temaga tutvumist.

Keskustledes mitmete inimestega veendusin rohkem kui üks kord, et enamik inimesi on nõus tunnustama seda seadust ainult mõningate reservatsioonidega: ollakse nõus, et seadus on kehtiv liikumatute kehade suhtes, aga ei saada aru, kuidas saab seda seadust rakendada liikuvate kehade vastastikuse mõju puhul... Seadus lausub, et mõju on alati võrdne ja vastupidine vastumõjuga. See tähendab, et kui hobune tõmbab vankrit, siis vanker tõmbab hobust tagasi sama tungiga. Aga siis peaks ju vanker kohale jääma! Mispärast ta

siiski liigub? Mispärast need tungid ei tasakaalusta teineteist, kui nad on võrdsed?

Sellised kahtlused on tavalised seoses selle seadusega. Kas see tähendab, et seadus pole õige? Ei, seadus on kahtlemata õige; me ainult ei saa sellest õigesti aru. Tungid ei tasakaalusta teineteist lihtsalt seetõttu, et nad on rakendatud eri kehade külge: üks tung — vankrile, teine — hobusele. Tungid on võrdsed, kuid kas võrdsete tungide mõju on alati ühesugune? Kas võrdsed tungid annavad kõikidele kehadele võrdse kiirenduse? Kas tungi mõju kehale ei olene ka kehast, sellest „takistusest“, mida avaldab keha tungile?

Vaatleme seda paradoksi kvantitatiivsest küljest. Tung, mis mõjub kogu süsteemile „hobune ja vanker“ on tung f , millega hobune tõugatakse maast. Newtoni teise seaduse järgi võrdub tung massi ja kiirenduse korutisega; järelikult

$$f = (m_1 + m_2)a,$$

kus m_1 on hobuse mass, m_2 — vankri mass ja a on mõlema keha üldine kiirendus. Niisiis, tung f koosneb kahest liidetavast:

$$f = m_1a + m_2a.$$

Siin on m_1a see osa tungist, mis annab kiirenduse hobusele, m_2a annab niisama suure kiirenduse vankrile. Järelikult, tõmme vankrile ei võrdu kogutungiga f , vaid ainult osaga m_2a . Mõju ja vastumõju võrdsuse seaduse järgi peab niisama suur tõmme avalduma hobusele vankri poolt. Siit järeleb, et hobuse kohta jääb tungi osa

$$f - m_2a = m_1a,$$

mis annabki hobusele kiirenduse, hoolimata vankri vastumõjust.

Kõike seda omandatakse paremini ja ei teki nii palju kahtlusi, kui seadus väljendatakse mitte tavalises lühivormis: „Mõju võrdub vastumõjuga“, vaid näiteks nii: „Vastumõjuv tung võrdub mõjuva tungiga.“ On ju siin võrdsed ainult tungid, mõjud aga (kui mõista, nagu tavaliselt, „tungi mõju“ all keha edasiliikumist) ei ole võrdsed, sest tungid on rakendatud eri kehadele.

Täpselt niisama tugevasti, kui polaarjää surus kokku „Tšeljuskini“ kere, surus kere omalt poolt ka jääd. Õnnetus tuli aga sellest, et tugev jää võis taluda seda suurt survet purunemist kartmata; laevakere aga, kuigi terasest tehtud, siiski mittemassiivse kehana andis survele järele ja suruti puruks. (Tšeljuskini huku füüsikalistest põhjustest jutustatakse lähemalt hiljem eri palana lk. 51.)

Kehade langemine allub muidugi samuti ülaltoodud seadusele, kuigi mõlemaid tunde pole kohe näha. Kuid kogu asi selgub, kui meenutada, et langemine on liikumine külgetõmbetungi mõjul. Külgetõmbetung on vastastikune tung, mis mõjub keha ja Maa vahel. Tähendab, Maa ja keha külge on rakendatud võrdsed ja vastupidised tungid. Siit selgub õuna langemise põhjus: teda tõmbab külge Maaker; täpselt sama tugevusega tõmbab ka õun meie planeeti. Õieti langevad õun ja Maa teineteisele, kuid langemise kiirused õunal ja Maal pole ühesuursed. Vastastikuse külgetõmbe võrdsed tungid annavad õunale kiirenduse 10 m/sek^2 , Maakerale aga kiirenduse, mis on niimitu korda väiksem õuna kiirendusest, mitu korda Maa mass on suurem õuna massist. Maaker mass on muidugi õuna massist tohtu suur arv kordi suurem ja seepärast ongi

Maa liikumine õuna poole kaduv-väike, praktiliselt null. Seetõttu me räägimegi, et õun kukub Maa peale, aga mitte, et „õun ja Maa langevad teineteisele“⁵.

Mispärast hukkus hiiglane Svjatogor?

Meenutage böliinat hiiglasest Svjatogorist, kes tahtis üles tõsta Maa. Kui uskuda legendi, siis ka Archimedes oli valmis tegema samasugust vägitegu ja nõudis toetuspunkti oma kangile. Svjatogor aga oli tugev ka ilma kangita. Ta otsis ainult midagi, millest kinni haarata, mille külge panna oma tugevad käed. „Kui leiaksin pideme, siis tõstaksin üles Maa.“ See juhtuski: hiiglane leidis maas sadulapaunakese, mida polnud võimalik kõrvale kallutada, paigast nihutada ega üles tõsta.

Astub Svjatogor oma healt ratsult,
Haarab paunast kahe käega,
Tõstab pauna põlvedeni:
Ja vajub põlvedeni maasse,
Kaamel näol voolab veri, mitte pisarad.
Kus maasse vajus, sealt tõusta ei saanud,
Ja nii hukkuski Svjatogor.

Kui Svjatogor oleks tundnud mõju ja vastumõju seadust, siis oleks ta taibanud, et kui toetuda jalgadega vastu maad, siis hiiglaslik tung, mille ta rakendab maale, kutsub esile võrdse ja järelikult niisama vägeva vastupidise tungi, mis võib teda ennast tõmmata maa sisse.

Böliinast on igatahes näha, et juba ammu rahva tähelepanelikkus märkis ära vastumõju, mida avaldab maa, kui

⁵ Mõju ja vastumõju seaduse kohta vt. ka minu „Huvitav mehhaanika“ ptk. 1 (vene keeles).

temale toetuda. Inimesed kasutasid alateadlikult seda seadust juba tuhandeid aastaid enne seda, kui Newton selle esimest korda väljendas oma surematus raamatus „Naturaalfilosoofia (s. o. füüsika) matemaatilised alused“.

Kas saab toetuseta liikuda?

Käimisel me tõukame jalgadega end lahti maalt või põrandalt; on võimatu käia väga siledal jääl või põrandal, millelt me end ära tõugata ei saa. Vedur tõukab end liikumisel rööpail edasi veorataste abil: kui aga määrida rööpaid õliga, jääb vedur paigale. Mõnikord (jäite korral) tuleb rongi liikumapanemiseks raputada veduri veoratastele liiva erilisest seadeldisest. Kui rattad ja rööpad (raudteeliikluse algastmel) olid hammastatud, siis toimus ka see kaalutlusel, et rattad peavad end rööpaist ära tõukama. Aurik tõukab end vees edasi kruvilabadega. Samuti tõukab end lennuk õhust kruvi — propelleri abil. Uhe sõnaga, liikugu ese mistahes keskkonnas, ikka peab ta oma edasiliikumisel toetuma sellele keskkonnale. Aga kas võib keha liikuma hakata, ilma et tal oleks mingit toetust endast väljaspool?

Näiks nagu, et püüe teostada sellist liikumist oleks sama, kui katsuda iseennast üles tõsta juukseidpidi. Nagu teada, õnnestus säärane katse ainult parun Münchhausenil. Siiski toimub niisugune, näivalt võimatu liikumine sageli meie silmade ees. Tõsi küll, ainuüksi sise- ja välistungide mõjul ei saa keha ennast tervikuna liikuma panna, küll aga saab ta mõne osa endast liikuma panna ühes suunas, ülejäänud osa aga vastassuunas. Kui palju kordi olete näinud lendavat raketti, kuid

kas olete järele mõelnud, miks ta lendab? Rakett on meile õpetlik näide selle liikumise kohta, mis meid praegu huvitab.

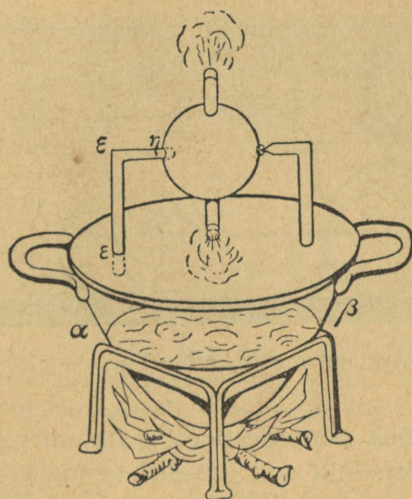
Miks lendab rakett üles?

Isegi inimeste hulgas, kes on õppinud füüsikat, võib sageli kuulda raketi lennu täiesti väärast seletust: ta lendavat seepärast, et ta tõugatakse õhust eemale nende gaaside poolt, mis tekivad temas püssirohu põlemisel. Nii mõeldi ka vanasti (rakett on väga vana leiutis) ja seda arvamust jagavad paljud veel praegugi. Siiski, kui lasta rakett õhutühjas ruumis, ei lendaks ta halvemini, vaid isegi paremini kui õhus. Raketi lendamise õige põhjus on hoopis teine. Seda põhjust seletab lihtsalt ja väga arusaadavalt revolutsionäär Kibaltšitš oma surmaeelses töös tema poolt leiutatud lennumasinast. Seletades lahingurakettide ehitust, ta kirjutab:

„Plekist silindrisse, mille üks ots on lahti ja teine kinni, asetatakse tihedalt kokkupressitud püssirohust silinder, milles piki telge on tühik kanali näol. Püssirohu põlemine algab selle kanali pinnalt ja levib teatava aja jooksul kokkupressitud püssirohust silindri välispinnani; põlemisel tekkivad gaasid avaldavad rõhumist igas suunas; gaaside rõhumine silindri külgpindadele tasakaalustub vastastikku, seevastu plekist silindri põhjale suunatud rõhumine, mis pole tasakaalustatud vasturõhumisega (sest gaasidel on siin vaba väljapääs), lükkab raketti edasi selles suunas, milles ta oli kinnitatud alusele enne süütamist.“

Siin toimub sama, mis suurtükist laskmisel: mürsk lendab ettepoole, suurtükk aga tõugatakse tahapoole. Mee-

nutage püssi ja üldse iga tulirelva tagasilööki! Kui kahur ripuks õhus ja ei toetuks millelegi, siis ta liiguks pärast lasku tahapoole teatava kiirusega, mis oleks mürsu kiirusest niimitu korda väiksem, kuimitu korda kahur on mürsust raskem. Jules Verne'i fantastilises romaanis „Pahupidi“ kavatseti hiigelsuure kahuri tagasilööki koguni selleks ära kasutada, et teostada suurejoonelist kavatsust — õgvendada Maakera telge.

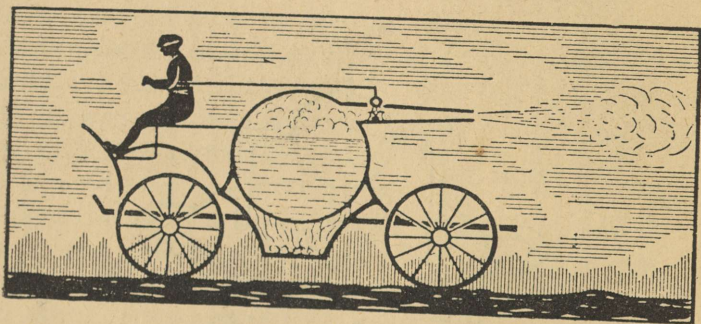


Joonis 7. Vanim aurumasin (turbiin), mille leiutaja olevat Heron Aleksandriast (II saj. e. m. a.).

Rakett sarnaneb niisuguse kahuriga, kuid ta purskab välja mitte mürske, vaid gaase. Samal põhjusel tiirleb ka nn. „hiina ratas“, mida teil arvatavasti on olnud võimalus imetleda tulevärkidel: püssirohu põlemisel torukestes, mis on kinnitatud ratta külge, voolavad gaasid välja ühes suunas, torukesed ise (ja koos nendega ratas)

aga liiguvad vastassuunas. Oma olemuselt on see ainult üldtuntud füüsikariista, Segneri ratta eri kuju.

On huvitav märkida, et enne auriku leiutamist oli olemas mehhaanilise laeva projekt, mis oli rajatud samale põhimõttele; laeva veetagavara suruti tugeva surupumba abil välja laeva ahtris; selle tagajärjel pidi laev liikuma ettepoole — nagu need ujuvad plekkriistad, milledega demonstreeritakse sama põhimõtet füüsi-



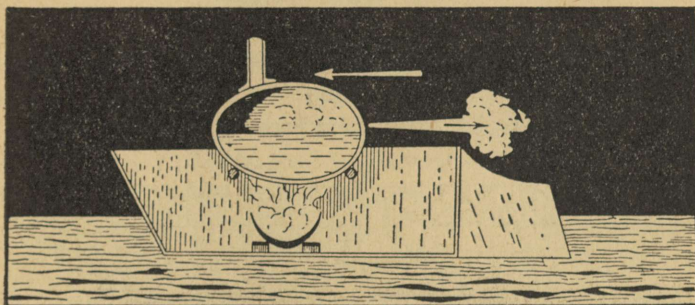
Joonis 8. Auruautomobiil, mille leiutaja olevat Newton.

katundides. See (Ramsay poolt esitatud) projekt ei leidnud teostamist; küll aga etendas ta teatavat osa auriku leiutamisel, sest ta juhtis Fulton'i tema ideele.

Meie teame ka, et muistseim aurumasin, mis ehitati Aleksandria Heroni poolt II sajandil e. m. a., oli oma ehituselt rajatud samale põhimõttele: aur katlast β (joon. 7) liikus toru $\epsilon\eta$ mööda kerasse, mis oli kinnitatud horisontaalse telje külge; välja tulles põlvjalt painutatud torudest pani aur nad vastassuunas liikuma ja kera hakkas pöörlema. Kahjuks jäi Heroni aurumasin vanal ajal ainult huvitavaks mängukanniks, sest orjade tööjõu odavus ei ergutanud kedagi masinaid praktilisele

kasutamisele võtma. Printsip ise pole aga tehnika poolt unustusse jäetud: meie ajal rakendatakse seda põhimõtet reaktiivturbiinide ehitamisel.

Newtonile, mõju ja vastumõju seaduse autorile, omistatakse ühe varasema auru-automobiili projekt, mis põhines samadel alustel: ratastele asetatud katlast paiskub aur välja ühes suunas, katel ise aga veereb tagasilöögi tõttu vastassuunas (joon. 8).



Joonis 9. Paberist ja munakoorest tehtud mänguurik. Kütta-aineks on sõrmkübarasse valatud piiritus. Aur, mis tungib välja „aurukatla“ (tühjaks puhutud muna) avausest, paneb auriku liikuma vastassuunas.

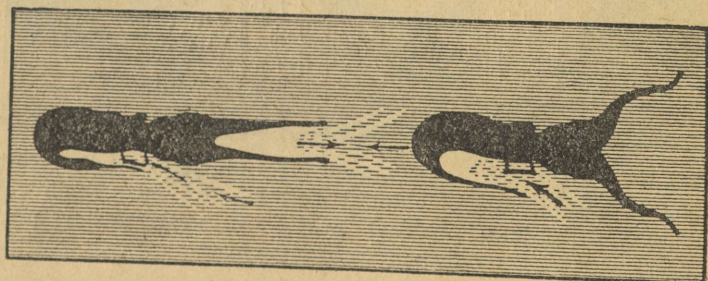
Rakettautod kujutavad endast Newtoni sõiduki praegusaegset teisendit.

Neile, kes armastavad meisterdada, on esitatud joonis paberist aurikust, mis samuti sarnaneb väga Newtoni sõidukiga: tühjendatud munast tehtud aurukatlas soojendatakse vett piiritusega immutatud vati abil, mis on sõrmkübaras põlema süüdatud; tekib aur, mis paiskub joana välja ühes suunas ja paneb paberist auriku liikuma vastassuunas. Selle õpetliku mänguasja ehitamiseks on aga vaja väga osavaid käsi.

Sellelaolist „reaktiivset“ aurikukest, valmistatud osava Leningradi füüsik-konstruktori N. G. Timofejevi poolt alumiiniumist, oli võimalik näha Huvitava Teaduse Paviljonis (Leningradi Kultuuri ja Puhkuse Keskpargis); väljapaiskua aurujoa mõjul tegi väike aurik vilkalt suuri ringe madala veebasseini pinnal.

Kuidas liigub seepia?

Teil on imelik kuulda, et leidub küllalt elusolendeid, kelledele kujutletav „iseenda juukseidpidi ülestõstmine“ on tavaliseks kulgemisviisiks vees.



Joonis 10. Seepia ujumisliikumine.

Seepia ja üldse enamik peajalgseid liiguvad vees niisugusel viisil: nad tõmbavad külgpilu ja keha eesosas asetseva erilise leetri kaudu oma lõpuskoopasse vett ja purskavad seejärel veejoa läbi mainitud leetri jõuliselt välja; seejuures saavad nad vastumõjuseaduse põhjal tõuke tahapoole, mis on küllaldane selleks, et liikuda üsna kiiresti keha tagumise poolega ees. Muide, seepia võib oma leetri toru suunata küljele või taha-

poole ja sellest hoogsalt vett välja pursates liikuda mistahes suunas.

Samale põhimõttele on rajatud ka meduusi liikumine: lihaste kokkutõmbega surub ta vee oma kellakujulise keha alumisest osast välja, saades seejuures vastassuunalise tõuke. Sellist liikumisviisi kasutavad salbid, kiilide vastsed ja teised veeloomad. Ja meie veel kahtlesime, kas niiviisi saab liikuda!

Raketil tähtede poole.

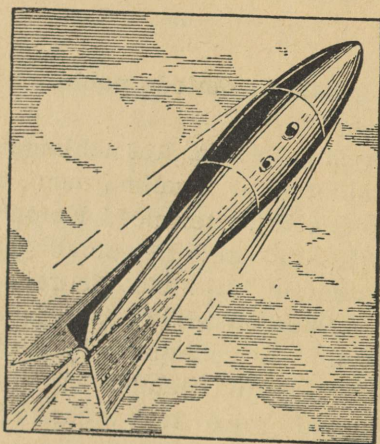
Mis võib olla ahvatlevam, kui lahkuda Maakeralt ja reisida mööda mõõtmatu maailmāruumi, lennata Maalt Kuule, ühelt planeedilt teisele? Kuupalju fantastilisi romaane on kirjutatud sellel teemal! Kes kõik pole meid kaasa tõmmanud kujutletavale reisule taevakehadele! Voltaire „Micromégas'is“, Jules Verne „Reisus Kuule“ ja „Hector Servadaque'is“, Wells „Esimestes inimestes Kuul“ ja paljud nende jäljendajad teostasid kõige huvitavamaid reise taevakehadele — muidugi unistustes. Tegelikuses aga peame jääma esialgu Maakerā vangideks.

Kas tõesti pole võimalik teostada seda ammust unistust? Kas tõesti on teostatatud kõik need teravmeelsed projektid, mis on romaanides kujutatud sellise ahvatleva usutavusega? Edaspidi vestleme veel planeetidevaheliste reisude fantastilistest projektidest; nüüd aga tutvume selliste lendude reaalse projektiga, mis esimest korda esitati nõukogude teadlase K. E. Tsiolkovski poolt.

Kas võib lennata Kuule lennukis? Muidugi mitte: lennukid ja õhulaevad liiguvad ainult selle tõttu, et nad toetuvad õhule, tõukavad end sellest eemale, aga Maa

ja Kuu vahel pole õhku. Maailmaruumis puudub üldse igasugune keskkond, millele võiks toetuda „planeetidevaheline“ õhulaev. Tähendab, tuleb välja mõelda selline riist, mis, toetumata mingile keskkonnale, oleks võimeline liikuma ja mida oleks võimalik juhtida.

Meie oleme juba tuttavad sellise riistaga mänguasja raketi näol. Miks mitte ehitada tohutu suur rakett, mil-



Joonis 11. Planeetidevahelise raketitaolise õhulaeva projekt.

les oleksid eri ruumid inimestele, toiduainetele, balloonele õhuga ja kõigele muule? Kujutlege, et inimestel on raketis kaasas suur põletusainete tagavara ja nad võivad põlemisel tekkinud gaase suunata igale poole. Nii on teil täiuslik juhitud taevalaev, milles võib ujuda maailmaruumi ookeanil, lennata Kuule, planeetidele... Juhtides plahvatusi võivad reisijad suurendada selle planeetidevahelise õhulaeva kiirust vajaliku järkjärgulisusega, et kiiruse suurenemine oleks neile ohutu.

Soovides laskuda mõnele planeedile, võivad nad laeva pöörates järjest vähendada selle kiirust ja nõrgendada sellega langemist. Lõpuks võivad reisijad samal viisil tagasi tulla Maale.

Küsimus lendamisest väljaspool atmosfääri ehk „tähtlendamisest“ raketi põhimõttel on juba läbi töötatud teoreetikute poolt (K. E. Tsiolkovski). Selles suunas tehakse esialgu alles esimesi, väga tagasihoidlikke samme⁶. Meenutagem, et alles hiljuti tegi lennuasjandus oma esimesi kartlikke vallutusi. Praegu aga liuglevad lennukid kõrgel õhus, lendavad üle mägede, kõrbede, mannerde ja ookeanide.

Võib-olla tuleb ka „tähtlendamisele“ kahe-kolme aastakümne pärast samasugune õitseage. Siis purustab inimene need nähtamatud ahelad, mis teda nii kaua on köitnud oma planeedi külge ja sööstab universumi piiramatusse avarusse.

⁶ Lähemat rakett-tehnika ja „tähtlendamise“ kaasaegsest seisukorrast võivad lugejad leida minu raamatus „Planeetidevahelised reisud“ (vene keeles) 1935. a. väljaanne ja ka minu raamatuis „Raketil Kuule“, „Raketil tähtede juurde“, „Tsiolkovski. Elu ja tehnilised ideed“ (kõik vene keeles).



Teine peatükk.

Tung. Töö. Hõõrdumine.

Ülesanne luigest, vähist ja havist.

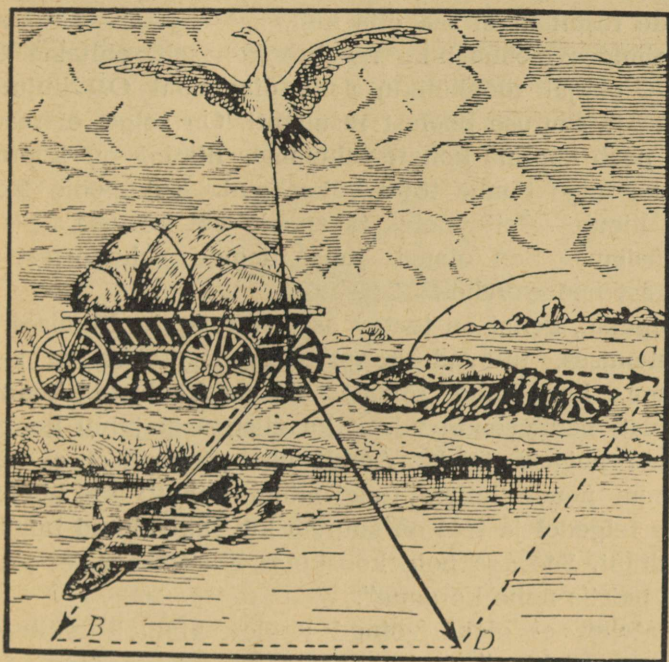
Lugu sellest, kuidas „luik, vähk ja haug tahtsid koor-
mat vedada“, on kõigile tuttav. Aga vaevalt on keegi
katsunud vaadelda seda valmi mehhaanika seisukohalt.
Tulemus saadakse hoopis erinev valmikirjutaja Krõlovi
järeldusest.

Meie ees on mehhaanika ülesanne mitme, üksteise
suhtes nurgi mõjuva tungi liitmise peale. Tungide suu-
nad on määratud järgmiselt:

... Luik kipub pilvede poole,
Vähk taandub ja havi veab vette.

See tähendab (joon. 12), et üks tung — luige tõmme
— on suunatud üles; teine — havi tõmme (OB) — on
suunatud kõrvale; kolmas — vähi tõmme (OC) — on
suunatud tahapoole. Mitte unustada, et on olemas veel
neljas tung, koorma raskus, mis on suunatud otse
ülalt alla. Valmis kinnitatakse, et „koorem on veel
praegu seal“, teiste sõnadega, et kõikide koormasse
rakendatud tungide resultant võrdub nulliga.

Kas asi on nii? Vaatame. Luik, kes kipub pilvede poole, ei takista vähi ja havi tööd, isegi soodustab seda: luige tõmme, mis on suunatud vastu raskustungile, vähendab rataste hõõrdumist vastu maapinda ja telgi,



Joonis 12. Ülesanne Krõlovi luigest, vähist ja havist, lahendatud mehhaanika reeglite abil. Resultant (OD) peab koorma vette tõmbama.

kergendab seega koorma raskust, võib-olla et isegi tasakaalustab selle, sest koorem pole raske („koorem paistis neile kergena“). Eeldades lihtsuse mõttes viimati-õeldut, jääb järele kaks tungi: vähi ja havi tõmme.

Nende tungide suuna kohta öeldakse, et „vähk taandub ja havi veab vette“. Arusaadav, et vesi polnud koorma ees, vaid kuskil kõrval (Krõlovi töömehed ei tahtnud ju koormat uputada!). Tähendab, vähi ja havi tõmbed mõjuvad nurgi teineteise suhtes; kui aga asi on nii, siis nende resultant ei saa olla null.

Toimides mehhaanika reeglite kohaselt, ehitame OB ja OC põhjal rööpküliku; selle diagonaal OD kujutab suuna ja suuruse poolest resultanti. On selge, et resultant peab koorma kohalt nihutama, liiatigi on koorma raskus luige tõmbe tõttu vähenenud. Kuhupoole koorem liigub — ettepoole, tahapoole või kõrvale — on iseküsimus. See oleneb juba tungide vahekorrast ja nurgast nende vahel.

Lugejad, kellel on teatav osavus tungide liitmisel ja lahutamisel, tulevad kerge vaevaga toime ka selle juhuga, kus luige tõmme ei tasakaalusta koorma raskust; nad veenduvad, et ka niisugusel juhul koorem ei saa paigale jääda. Ainult ühel tingimusel ei liigu koorem nende kolme tungi mõjul kohalt: kui hõõrdumine telgedel ja teel on suurem kui rakendatud tungide resultant. See aga pole kooskõlas kinnitusega, et „koorem paistis neile kergena“.

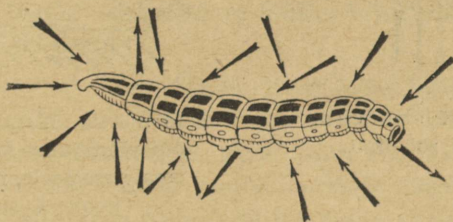
Igatahes ei oleks võinud Krõlov kindlalt väita, et „koorem ei liigu“, ja et „koorem on veel praegu seal“. Muide, see kõik aga ei muuda valmi mõtet.

Krõlovi kiuste.

Alles praegu nägime, et Krõlovi elujuhis: „Kui puudub sõpradel üksmeel, ei ühistöö siis edene,“ pole igakord rakendatav mehhaanikas. Tungid võivad olla suunatud

eri suundadesse, kuid sellele vaatamata siiski anda teatava tulemuse.

On vähe neid, kes teavad, et virgad töötajad sipelgad, keda sama Krõlov kiidab kui eeskujulikke töölisi, tarvitavad koostöötamisel viisi, mida naeruvääristab valmikirjutaja. Siiski läheb asi neil üldiselt korda — päästab jällegi tungide liitmise seadus. Jälgides tähelepanelikult sipelgate tööd, veendute üsna kiiresti selles, et nende arukas koostöö on ainult näiv: tegelikult aga töötab iga sipelgas iseendale ega mõtlegi teisi abistada.



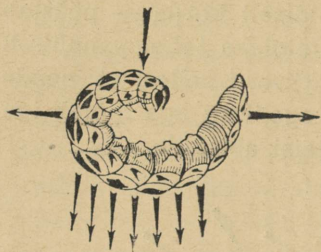
Joonis 13. Kuidas sipelgad tirivad saaki. Nooled näitavad üksikute sipelgate pingutuste suundi.

Keegi zooloog⁷ kirjeldab sipelgate tööd nii:

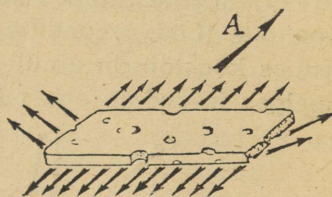
„Kui kümme-kond sipelgat tirib suuremat saaki mööda tasast pinda, siis töötavad kõik ühtviisi ja tekib mulje koostööst. Nüüd aga jäi saak, näiteks röövik, mõne takistuse — rohukõrre või kivikese taha kinni. Edasi tirida ei saa, tuleb ringi minna. Ja nüüd ilmneb selgesti, et igaüks sipelgaist püüab takistust ületada omamoodi, teisi arvestamata (joon. 13 ja 14). Üks tirib paremale, teine pahemale; üks tõukab ettepoole, teine tõmbab tahapoole. Vahetavad kohta, haaravad röövikut teisest kohast ja igaüks tõukab või tõmbab omamoodi. Kui juh-

⁷ E. Elatšitš. Instinkt.

tub, et töötajate tungid liituvad nii, et röövikut tõmbab ühele poole 4 sipelgat ja teisele poole 6, siis röövik lõppeks liigub kuue sipelga poole, hoolimata nelja sipelga vastutegevusest." Joonis 14 selgitab öeldut.



Joonis 14. Kuidas sipelgad tirivad röövikut.



Joonis 15. Kuidas sipelgad püüavad juustutükki tirida oma pesa poole, mis asetseb noole A suunas.

Toome veel ühe õpetliku näite, mis illustreerib näitlikult seda sipelgate kujutletavat koostööd. Joonisel 15 on kujutatud neljakandiline juustutükk, millest oli kinni haaranud 25 sipelgat. Juust liikus aeglaselt noolega A näidatud suunas ja võib arvata, et kogu eesmine sipelgate viirg tõmbab saaki, tagumine viirg lükkab tagant, ja külgmised sipelgad aitavad kaasa. Siiski pole see nii, milles pole raske veenduda. Eraldage noaga kogu tagumine viirg ja saak hakkab kiiremini liikuma! On selge, et need 11 sipelgat tõmbasid saaki tagasi, aga mitte edasi: igaüks neist püüdis saaki pöörata nii, et taganedes saaks seda lohistada pessa. Tähendab, tagumised sipelgad ei aidanud eesmisi, vaid takistasid neid, tühistades nende pingutusi. Selleks, et tassida seda juustutükki,

piisaks nelja sipelga pingutusest, kuid töö kooskõlastamatuse tõttu tiris saaki 25 sipelgat⁸.

Kas on kerge munakoort kokku pigistada?

Filosoofiliste küsimuste hulgas, millede kallal murdis oma tarka pead sügavamõtteline Kiifa Mokijevitš „Surnud hingedes“, oli selline probleem: „Noh, kui elevant sünniks munast, siis selle koor peaks olema vist küll väga paks, kahur teda läbi ei lööks; tuleks välja mõelda mingi uus laskeriist.“

Gogoli filosoof oleks tõenäoliselt väga imestanud, kui ta oleks teada saanud, et ka harilik muna koor, vaatamata oma õhedusele, pole kaugelki nii väga õrn. Pihkude vahele võetud muna otstele surudes muna kokku vajutada pole kerge; kulub üsna palju pingutust, et munakoort niisugusel tingimusel purustada⁹.

⁸ Seda sipelgate ühistöö iseärasust kirjeldab humorist Mark Twain. Jutustades kahe sipelga kohtumisest, kelledest üks oli leidnud rohutirtsu jala, ta räägib: „Nad haaravad jalast kinni kummastki otsast ja tirivad seda vastassuundades. Mõlemad näevad, et midagi on korrast ära, aga mis nimelt, sellest ei saa nad aru. Algab vastastikune sõnelemine; vaidlus läheb kakluseks... Toimub leppimine, ja jälle algab mõttetu ühistöö, seejuures on kakluses haavata saanud sipelgas ainult tüliks. Püüdes kogu jõust, tirib terve seltsimees saaki ja koos sellega ka haavatud sõpra, kes selle asemel, et loovutada saak, ripub selle küljes...“ Naljatades teeb Twain täiesti õige märkuse, et „sipelgas töötab hästi ainult siis, kui teda vaatleb kogenematu naturalist, kes teeb ebaõigeid järeldusi“.

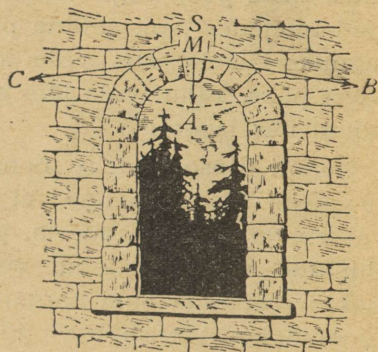
⁹ Katse pole täiesti ohutu (koor võib vigastada kätt) ja nõuab ettevaatust.

Niivõrd ebatavaline munakoore tugevus oleneb ainult koore kumerusest ja seletub niisamuti nagu igasuguste võlvide ja kaarte vastupidavus.

Juurdelisatud joonisel 17 on kujutatud väikese akna-pealse kivivõlvi läbilõige. Koormis *S* (s. o. peallasuvate müüriosade raskus) surub võlvi keskmisele kiilukujulisele kivile ülalt alla tungiga, mis on kujutatud joonisel



Joonis 16. Selleks, et muna katki vajutada niisuguses asendis, läheb vaja tunduvat jõudu.



Joonis 17. Võlvi tugevuse põhjus.

noolega *A*. Allapoole aga ei saa kivi nihkuda oma kiilutaolise kuju tõttu; ta avaldab ainult survet naaberkividele. Seejuures jaguneb surve *A* rööpküliku reegli põhjal kaheks komponendiks *C* ja *B*; neid tasakaalustab kõrvalasetsevate kivide vastupanu, sest need kivid on omakorda naaberkivide poolt kokku surutud. Seepärast ei saagi väljastpoolt mõjuv tung võlvi purustada. Võlvi on aga kerge lõhkuda tungiga, mis mõjub seest välja-poolle. See on ka arusaadav, sest kivide kiilukuju takistab küll nende langemist, ei mingil määral aga kivide tõusmist.

Ka munakoor on võlv, ainult ühes tükis. Surumisel väljastpoolt ta ei lähe kergesti katki, nagu seda tema hapra materjali tõttu oodata võiks. On võimalik asetada üsna raske laud jalgadega neljale toorele kanamunale — ja munad ei lähe katki (et munad paigal püsiksid ja rõhutav pind suureneks, tuleb munad otstel varustada kipsist laiendustega; kips jääb kergesti lubjast munakoorele).

Nüüd on teil selge, miks haudujal kanal pole tarvis karta munade purunemist oma keha raskuse tõttu. Samal ajal nõrk tibu, et pääseda välja looduslikust vanglast, lööb nokaga seestpoolt kerge vaevaga koore katki.

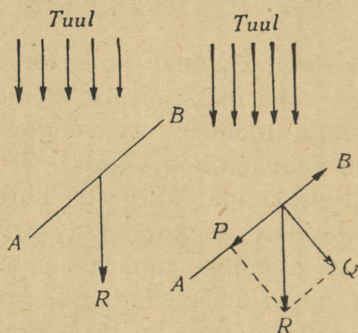
Munakoort teelusika küljeltlöögiga kergesti katki lüües me ei aimagi, kui vastupidav on koor, kui surve mõjub loomulikes tingimustes ja millise tugeva soomusega kaitseb loodus selles arenevat elusolendit.

Ka elektrilampide, nende näiliselt õrnade ja haprate esemete salapärase tugevuse põhjus on sama, mis munakoorelgi. Nende tugevus muutub veelgi hämmastavamaks, kui meenutame, et paljud neist (vaakuum-, mitte aga gaastäitega lambid) on peaaegu absoluutselt tühjad ja mitte midagi ei mõju seestpoolt välise õhurõhumise vastu. Õhurõhumine elektrilambile pole aga väike: 10-cm-se läbimõõdu puhul surub välisõhk mõlemalt poolt tungiga, mis on suurem kui 75 kg (inimese raskus). Katse näitab, et vaakuum-elektrilamp on võimeline vastu pidama isegi 2¹/₂ korda suuremale rõhumisele.

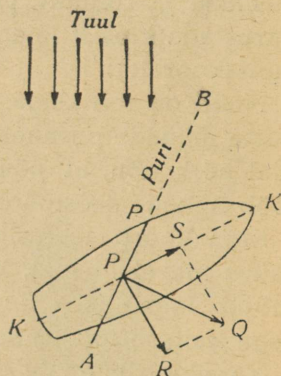
Purjedega vastu tuult.

On raske endale ette kujutada, kuidas purjelaevad liiguvad „vastu tuult“. Tõsi küll, meremees ütleb, et otse

vastu tuult purjedega liikuda ei saa, küll aga võib liikuda tuule suuna suhtes teravnurgi. See nurk aga on väike — umbes veerand täisnurgast — ja on võib-olla ühtviisi arusaamatu, kas ujuda otse vastutuult või jälle 22° -se nurga all.



Joonis 18. Tuul mõjub purjesse alati täisnurga all selle pinnale.

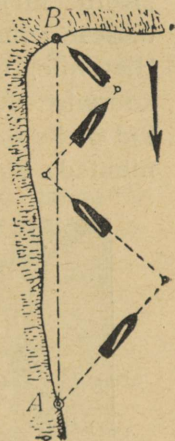


Joonis 19. Kuidas purjetada vastu tuult.

Tegelikult pole see aga kaugeltki ükskõik ja me sele-tame kohe, kuidas on võimalik purjetada vastutuult, kui nurk liikumise ja tuule suuna vahel on väike. Kõige-pealt vaatleme, kuidas üldse tuul mõjub purjele, s. o. kuhu lükkab tuul purje, kui ta sellele puhub. Te arvate tõenäoselt, et tuul lükkab purje alati selles suunas, kuhu ta puhub. See pole aga nii: kust tuul ka iganes puhuks, ikka lükkab ta purje risti selle pinnaga. Tõepoolest: olgu tuule suund joonisel 18 näidatud nooltega; sirglõik AB kujutagu purje. Et tuul mõjub ühtviisi kogu purje-pinnale, siis võime selle rõhumist kujutada noolega R, mis on rakendatud purje keskpunktile. Selle tungi lahu-tame kaheks: tungiks Q risti purjega ja tungiks P, mis

on suunatud pikuti purjega (joon. 18 paremal). Et hõõrdumine tuule ja purje vahel on väike, siis tung P purje edasi ei lükka. Jääb järele tung Q , mis mõjub purjesse täisnurga all.

Teades seda, me taipame kergesti, kuidas purjelaev saab liikuda tuule suhtes teravnurgi. Tähistagu sirgjoon KK (joon. 19) laeva kiiljoont. Tuul puhub selle joone suhtes teravnurgi, suunas, mida näitab noolte rida. Sirglõik AB kujutab purje; see asetatakse nii, et tema pind jagaks pooleks nurga kiiljoone ja tuule suuna vahel. Joonisel 19 on näidatud tungi Q lahutamine komponentideks R ja S . Tuule rõhumine purjele on Q , mis, nagu me teame, on risti purje pinnaga. See tung on lahutatud kaheks: tungiks R , mis on risti laeva kiiluga ja tungiks S , mis on suunatud ettepoole, pikuti laeva kiiljoonega. Et laeva liikumine suunas R leiab väga suurt takistust vee poolt (purjelaevade kiil on väga sügav), siis tung R hävineb peaaegu täiesti. Jääb järele ainult tung S , mis, nagu näete, on suunatud ettepoole ja järelikult viib laeva edasi peaaegu vastutuult¹⁰. Tavali-



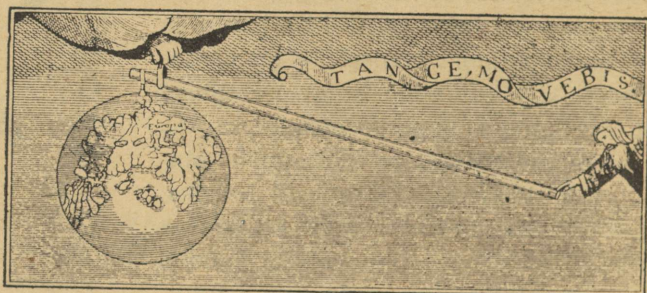
Joonis 20.
Purjelaeva loovimine.

selt toimub see liikumine sikk-sakk joones, nagu näitab joon. 20. Meremeeste keeles nimetatakse laeva niisugust liikumist loovimiseks.

¹⁰ Võib tõestada, et tungil S on suurim väärtus siis, kui purje pind jagab nurga kiiljoone ja tuule suuna vahel pooleks.

Kas Archimedes oleks saanud tõsta Maad?

„Andke mulle toetuspunkt ja ma tõstan Maa üles!“ Sellise hüüde omistab legend Archimedesele, geniaalsele vanaaja mehhaanikule, kes avastas kangi seadused. „Kord kirjutas Archimedes,“ nii loeme Plutarchose teosest, „oma sugulasele ja sõbrale Sürakuusa kuningale Hieronile, et antud tungiga võib nihutada mistahes koormist. Kaasakistuna tõestuste õigsusest, ta lisab, et kui oleks olemas veel teine Maa, ta võiks sellele asudes nihutada kohalt meie Maa.“



Joonis 21. „Archimedes tõstab kanga Maakera“. Gravüür Varignon'i raamatust mehhaanika kohta (1787).

Archimedes teadis, et pole olemas niisugust koormist, mida poleks võimalik tõsta nõrgima tungiga, kui kasutada kangi: on tarvis ainult rakendada see tung kangi väga pikale õlale, kuna koormis mõjuks sama kangi lühikelele õlalé. Seepärast ta arvaski, et, rõhudes käte jõul ülipikale kangiõlale, on võimalik tõsta keha, mille mass võrdub Maakera massiga ¹¹.

¹¹ Et ülesannet selgesti määratleda, selleks tähendame, et väljendit „tõsta Maa“ tuleb mõista nii: Maa pinnal tõstetakse niisugust koormist, mille mass on võrdne meie planeedi massiga.

Kui aga vanaaja suur mehhaanik oleks teadnud, kui tohutult suur on Maakera mass, ta tõenäoselt oleks hoidunud oma uhkeldavast hüüdest. Oletame hetkeks, et Archimedesele on antud too „teine Maa“, too toetuspunkt, mida ta otsis; oletame veel, et tal õnnestus valmistada vajaliku pikkusega kang. Kas teate, kui palju kuluks tal aega, et keha, mille mass võrduks Maakera massiga, tõsta kasvõi ainult ühe sentimeetri võrra? Mitte vähem kui kolmkümmend tuhat miljardit aastat.

Tõepoolest. Maa mass on astronoomidel teada¹²; sellise massiga keha kaaluks Maa peal ümmarguselt 6 000 000 000 000 000 000 000 tonni.

Kui inimene suudab tõsta vahetult ainult 60 kg, siis selleks, et „tõsta Maad“, tuleb tal panna käed kangi õla külge, mis on 100 000 000 000 000 000 000 000 korda pikem kangi lühemast õlast!

Lihtne arvutus veenab teid, et kui kangi lühema õla ots nihkub edasi ühe sentimeetri võrra, siis kangi pikema õla ots peab läbima maailmaruumis tohutu kaare, nimelt

1 000 000 000 000 000 000 km.

Sellise kujutletamatult pika tee peab läbima Archimedese käsi, mis on rakendatud kangi külge, et „tõsta Maad“ ainult ühe sentimeetri võrra! Kuipalju aega kulub selleks? Kui oletada, et Archimedes suutis tõsta 60 kg ühe meetri kõrgusele ühe sekundi jooksul (võimsus on siis peaaegu 1 hobujõud!), ka siis kuluks „Maa tõstmiseks“ ühe sentimeetri võrra

¹² Sellest, kuidas määrati Maa mass, vt. „Huvitav astronoomia“ (vene keeles).

1 000 000 000 000 000 000 sekundit
ehk kolmkümmend tuhat miljardit aastat! Kogu oma pika
eluea jooksulgi poleks Archimedes, surudes kangile,
suutnud „tõsta Maad“ isegi kõige õhema juuksekarva
paksuse võrra...

Geniaalsemagi leiutaja mingid võtted poleks suutnud
tal tunduvalt lühendada seda ajavahemikku. „Mehhaa-
nika kuldne reegel“ lausub, et iga masina puhul toob
võit tungis paratamatult kaasa kaotuse tee pikkuses, s. o.
ajas. Kui Archimedesel olekski õnnestunud suurendada
oma käe kiirust kuni suurima looduses esineva kiiruseni,
s. o. 300 000 km-ni sekundis (valguse kiirus), siis isegi
selle fantastilise eelduse puhul oleks ta suutnud „tõsta
Maad“ ühe sentimeetri võrra alles sada tuhat aastat
vältava tööga.

Jules Verne'i jõumees ja Euleri valem.

Kas mäletate Jules Verne'i jõumeest-atleeti Matifou'd?
„Suurepärane pea, proportsionaalne, hiiglasliku kasvuga;
rind, mis on sepalõõtsa taoline; jalad kui tugevad pal-
gid, käed kui tõelised tõstekraanad, vasaratega sarna-
nevate rusikatega...“ Arvatavasti on selle jõumehe
vägitegudest, mida kirjeldatakse romaanis „Matthias
Sandorf“, teil meeles imestusväärne juhtum laevaga
„Trabocolo“, kus meie hiiglane oma vägevate käte jõul
peatas laeva vettelaskmise.

Sellest vägiteost kirjutab romaanikirjanik järgmiselt:
„Laev, olles vabastatud tugedest, mis teda külgedelt
hoidsid, oli valmis vettelaskmiseks. Oli vaja ainult kõr-
valdada trossid, et laev oleks hakanud libisema alla-
poole. Juba tegeles pooltosinat puuseppi laeva kiilu all.

Elava huviga jälgisid pealtvaatajad seda toimingut. Sel hetkel ilmus lähedase neeme tagant lõbusõidujaht. Selleks et sõita sadamasse, pidi jaht mööduma kohast, kus laevatehases valmistati ette „Trabocolo“ vettelaskmist. Niipea kui jaht andis signaali, tuli igasuguste juhuslikkuste vältimiseks vettelaskmine peatada, et pärast jahti jõudmist kanalisse seda uuesti jätkata. Kui laevad, üks risti ees, teine suure kiirusega alla liikumas, oleksid kokku põrganud, oleks jaht hukkunud.

Töölised lakkasid vasaratega tagumast. Kõik pilgud olid suunatud graatsilisele laevale, mille valged purjed päikese kaldu langevates kiirtes paistsid kullatuina. Varsti jõudis jaht otse laevatehase ette, kus seisis tardunult tuhandepealine rahvahulk. Äkki tõusis hirmukisa: „Trabocolo“ hakkas kõikumama ja algas oma liikumist just samal hetkel, kui jaht pööras tema poole tüüripoordi! Mõlemad laevad olid kokku põrkamas; polnud aega ega võimalust seda kokkupõrget takistada. „Trabocolo“ liikus kiiresti mööda kallakut alla... Valge suitsuvine, mis oli tekkinud hõõrdumisest, keerles käila ümber, kuna laevaachter laskus juba vette (laev liikus ahtriga ees — J. P.).

Äkki ilmub inimene, haarab trossist, mis ripub alla „Trabocolo“ eesosast ja küürutades püüab laeva kinni hoida. Silmapilgu jooksul mässib ta trossi maasse kinnitatud raudtoru ümber ja, olles ise muljumisohus, hoiab üliinimliku pingutusega 10 sekundi jooksul trossi otsa käes. Lõpuks tross katkeb. Kuid sellest kümnest sekundist piisas: „Trabocolo“, laskunud vette, riivas ainult kergelt jahti.

Jaht oli päästetud. Mis puutub inimesesse, kellele keegi ei jõudnud isegi appi tulla, sest kõik toimus nii kiiresti ja ootamatult, siis see oli Matifou.“

Kuidas oleks küll romaani kirjutaja hämmastunud, kui talle oleks öeldud, et sellise vägiteo teostamiseks poleks vaja olnud hiiglast, kellel, nagu Matifou'l, „oli jõudu kui tiigril“. Iga leidlik inimene oleks sellega toime tulnud.

Mehhaanika õpetab, et posti ümber mähitud köie libisemisel tõuseb hõõrdumine maksimumini. Mida suurem on köie keerdude arv, seda suurem on hõõrdumine; hõõrdumise kasvu reegel on selline, et keerdude arvu kasvamisel aritmeetilises jadas kasvab hõõrdumine geometrilises jadas. Seepärast võib isegi nõrk laps, kelle käes on kolme- või neljakordselt ümber liikumatu posti keeratud köie ots, tasakaalustada väga suurt tungi. Sageli võib jõesadamates näha, kuidas noorukid peatavad sel viisil peatuskohtadele lähenevaid laevu sadade reisijatega. Abiks pole neile siin nende käte fenomeenalne jõud, vaid köie hõõrdumine vastu posti.

XVIII sajandi kuulus matemaatik Euler tegi kindlaks seose hõõrdumistungi ja postile mässitud köie keerdude arvu vahel. Neile, keda ei kohuta algebraliste avaldiste lühendatud keel, toome selle õpetliku valemi:

$$F = fe^{k\alpha}.$$

Siin on F see tung, mille vastu on suunatud meie pingutus f . Tähega e on märgitud arv 2,7182... (loomulikude logaritmidde alus), k on köie ja posti vahelise hõõrdumise tegur. Täht α tähistab „pealekerimisnurka“, s. o. suhet pealekeeratud köieosa pikkuse ja selle poolt moodustatud kaare raadiuse vahel.

Rakendame valemi Jules Verne'i poolt kirjeldatud juhtumi kohta. Tulemus on hämmastav. Antud juhul on tung F dokis libiseva laeva tõmme. Laeva kaal on romaani järgi 50 tonni. Olgu hellingi kalle $\frac{1}{10}$; seega

mõjus köiesse mitte laeva täiskaal, vaid $\frac{1}{10}$ sellest, s. o. 5 tonni ehk 5000 kg.

Edasi, suuruse k — köie ja raudposti vahelise hõõrdumise teguri — oletame võrduvat $\frac{1}{3}$ -ga. Suurust α on kerge määrata, arvestades, et Matifou keeras köie kolm korda ümber posti. Seega

$$\alpha = \frac{3 \cdot 2\pi r}{r} = 6\pi.$$

Asetades kõik need väärtused ülaltoodud Euleri valemisse, saame võrrandi

$$5000 = f \cdot 2,72^{6\pi \cdot \frac{1}{3}} = f \cdot 2,72^{2\pi}.$$

Otsitava f (s. o. vajaliku tungi) leiame sellest võrrandist, võttes abiks logaritmid:

$$\log 5000 = \log f + 2\pi \log 2,72$$

ja siit

$$f = 9,3 \text{ kg.}$$

Seega oli vägiteo teostamiseks hiiglasel vaja tõmmata köit ainult umbes 10-kg-se tungiga!

Ärge arvake, et see arv — 10 kg — on ainult teoreetiline ja et tegelikult peaks tung olema palju suurem. Vastupidi hoopis, meie tulemus on isegi suurendatud: kanepiköie ja puidust posti puhul, kus hõõrdumistegur on suurem, on tung f naeruväärselt väike. Kui ainult köis on küllalt tugev, et tõmbele vastu pidada, siis võib isegi nõrk laps, mähkides köie 3—4-kordselt ümber posti, korrata Jules Verne'i hiiglase kanglastegu ja seda isegi ületada.

Millest oleneb sõlmede tugevus?

Igapäevases elus kasutame endale märkamatu sageli paremusi, mida näitab Euleri valem. Sõlmgigi pole muud kui nõör, mis on mähitud silindrikesele, milleks antud juhul on sama nõöri teine ots. Iga liiki sõlmede tugevus, olgu need sõlmed tavalised, „meremehesõlmed“, sidemed, lehvid jms., oleneb eranditult hõõrdumisest, mis siin mitmekordselt suureneb seetõttu, et nõör on mähitud iseenda ümber nagu köis posti ümber. Selles pole raske veenduda, kui jälgida nõöri lookeid sõlmes. Mida enam lookeid, seda enam on nõöril keerde iseenda ümber ja seda suurem on „pealekerimisnurk“ ja seda tugevam on järelikult ka sõlm.

Alateadlikult kasutab sedasama asjaolu ka rätsep nõöpi külge õmmeldes. Ta kerib niidi pistekohal mitmekordselt ümber riide ja tõmbab siis niidi katki; kui niit on tugev, ei tule nõöp küljest ära. Siin rakendatakse meile juba tuttavat reeglit: niidi keerdude arvu kasvades aritmeetilises jadas kasvab õmbluse tugevus geometrilises jadas.

Kui puuduks hõõrdumine, siis ei saaks me kasutada nõöpe: niidid keriksid end oma raskuse tõttu lahti ja nõöbid kukuksid küljest.

Kui poleks hõõrdumist.

Te näete, kui mitmekesine ja vahel isegi ootamatu on hõõrdumise esinemine meid ümbritsevas miljöös. Hõõrdumine etendab üpris olulist osa ka seal, kus meie seda ei või arvatagi. Kui kaoks äkki maailmast hõõrdumine, siis toimuks suur hulk tavalisi nähtusi hoopis teisiti.

Väga piltlikult kirjutab hõõrdumise osast prantsuse füüsik Guillaume:

„Meil kõigil on tulnud liikuda paljal jääl: kuupalju pingutusi tuli teha, et mitte kukkuda, kuupalju naeruväärseid liigutusi, et püsida jalul! Kõik see sunnib meid tunnistama, et Maa, millel me liigume, on tavaliselt varustatud väärtusliku omadusega, mistõttu tasakaaluhoidmine ei tee meile erilisi raskusi. Sama mõte tekib, kui sõidame jalgrattaga libedal sillutisel või kui hobune libiseb asfaldil ja kukub. Uurides taolisi nähtusi me avastame hõõrdumise tagajärgi. Insenerid püüavad võimaluste piires kõrvaldada hõõrdumist masinais — ja see on hea. Rakendusmehhaanikas räägitakse hõõrdumisest kui äärmiselt soovimatust nähtusest — ka see on õige, kuid ainult kitsal erialal. Kõigil teistel juhtudel peame olema hõõrdumisele tänulikud: ta võimaldab meil käia, istuda ja töötada, kartmata, et raamat ja tindipott kukuksid põrandale, et laud libiseks eest, kuni ta ei toetu vastu toa nurka, ja et sulg libiseks sõrmede vahelt.

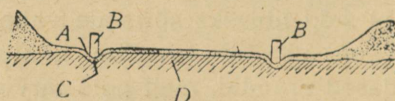
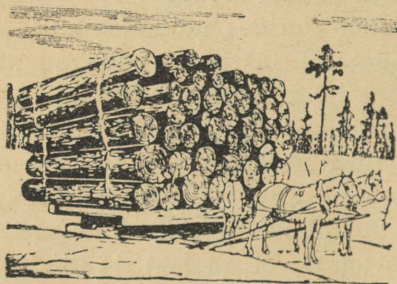
Hõõrdumine on niivõrd tavaline nähtus, et välja arvatud haruldased erandid, meil pole tarviski teda appi kutsuda: ta on ise kohal.

Hõõrdumine soodustab „tasakaalu“. Puusepad teevad põranda siledaks, kuid siiski nii, et lauad ja toolid jääksid püsima sinna, kuhu need pannakse. Lauale asetatud kausid, taldrikud ja klaasid jäävad paigale ilma meie abita, kui see ainult ei toimu aurikul lainetuse ajal.

Kujutlegem, et hõõrdumist võib kõrvaldada täielikult. Ei püsiks siis mingisugused kehad, olgu nad kas kivi-rahnu-suurused või väikesed kui liivaterad, teineteise peal: kõik nad libiseksid ja veereksid seni, kuni nad osutuksid samal tasemel olevaiks. Kui puuduks hõõrdu-

mine, siis oleks Maa ebatasasusteta nagu vedelikust kera.”

Siia võib veel lisada, et hõõrdumise puudumisel libiseksid naelad ja kruvid seintest, poleks võimalik ühtki asja hoida käes, puuduks võimalus püstitada ehitisi, ükski keeris ei lakkaks kunagi, ükski hääl ei vaikiks, vaid heliseks edasi lõpmatu kajana, nõrgenemata pörkamisest toa seintelt.



Joonis 22. Ülal — koormaga saan jääteel; kaks hobust veavad 70-tonnist koormat. All — jäätee: A — rööbas; B — jalas; C — tihendatud lumi; D — tee muldkeha.

Jäide annab meile alati veenva õppetunni hõõrdumise määratust tähtsusest. Liikudes jäitega kaetud tänaval, muutume abituks ja meid ähvardab kogu aeg kukkumise oht. Toome õpetliku väljavõtte ajalehest (1927. a. detsember).

„London, 21. Tugeva jäite tõttu on tänava- ja trammi liiklus tunduvalt raskendatud. Umbes 1400 inimest paigutati haiglasse käte, jalgade ja teiste murretega.”

„Kolme auto ja kahe trammivaguni kokkupõrkel Hyde Park'i läheduses hävisid masinad bensiiniplahvatuse tagajärjel täielikult...“

„Pariis, 21. Jäide Pariisis ja selle eeslinnades põhjustas palju õnnetusjuhtumeid...“

Ometi võib jää väikest hõõrdumist edukalt ära kasutada tehnikas. Isegi tavaline kelk võib olla selle näiteks. Veel selgemat keelt räägivad nn. jääteed, mis ehitatakse selleks, et metsamaterjali välja vedada raiekohast raudteele või parvetuskohtadesse. Sellisel teel, millel on siledad jääst rööpad, võib kaks hobust vedada 70 tonni raskust palkidega koormatud kelku (joon. 22).

„Tšeljuskini“ huku füüsikaline põhjus.

Oeldust ei tohi teha liiga kiiret järeldust, et hõõrdumine vastu jääd on tühine mistahes olukorras. Isegi nullile lähedase temperatuuri puhul võib hõõrdumine vastu jääd olla üsna tunduv. Ühenduses meie jäälõhkujate tööga on viimaseil aastail hoolikalt uuritud polaarmerede jää ja laeva teraspannuli vahelist hõõrdumist. Selgus, et hõõrdumine on ootamatult suur: mitte väiksem kui raua hõõrdumine vastu rauda; laeva uue teraspannuli ja jää vahelise hõõrdumise tegur on 0,2.

Selleks et mõista, milline tähendus on arvul 0,2 laevade ujumisel jääs, arutame joonist 23; siin on kujutatud tungide suunad, mis mõjuvad laevakerele MN jää surve puhul. Jää survetung P lahutatakse kaheks tungiks: üks neist on risti laeva pardaga — R ja teine on suunatud parda puutujat mööda — F . Nurk P ja R vahel võrdub nurgaga α , mis väljendab laevaparda kaldenurka püstjoone suhtes. Hõõrdumistung Q jää ja laevaparda

vahel võrdub tungi R ja hõõrdumisteguri, s. o. $0,2$ korrutisega; saame $Q = 0,2R$. Kui hõõrdumistung Q on väiksem kui F , siis viib viimane suruva jää vee alla; jää libiseb laevakerest mööda, laeva kahjustamata. Kui aga tung Q on suurem kui F , siis takistab hõõrdumine jäätüki libisemist ja jää võib kestval surumisel laevakeret muljuda ja selle sisse vajutada.

Millal on $Q < F$? On kerge näha, et $F = R \tan \alpha$; järelikult peab kehtima võrratus $Q < R \tan \alpha$. Et aga $Q = 0,2R$, siis omandab võrratus $Q < F$ kuju:

$$0,2R < R \tan \alpha$$

ehk

$$\tan \alpha > 0,2.$$

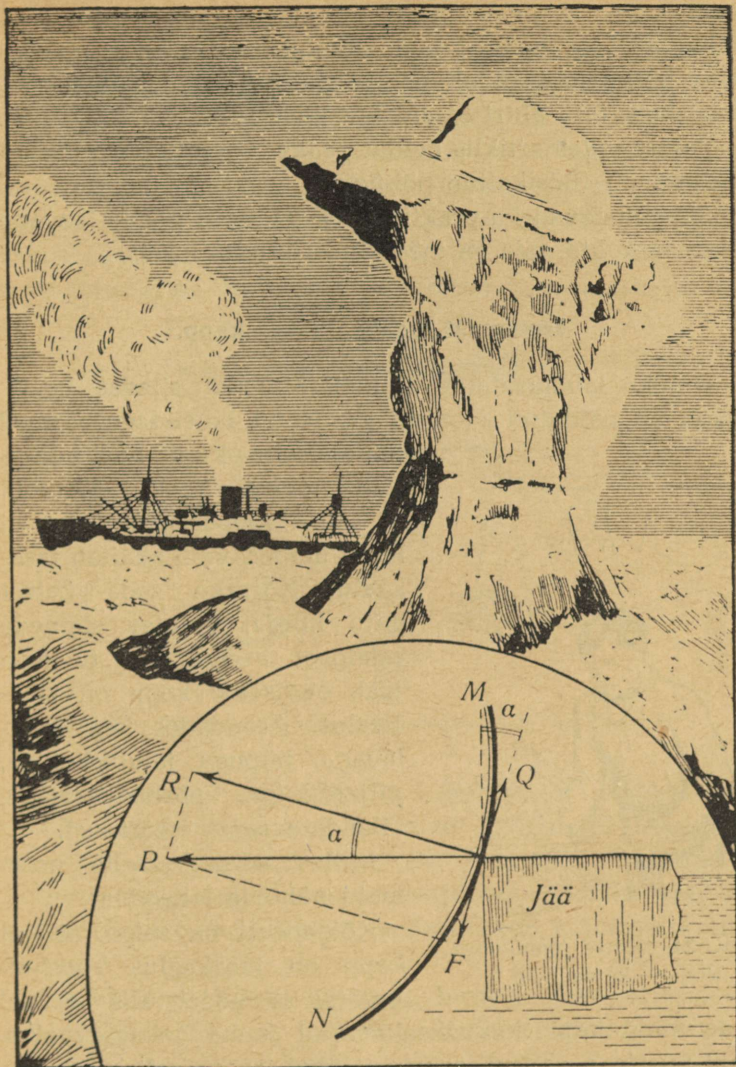
Tabelitest leiame nurga, mille tangens võrdub $0,2$ -ga; see nurk on 11° . Tähendab, $Q < F$ siis, kui $\alpha > 11^\circ$. Sellega on määratud ka nurk laevaparda ja püstjoone vahel, mis tagab laeva ohutu liikumise jääs; kaldenurk ei tohi olla väiksem kui 11° .

Pöördugem nüüd tagasi „Tšeljuskini“ huku juurde. See aurik, mitte jäälohkuja, läbis edukalt kogu Põhja-Jäämere tee, kuid jäi Beringi väinas jõesse kinni.

Jää viis „Tšeljuskini“ kaugele põhja poole ja muljus ta kokku (veebruaris 1934. a.). Tšeljuskinlaste kahekuune sangarlik jääpangal viibimine ja nende päästmine lendurite-kangelaste poolt on üldtuntud.

Katastroofi ennast kirjeldatakse nii:

„Laevakere tugev metall ei andnud kohe järele,“ teatas raadio teel ekspeditsiooni juht prof. O. J. Schmidt. „Oli näha, kuidas jää surus end laevapardasse ja kuidas laevapannuli plaadid läksid pungi, kõverdudes välja poole. Jää jätkas oma aeglast, kuid tagasitõrjumatut



Joonis 23. „Tšeljuskin“ jääsurutises. All — jää surumisel laeva pardasse MN mõjuvad tungid.

pealetungi. Laevapannuli ülespaisutatud raudplaadid lõhenesid õmbluste kohal. Raginaga lendasid needid. Ühe hetke jooksul oli pahem parras käila laadimisruumist kuni teki ahtri otsani ära kistud...“

Pärast selles artiklis öeldut peaks lugejale olema selge katastroofi füüsikaline põhjus.

Siit tulenevad ka praktilised järeldused nende laevade ehituse kohta, mis on määratud sõitudeks jääs.

Iseennast tasakaalustav kepp.

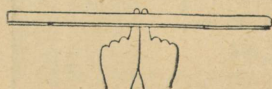
Hoidke laialiasetatud nimetissõrmedel siledat keppi, nagu on näidatud joonisel 24. Nüüd lähendage sõrmed

teineteisele, kuni nad puutuvad kokku. Imelik! Osutub, et selles lõppasendis kepp ei kuku ümber, vaid säilitab tasakaalu. Korrake seda katset mitu korda, muutes sõrmede esialgset asendit — tulemus jääb endiseks: kepp on tasakaalus. Asendades kepi joonlauaga, nupuga jalutuskepiga, piljardikiiga, põrandaharjaga, täheldate sama iseärasust.

Milles seisneb selle ootamatu nähtuse lahendus?

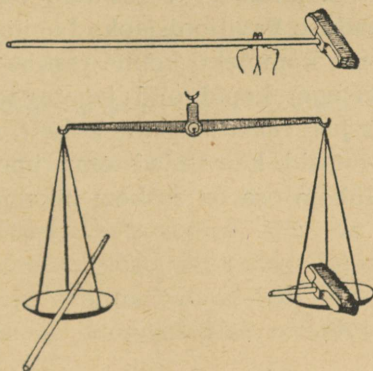
Kõigepealt on selge, et kui kepp on tasakaalus kooshoi-tavatel sõrmedel, siis sõrmed

asetsevad kepi raskuskeskme all (keha on tasakaalus, kui püstjoon raskuskeskmest läheb seestpoolt keha toetuspinda).



Joonis 24. Katse joonlauaga.
Ülal — katse lõpp.

Kui sõrmed on teineteisest eemal, siis on suurem koormis rakendatud selle sõrme külge, mis on kepi raskuskeskmele lähemal. Koormisega suureneb ka hõõrdumine; sõrmel, mis on lähemal raskuskeskmele, on suurem hõõrdumine kui sõrmel, mis on kaugemal sellest punktist. Seepärast raskuskeskmele lähemal asetsev sõrm ei libise kepi all; liigub alati ainult see sõrm, mis on kaugemal raskuskeskmest. Niipea kui liikuv sõrm on jõudnud raskuskeskmele lähemale seni paigalseisnud sõrmest, vahe-



Joonis 25. Sama katse põrandaharjaga. Mis on raskem?

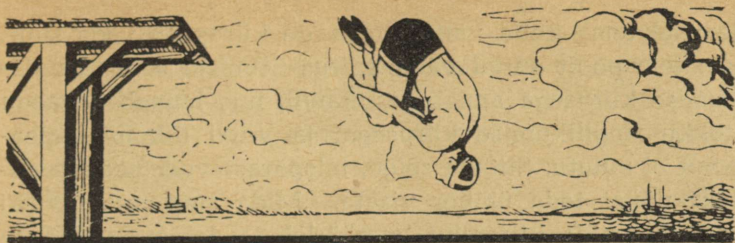
tub kohe sõrmede osa; säärane vahetumine toimub korduvalt seni, kuni sõrmed puutuvad kokku. Et liikumisest võtab osa iga kord ainult see sõrm, mis on raskuskeskmest kaugemal, siis on loomulik, et lõppude lõpuks puutuvad mõlemad sõrmed kokku kepi raskuskeskme all.

Enne kui seda katset lõpetada, korrake teda põrandaharjaga (joon. 25 ülal) ja esitage endale niisugune küsimus: kui hari jagada kaheks kohas, kus ta toetus sõrmedele, ja panna mõlemad osad kaalukaussidele

(joon. 25 all), milline kaalukauss on siis raskem, kas kaalukauss harjaga või varrega?

Näiks nagu, et harja mõlemad osad, mis tasakaalustasid teineteist sõrmedel, peaksid teineteist tasakaalustama ka kaaludel. Tõepoolest on aga vaekauss harjaga raskem vaekausist varrega. Põhjust pole raske taibata, kui arvestada asjaolu, et harja tasakaalustamisel sõrmedel olid harjaosade raskused rakendatud kangi mitte-võrdsetele õlgadele; kaalude korral on aga need raskused rakendatud kaalukangi võrdsetele õlgadele.

Huvitava Teaduse Paviljoni jaoks Leningradi Kultuuri-pargis tellisin ma komplekti keppe raskuskeskme mitmesuguse paigutusega; kepid olid jagatavad kaheks eba-võrdseks osaks just raskuskeskme kohalt. Asetanud need osad kaalule, võisid külastajad oma imestuseks veenduda, et kepi lühem osa on raskem pikemast osast.



Kolmas peatükk.

Ringliikumine.

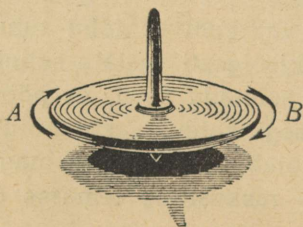
Mispärast pöörlev vurr ei kuku ümber?

Tuhandest inimesest, kes on lapsepõlves lõbu tundnud vurrist, suudab vaevalt ükski õigesti vastata sellele küsimusele. Tõepoolest, kuidas seletada seda, et pöörlev vurr, asetatuna püsti või isegi kaldu, vastu ootusi ei kuku ümber? Milline tung hoiab teda sellises, nagu näib, mittepüsivas asendis? Kas raskustung temasse ei mõju?

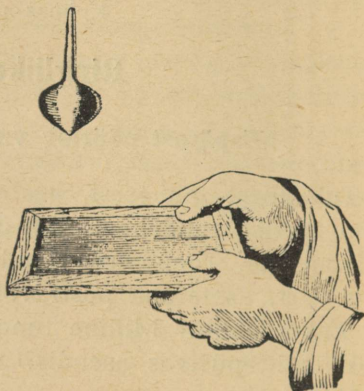
Siin esineb väga huvitav tungide vastastikune mõju. Vurri teooria pole lihtne ja sellesse süvenema meie ei hakka. Märgime ainult ära peapõhjuse, miks pöörlev vurr ei kuku ümber.

Joonisel 26 on kujutatud vurr, mis pöörleb noolte suunas. Pange tähele vurri pöia osa *A* ja selle vastaspoolset osa *B*. Osa *A* püüab liikuda teist eemale, osa *B* teie poole. Jälgige nüüd, millise liikumise saavad need osad, kui te vurri telge kallutate enda poole. Selle tõukega te sunnite osa *A* liikuma ülespoole ja osa *B* allapoole; mõlemad osad saavad tõuke täisnurgi nende omaliikumise suunaga. Et aga vurri kiirel pöör-

lemisel tema ketta välimiste osade kiirus on väga suur, siis teie poolt antud väike kiirus liitmisel suure ringliikumise kiirusega annab resultandi, mis langeb peaaegu kokku ringliikumise kiirusega, ja vurri liikumine peaaegu ei muutu. Siit on selge, mispärast vurr nagu takistaks püüet teda ümber visata. Mida suurem on vurri mass ja mida kiiremini ta pöörleb, seda enam teeb ta takistusi ümberviskamisele.



Joonis 26. Miks vurr ei kuku ümber?



Joonis 27. Ülesvisatud pöörlev vurr säilitab oma telje esialgse suuna.

Selle seletuse olu on vahetult seotud inertsiseadusega. Vurri iga osa liigub mööda ringjoont tasapinnas, mis on risti pöörlemisteljega. Inertsiseaduse põhjal püüab vurri osa lahkuda ringjoonelt ja liikuda mööda puutujat ringjoonele. Aga iga puutuja asetseb samas tasapinnas, milles ringki; seepärast püüabki iga vurri osa liikuda nii, et liikumistasapind oleks risti pöörlemisteljega. Siit järeldub, et vurri kõik tasapinnad, mis on risti pöörle-

misteljega, püüavad alal hoida oma asendit ruumis ja seepärast siis ka üldine ristjoon neile, s. o. vurri telg, püüab alal hoida oma suunda.

Meie ei hakka läbi arutama vurri kõiki liikumisi, mis võivad tekkida kõrvalise tungi mõjul temasse. See nõuaks juba liiga üksikasjalisi seletusi, mis võib-olla näiksid igavatenä. Ma tahtsin ainult seletada põhjust, mispärast iga pöörlev keha püüab alal hoida oma pöörlemistelje suunda.

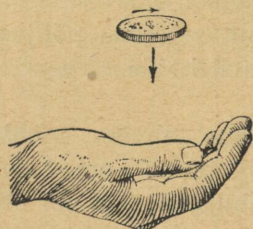
Seda omadust kasutab praegusaegne tehnika laialdaselt. Mitmesuguseid güroskoopilisi (vurri omadusele rajatud) riistu, nagu kompasse, stabilisaatoreid jt., ehitatakse praegusaegsetesse laevadesse ja lennukitesse. Niisugune on selle näiliselt lihtsa mänguasja kasulik rakendus.

Žonglööride kunst.

Mõnda žonglööridest: paljud imetlusväärased trikid nende mitmekesisest kavast on rajatud samuti pöörlevate kehade omadusele alal hoida oma pöörlemistelje suunda. Luban endale esitada väljavõtte inglise füüsiku John Perry huvitavast raamatust „Pöörlev vurr“.

„Kord näitasin mõningaid oma katseid publikule, kes jõi kohvi ja suitsetas tubakat kontsertsaali „Victoria“ ruumides Londonis. Ma püüdsin oma kuulajais tekitada huvi niipalju, kui suutsin; ma rääkisin sellest, et tasasele rõngale tuleb anda ringliikumine, kui soovitakse seda visata nii, et oleks võimalik ette määrata koht, kuhu ta kukkuma peab; samuti toimitakse, kui soovitakse kellelegi visata kübar, nii et see võiks kepiga kübara kinni püüda. Alati võib olla kindel sellele

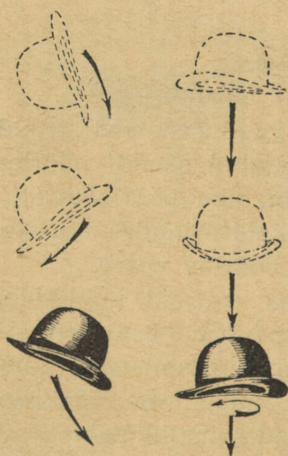
takistusele, mida osutab pöörlev keha, kui tahetakse muuta ta pöörlemistelje suunda. Edasi seletasin oma



Joonis 28. Kuidas liigub ülesvisatud pöörlev münt.



Joonis 29. Ülesvisatud mittepöörlev münt kukub alla juhuslikus asendis.



Joonis 30. Ülesvisatud kõbarat on kergem püüda, kui ta on pöörlema pandud.

kuulajaile, et kui kahuritoru seest siledaks poleerida, siis ei saa kunagi kindel olla sihtimise täpsuses; seepärast tehakse praegusaegsed kahuritorud keermikuga, s. o. lõigatakse toru siseseina spiraalsed sooned, milledesse asetuvad kuuli või mürsu väljaulatuvad osad; seepärast hakkabki mürsk pöörlema, kui püssirohuplahvatusel tekkinud tung paneb ta toru mööda liikuma. Tänu sellele lahkeb mürsk kahuritorust täpselt määratud pöörlemisega.

See oli kõik, mis suutsin teha sellel loengul, sest mul puudub osavus lennutada kübaraid või kettaid. Aga pärast seda kui olin lõpetanud oma loengu, astus lavale kaks žonglööri — ja paremat illustratsiooni ülalmainitud seadustele ma ei võinud soovida. Nad heitsid teineteisele pöörlevaid kübaraid, rõngaid, taldrikuid, vihmavarje... Üks žonglööridest viskas õhku terve hulga nuge, püüdis nad kinni ja viskas uuesti üles suure täpsusega; minu auditoorium, kes äsja oli kuulnud nende nähtuste seletust, hõiskas heameelest; ta täheldas pöörlemist, mille žonglöör andis igale noale, mis õhku lendas nii, et oli võimalik ette määrata, millises asendis nuga tagasi kukub. Ma olin tollal hämmastunud, sest peaaegu eranditult kõik sellel õhtul esitatud trikid illustreerisid ülaltoodud põhimõtet.“

Kolumbuse ülesande uus lahendus.

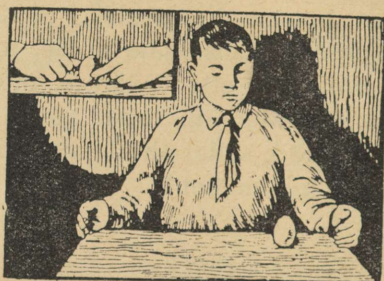
Oma kuulsa ülesande, kuidas panna muna püsti seisma, lahendas Kolumbus liiga lihtsalt: purustades munakoore otsa¹³.

Selline lahendus on oma olemuselt vale: lõõnud munakoore katki, muutis Kolumbus muna k u j u ja pani seega püsti seisma mitte muna, vaid teise keha. Kuid ülesande mõte seisnebki muna kuju; muutes aga muna kuju, me

¹³ Tuleb tähendada muide, et populaarsel legendil Kolumbuse munast puudub ajalooline alus. Rahvasuu pani kuulsa meresõitja arvele selle, mis oli juhtunud palju varem teise isikuga ja hoopis teisel põhjusel, nimelt itaalia arhitekti Brunellescoga (1377—1446). See arhitekt oli ehitanud Firenze katedraalile suure kupli („Minu kuppel seisab niisama kindlalt kui muna oma teraval otsal!“).

asendame muna teise kehaga. Kolumbus ei lahendanud ülesannet mitte selle keha kohta, millele lahendust otsiti.

Kuid kasutades vurri omadust võib suure meresõitja ülesannet lahendada, ilma et oleks vaja muuta muna kuju. Selleks tuleb ainult panna muna pöörlema ümber tema pikema telje, ja muna ei kuku, vaid püsib teatava aja jooksul oma tõmbil või isegi teraval otsal. Kuidas seda teha, näitab joonis 31: muna pannakse sõrmede abil



Joonis 31. Kolumbuse ülesande lahendus: muna pöörleb, seistes ühel otsal.

pöörlema. Eemaldanud käed, te näete, et muna jätkab veel teatava aja pöörlemist, seistes seejuures püsti. Ülesanne on lahendatud.

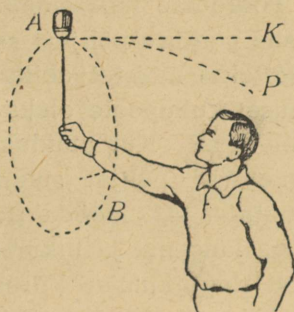
Katse jaoks tuleb tingimata võtta keedetud muna. See kitsendus ei räägi vastu Kolumbuse ülesande tingimusele: selle esitamisel võttis Kolumbus muna laualt, lauale aga arvatavasti ei toodud keetmata mune. Vaevalt õnnestub teil püsti pöörlema panna toorest muna, sest muna vedel sisu on antud juhul piduriks. Selles seisnebki muuseas lihtne võtte eristada tooreid mune kõvaks keedetuisest — võtte, mis on tuttav paljudele perenaistele.

Hävitatud raskus.

„Vesi ei voola välja pöörlevast anumast, ei voola välja isegi siis, kui anum pöörata põhjaga ülespoole, sest väljavoolamist takistab pöörlemine,“ nii kirjutas kaks tuhat aastat tagasi Aristoteles. Joonisel 32 on kujutatud see efektne katse, mis kahtlemata on tuttav paljudele: tiirutades ämbrit veega küllalt kiiresti, nagu on



Joonis 32. Ämbrit, mille põhi on ülespidi, ei voola vesi välja, kui tiirutada ämbrit nõõri otsas küllaldase kiirusega.



Joonis 33. Miks ei voola vesi välja tiirlevast ämbrist?

näidatud joonisel, te saavutate selle, et vesi ei voola ämbrist välja, isegi mitte sel kohal, kus ämbriku põhj on ülespidi.

Tavaliselt seletatakse seda nähtust tsentrifugaaltungi, mõistes selle all kujutletavat tungi, mis nagu oleks rakendatud kehasse ja mis püüab keha viia pöörlemise

keskpunktist kaugemale. Seda tungi pole olemas: mainitud püüe pole muud midagi kui inertsiväljendus ja iga liikumine inertsipõhjal toimub ilma tungikaasabitata. Teaduses mõistetakse tsentrifugaaltungi all midagi muud: nimelt seda reaalselt tungi, millega pöörlev keha tõmbab teda hoidvat nõõri, või jälle tungi, millega pöörlev keha mõjub oma kõverjoonelisse teesse. See tung pole rakendatud liikuvale kehale, vaid takistusele, mis ei luba keha liikuda sirgjooneliselt: nõõrile, rööbastele tee kõveras osas jm.

Pöördume tagasi ämbri tiirutamise juurde ja katsume selle nähtuse põhjust seletada „tsentrifugaaltungi“ kahe mõttelist mõistet abiks võtmata. Esitame endale küsimuse: kuhupoole oleks suunatud veejuga, kui teha auk ämbriisse? Kui puuduks raskustung, siis oleks veejuga inertsipõhjal suunatud ringjoonele AB tõmmatud puutujat AK mööda (joon. 33). Raskustung aga sunnib juga langema ja liikuma mööda kõverat (parabooli AP). Kui ringliikumise kiirus on küllalt suur, siis kõver AP asetub väljapoole ringjoont AB . Veejuga näitab meile teed, mida mööda liiguks vesi, kui poleks takistust ämbri näol. Nüüd on selge, et vesi ei püüagi liikuda püsti ülalt alla ja seepärast ei voola ta ämbriist välja. Ta voolaks ämbriist välja ainult sel korral, kui selle ava oleks tehtud pöörlemise suunas.

Arvutage nüüd, millise kiirusega tuleb kirjeldatud katsetes tiirutada ämbrit, et vesi temast välja ei voolaks. Kiirus peab olema niisugune, et tiirleva ämbri kesktõmbe kiirendus poleks väiksem raskustungi kiirendusest: siis asetseb tee, mida mööda vesi püüab liikuda, väljaspool seda ringjoont, mida mööda liigub ämber, ja vesi ei

eemaldu sellest kusagil. Kesktõmbe kiirenduse W arvutamiseks on järgmine valem:

$$W = \frac{v^2}{R},$$

kus v on ringliikumise kiirus ja R on ringjoonelise tee raadius. Et raskuskiirendus g on maapinnal võrdne $9,8 \text{ m/sek}^2$, saame võrratuse:

$$\frac{v^2}{R} \geq 9,8.$$

Kui oletada, et $R = 70 \text{ cm}$, siis

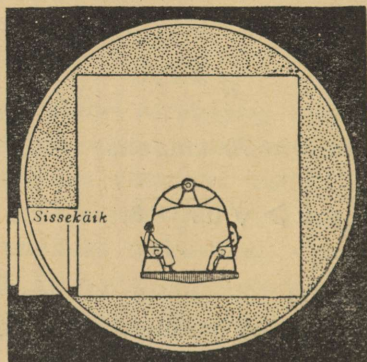
$$\frac{v^2}{0,7} \geq 9,8 \text{ ja } v \geq \sqrt{0,7 \cdot 9,8}; \quad v \geq 2,6 \text{ m/sek.}$$

On kerge määrata, et sellise kiiruse saavutamiseks tuleb käega teha umbes poolteist tiiru sekundis. Tao-line kiirus on täiesti saavutatav ja katse õnnestub vae-vata.

Vedeliku omadust olla surutud vastu selle anuma seinu, mis pöörleb ümber horisontaalse telje, kasuta-takse tehnikas nn. t s e n t r i f u g a a l v a l a m i s e k s. Seejuures on olulise tähtsusega asjaolu, et ebaühtlane vedelik jaguneb kihtideks erikaalu järgi: raskemad koos-tusosad asetuvad pöörlemisteljest kaugemale, kerged osad asetuvad telje lähedusse. Seetõttu eralduvad kõik gaa-sid, mida sisaldab sulametall ja mis tekitavad valus gaasimulle, vormi sisemisse tühja ruumi. Esemed, mis on niisugusel viisil valatud, on tihedad ja vabad gaasi-mullidest. Tsentrifugaalvalamine on odavam tavalisest rõhu all toimuvast valamisest ja ei nõua keerulist sea-deldist.

Olete Galilei osas.

Tugevate elamuste armastajaile on ehitatud paljudes linnades väga omapärane lõbustusvahend — nn. „kuradikiik“. Säärane kiik oli ka Leningradis olemas. Ma pole juhtunud sellel kiikumal, seepärast toon siin tema kirjelduse Fedo teaduslike¹ lõbustuste kogumikust:



Joonis 34. „Kuradikiige“ ehituse skeem.

„Kiik on kinnitatud tugeva horisontaalse palgi külge, mis teataval kõrgusel põrandast ulatub üle toa. Kui kõik on istet võtnud, siis kiike teenindav teenija suleb ukse, kõrvaldab laua, mille kaudu astuti kiigele, ja öeldes, et ta annab nüüd külastajaile võimaluse sooritada väikese õhureisu, hakkab kiike kergelt õõtsutama. Seejärel asub ka tema kiigele, nagu kutsar tagapukki, või lahkub üldse ruumist.

Vahepeal muutuvad kiige võnked üha suuremateks; nähtavasti tõuseb kiik ristpalgi kõrguseni, siis kõrgemale ja kõrgemale üle selle ja teeb lõpuks täisringi. Liikumine kiireneb üha tundavamalt ja kiikujad, kuigi ena-

masti juba ette teades, tajuvad kahtlematult kiikumise ja kiire liikumise tunnet; neile tundub, et nad liiguvad ruumis pea alaspidi, nii et nad tahtmatult haaravad istmete seljatagedest kinni, et mitte kukkuda.

Nüüd hakkavad võnked nõrgenema; kiik ei tõuse enam ristpalgi kõrgüseni ja mõni sekund hiljem jääb kiik täiesti seisma.

Tegelikult aga oli kiik k o g u a j a, mil kestis katse, liikumatu, tuba aga pöörles lihtsa mehhanismi abil horisontaalse telje ümber. Mitmesugune toa mööbel oli kinnitatud põranda ja seinte külge; elektrilamp — suure kupliga kaetud hõõglamp — oli joodetud laua külge nii, et ta ei kardaks ümberpööramist. T e e n i j a, kes, nagu paistis, pani kiige liikuma, andes sellele kergeid tõukeid, kooskõlastas neid tegelikult saali võngetega ja ainult teeskles kiigutamist. Kogu olukord soodustas pette täielikku edu.“

Nagu näete, on illusiooni saladus naeruväärselt lihtne. Ja siiski, kui teie, nüüd juba teades, milles seisneb asi, satuksite „kuradikiigele“, te alluksite paratamatult pettele. Nii tugev on illusiooni võim!

Kas on teil meeles Puškini luuletus „Liikumine“?

Ei, liikumist ei ole — habemik tark¹⁴ väitis.

Jäi teine¹⁵ vait, ent ta ees käima asus —
nii parimaga vastustest ta tasus.

Kõik kiitsid vastust mõtterikkas näites.

Kuid, härrased, see veider juhtum meil
veel tuletab mul meelde teise näite:

ju iga päev me üle liigub Päike,
kuid õigus kangekaelsel Galileil!

¹⁴ Kreeka filosoof Zenon Eleašt (V saj. e. m. a.), kes õpetas, et maailmas on kõik liikumatu ja ainult meeltepetete tagajärjel meile paistab, nagu mingi keha liiguks.

¹⁵ Diogenes.

Kiige külastajate seas, kes selle saladust ei tunne, oleksite olnud omamoodi Galilei, ainult überpöördu mõttes: Galilei tõestas, et Päike ja tähed on liikumatud, liigume aga ilmsuse kiuste meie ise; teie aga hakkate tõestama, et tuba meie ümber liigub — meie ise oleme aga paigal. Võib-olla, et ka teid oleks tabanud Galilei kurb saatus: teile oleks vaadatud kui inimesele, kes vaidleb silmanähtavate asjade vastu...

Minu vaidlus teiega.

Teil polegi nii kerge, nagu seda võib-olla arvate, tõestada, et teil on õigus. Kujutlege, et olete tõepoolest sattunud „kuradikiigele“ ja tahate oma naabreid veenda, et nad eksivad. Teen teile ettepaneku vaielda selle üle minuga. Istume mõlemad „kuradikiigel“, ootame ära hetke, mil see kiikudes hakkab ilmselt tegema täisringe, ja alustame vaidlust selle üle, mis nimelt pöörleb: kas kiik või kogu tuba? Palun ainult meeles pidada, et vaidluse ajal me ei tohi lahkuda kiigelt; kõik tarvisminev on meil õigeaegselt kaasa võetud.

Teie. Kuidas võib kahelda selles, et meie oleme paigal ja pöörleb tuba! Sest kui tõepoolest pöörame kiigel põhja ülespoole, siis me ei jääks õhku rippuma, pea alaspidi, vaid kukuksime kiigest välja. Meie aga, nagu näete, ei kuku. Järelikult ei pöörle mitte kiik, vaid tuba.

Mina. Kuid meenutage, et kiiresti tiirlevast ämbrist ei voola vesi välja, kuigi ämber on pööratud põhjaga ülespidi (lk. 63). Jalgrattur, tehes „kuradisõlmi“ (vaata tagapool, lk. 77), samuti ei kuku, sellest hoolimata et ta sõidab pea alaspidi.

Teie. Kui asi on nii, siis arvutame välja kesktõmbe kiirenduse ja vaatame, kas sellest piisab, et kiigest mitte välja kukkuda. Teades meie kaugust pöörlemisteljest ja tiirude arvu sekundis, võime kergesti leida valemi põhjal...

Mina. Ärge nähke vaeva arvutamisega. „Kuradikiige“ ehitajad, aimates ette meie vaidlust, teatasid mulle, et tiirude arv lubab nähtust seletada minu viisil. Järelikult arvutus ei otsusta meie vaidlust.

Teie. Ma pole siiski kaotanud lootust teid veenda. Näete, vesi sellest klaasist ei voola pörandale. Muide, teie viitate siingi katsele pöörleva ämbriga. Hüva, ma hoian käes loodi, ta on kogu aeg suunatud meie jalgade poole, s. o. alla. Kui me pöörleksime ja tuba oleks paigal, poleks lood kogu aeg suunatud toa pörandale poole, s. o. ta oleks suunatud meist küll pea, küll külje poole.

Mina. Eksite: kui me pöörleme küllaldase kiirusega, siis loe suund püüab ühte langeda pöörlemisraadiusega, s. o. ta on suunatud, nagu ka näeme, meie jalgade poole.

Meie vaidluse lõpp.

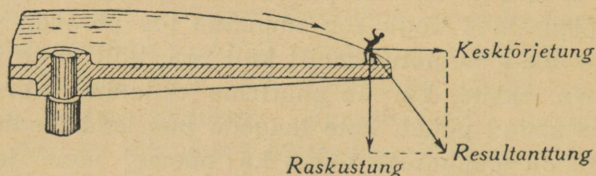
Nüüd lubage teile nõu anda, kuidas peale jääda selles vaidluses. „Kuradikiigele“ tuleb kaasa võtta vedrukaal, asetada selle kausile viht, näiteks 1 kg, ja silmas pidada osuti asendit: see näitab kogu aeg üht ja sedasama vihil märgitud raskust, nimelt üht kilogrammi. See tõestabki, et kiik ei liigu.

Tõepoolest: kui meie koos vedrukaaluga teeksime ringe ümber telje, siis mõjuks vihisse peale raskustungi veel tsentrifugaalefekt, mis alumistes teesades suurendaks vihi raskust, ülemistes osades aga vähen-

d a k s seda; meie peaksime märkama, et viht läheb kord raskemaks, kord kaotab peaaegu kogu oma raskuse. Et aga meie seda ei tähelda, siis järelikult pöörleb tuba ja mitte meie.

„Nõiutud“ kerask.

Keegi ettevõtja ehitas inimeste lõbustamiseks väga lõbusa ja õpetliku karusselli — kerakujulise pöörleva toa. Inimestel selles tekivad sellised ebatavalised tunded, mida peame võimalikuks vahest ainult unenägudes või nõiduslikus muinasjutus.



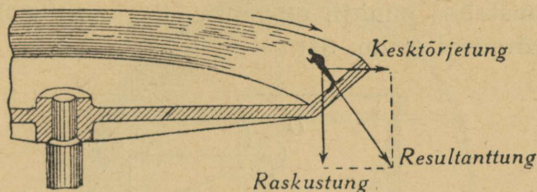
Joonis 35. Mida tunneb inimene, seistes pöörleva platvormi äärel.

Meenutagem esmalt, mida tunneb inimene, kes seisab kiiresti pöörleval ümmargusel platvormil.

Pöörlev liikumine püüab inimest lükata väljapoole; mida kaugemal keskpunktist teie seisate, seda tugevamini tõugatakse teid sellest eemale. Kui sullete silmad, siis tundub teile, et te ei seisa horisontaalsel põrandal, vaid kaldpinnal, millel on raske tasakaalu hoida. See on arusaadav, kui arutleda, millised tungid mõjuvad siin meie kehasse (joon. 35). Pöörlemine püüab viia meie keha väljapoole, raskustung mõjub ülalt alla; liitudes annavad mõlemad liikumised rööpküliliku reegli põhjal

resultandi, mis on kallutatud allapoole. Mida kiiremini pöörleb platvorm, seda suurem on resultantkiirus ja seda enam on ta kaldu.

Nüüd oletame, et platvormi äär on painutatud ülespoole ja te seisate sellel (joon. 36). Kui platvorm ei liigu, siis teie selles asendis ei püsi, vaid libisete alla või isegi kukute. Teisiti on, kui platvorm pöörleb: siis



Joonis 36. Inimene seisab kindlalt pöörleva platvormi ülespainutatud äärel.

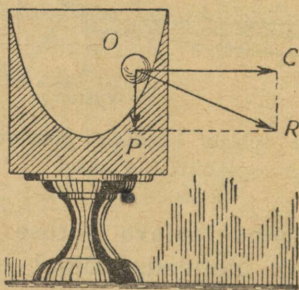
muutub see kaldpind teatava kiiruse puhul teile nagu rõhttasandiks, sest ülaltoodu põhjal on resultantliikumine ka kaldu ja moodustab täisnurga ülespainutatud platvormi äärega¹⁶.

Kui anda pöörlevale platvormile säärane kõverus, et teatava kiiruse puhul pind igas punktis oleks risti mainitud resultandiga, siis pinnal asetsev inimene tunneb ennast igas punktis nagu rõhtpinnal olevat. Matemaatiline arvutus näitab, et säärane kõverpind on geomeetrisel kehal, mida nimetatakse paraboloidiks. Selline pind saadakse, kui lasta pooleni veega täidetud

¹⁶ See muuseas selgitab ka seda, mispärast raudtee kurvidel on välimine rööbas kõrgemal sisemisest, mispärast võidusõidurajad jalgratastele ja mootorratastele on sissepoole kaldu ja mispärast elukutselised võidusõitjad võivad sõita järsult kallakul ringteel.

klaasil kiiresti pöörelda ümber püsttelje: siis äärtel vesi tõuseb, keskkohas aga langeb ja vee pind omandab paraboloidi kuju.

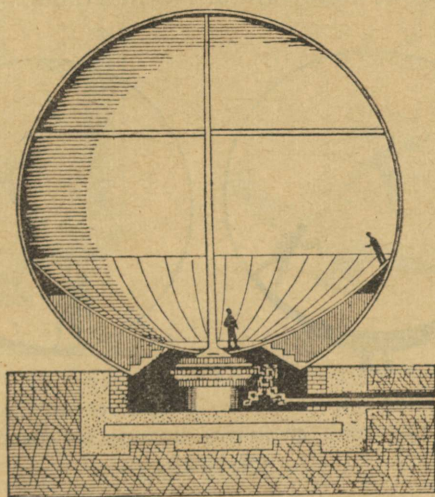
Kui valada vee asemel klaasi sulatatud vaha ja jätkata pöörlemist seni, kuni vaha kõvastub, siis omandab kõvastunud pind täpselt paraboloidi kuju. Teatava pöörlemiskiiruse puhul käitub säärane pind kõvade kehade suhtes kui rõhtpind: kerake, asetatuna selle pinna mistahes punkti, ei veere alla, vaid jääb püsima sellel kõrgusel (joon. 37).



Joonis 37. Kui see peeker panna pöörlema küllaldase kiirusega, siis kerake ei veere alla.

Nüüd on kerge mõista ka „nõiutud“ kera ehitust. Selle põhjaks (joon. 38) on suur pöörlev platvorm, millel on paraboloidi kõverus. Kuigi liikumine, tänu platvormi alla peidetud mehhanismile, toimub äärmiselt sujuvalt, siiski saaksid inimesed sellel peapöörituse, kui koos inimestega ei liiguks ka neid ümbritsevad esemed; selleks et vaatlejale mitte anda võimalust liikumist kindlaks teha, asetatakse pöörlev platvorm suurde läbipaistmatute seintega kerasse, mis pöörleb niisama suure kiirusega nagu platvormgi.

Selline ehitus on karussellil, mida nimetatakse „nõiutud“ või „nõiduslikuks“ sfääriks. Mida te tunnete, viibides sfääri sees oleval platvormil? Kui see pöörleb, siis on põrand teie jalgade all rõhtne, ükskõik missuguses punktis platvormil teie ka seisaksite, — olgu see siis telje läheduses, kus põrand on tõesti rõhtne, või platvormi äärtel, kus põranda kalle on 45° . Silmad näe-



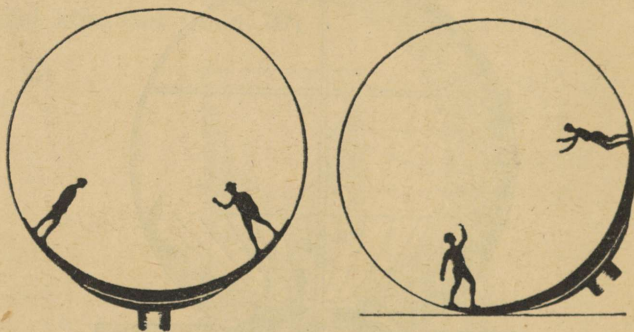
Joonis 38. „Nõiutud“ kera (läbilõige).

vad selgesti nõgusust, kimpimismeel aga ütleb, et jalgade all on rõhtne pind. Mõlema meele aistingud on teravaimas vastuolus. Kui te liigute platvormi ühelt äärelt teisele, siis näib teile, et kogu suur kera on seebimulli kergusega teie raskuse all kaldunud teisele küljele: sest igas punktis te tunnete, et seisate rõhtsal pinnal. Ja teiste, platvormil kaldu seisvate inimeste asend paistab teile äärmiselt ebatavalisena: teil on

mulje, et inimesed liiguvad kui kärbsed seintel (joon. 39).

Vesi, valatuna nõiutud kera põrandale, jookseks kõverat pinda mööda laiali ühepaksuse kihina. Inimestele paistaks, et vesi seisab nende ees kaldseinana.

Tavalised kujutlused raskustungi seadustest on selles, tõepoolest nõiutud kera nagu muudetud ja meie kandume imede muinasjutulisse maailma...



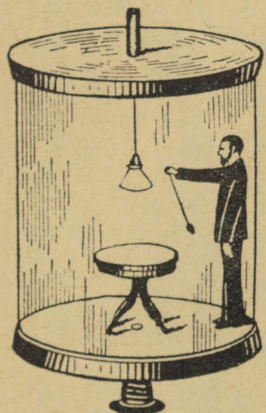
Joonis 39. Milline on inimeste tõeline asend „nõiutud kera“ (pahemal) ja mis näib seejuures kummalegi kahest küljest (paremal).

Selleaolised tunded on lenduril, lennates pöretel suure kiirusega. Kui ta lendab kiirusega 200 km tunnis mööda kõverat, mille raadius on 500 m, siis näib¹⁷ talle maapind tõstetuna ja kallutatuna 16° võrra.

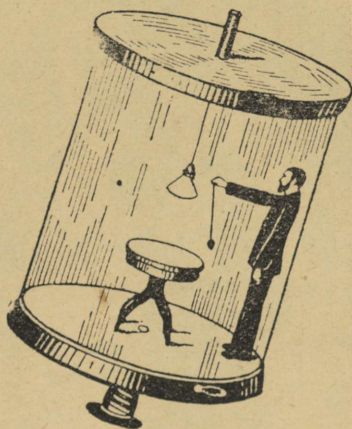
Saksamaal Göttingeni linnas on teaduslike uurimuste jaoks ehitatud pöörlev laboratoorium. See on (joon. 40) silindrikujuline 3-meetrise läbimõõduga tuba, mis pöörleb kiirusega kuni 50 tiiru sekundis. Et toa põrand on

¹⁷ Vaata „Huvitav mehhaanika“, ptk. V (vene keeles).

tasapinnaline, siis vaatlejale, kes seisab seina juures, paistab toa pöörlemisel, nagu oleks tuba kaldu ja ta ise nagu pooleldi lamaks kallakul seinal (joon. 41).



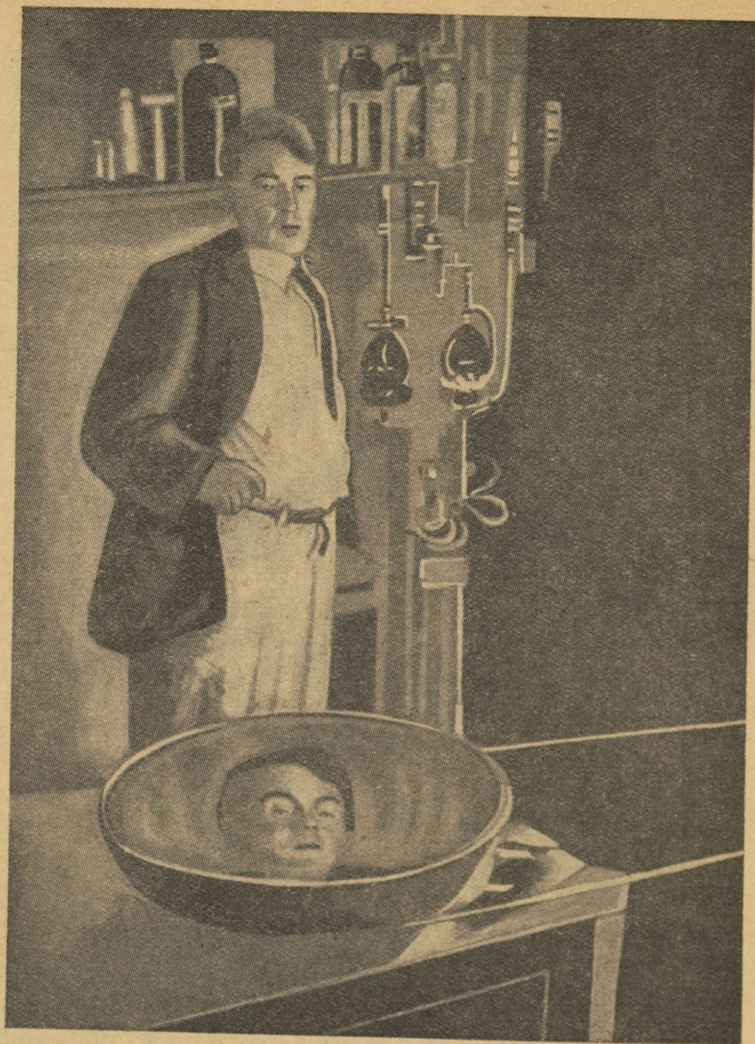
Joonis 40. Pöörlev laboratoorium — tõeline asend.



Joonis 41. Sama pöörleva laboratooriumi näiv asend.

Vedel teleskoop.

Pegelteleskoobi peegli parimaks kujuks on parabool, s. o. niisugune kuju, mille iseendast omandab vedelik pöörlevas anumaskuju. Teleskoobi ehitajad kulutavad palju vaevarikast tööd, et anda peeglile säärane kuju. Teleskoobi peegli lihvimine kestab aastaid. Ameerika füüsik prof. Wood vältis need raskused, ehitades vedela peegli: pannud elavhõbeda laias anumaskuju pöörlema, sai ta ideaalse paraboolse pinna, mis võib etendada peegli osa, sest elavhõbe peegeldab kiiri hästi. Joonis 42 kujutab seda Wood'i teleskoopi. On näha

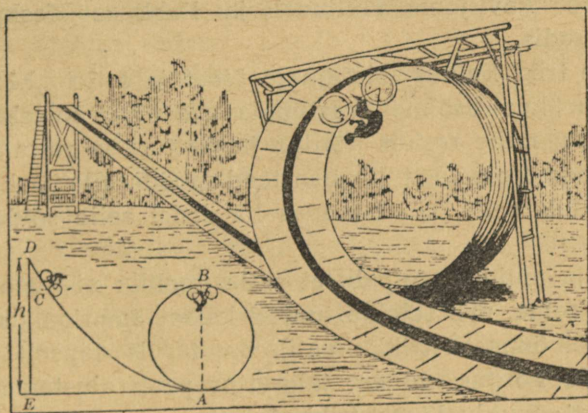


Joonis 42. Teleskoobi vedel peegel. Kõrval — Wood.

juhe, mis paneb pöörlema anuma elavhõbedaga, ja Wood'i näo kujutis. Kuid teleskoobi puuduseks on see, et vähimigi tõuge teeb vedela peegli pinna ebatasaseks ja moonutab kujutist, pealegi võimaldab rõhtne peegel vahetult vaadelda ainult neid taevakehi, mis asetsevad lagipunktis.

„Kuradisõlm“.

Võib-olla on teile tuttav peadpööriv jalgratturitrikk, mida mõnikord esitatakse tsirkustes: jalgrattur sõidab silmuses alt üles ja teeb täisringi, hoolimata sellest et



Joonis 43. „Kuradisõlm“. All pahemal — skeem arvutuseks.

ringi ülemises osas tuleb tal sõita pea alaspidi. Areenile ehitatakse puidust ühe või mitme keeruga silmuse kujuline tee, nagu on kujutatud joonisel 43. Artist laskub jalgrattal alla silmuse kaldpinda mööda, siis tõuseb kiiresti oma terasratsul õhku silmuse keeru sees,

teeb täistiiru, pea lausa alaspidi, ja lahkub siis õnnelikult silmusest ¹⁸.

See kaelamurdev jalgratturitrikk näib pealtvaatajaile akrobaatika tippsaavutusena. Kohmetunud publik küsib nõutult: milline salapärane tung hoiab julget sõitjat õhus, pea alaspidi? Umbusklikud on valmis nägema siin osavat pettust, kuigi selles trikis pole midagi ebaloomulikku. Trikk seletub täielikult mehhaanika seadustega. Biljardikuul, lastuna alla sama teed mööda, teostaks selle triki niisama edukalt. Koolide füüsikakabinetides leidub miniatuurseid „kuradisõlmi“, milles sõidu sooritab väike kera. Suuremas mastaabis demonstreeriti niisugust „kuradisõlme“ keraga Huvitava Teaduse Paviljonis Kultuuri ja Puhkuse Keskpargis Leningradis.

Selle triki kuulus leiutaja ja teostaja artist „Mefisto“ kasutas „kuradisõlme“ vastupidavuse proovimiseks rasket kera, mille raskus võrdus jalgratturi ja ratta koguraskusega. Kera lasti silmuse teed mööda alla ja kui see hästi läbis selle, siis söandas ka artist selle sõidu ette võtta.

Lugeja muidugi taipab, et selle imeliku nähtuse põhjus on sama, mis seletab tuntud katset ämbriga (lk. 63). Siiski ei õnnestu trikk alati; on tarvis täpselt välja arvutada kõrgus, millest jalgrattur peab alustama oma liikumist; muidu lõpeb trikk õnnetusega.

Matemaatika tsirkuses.

Tean, et „hingetute“ valemite rida peletab eemale nii mõnegi füüsikahuvilise. Aga loobudes nähtuste mate-

¹⁸ „Kuradisõlm“ on leiutatud 1902. a. üheaegselt kahe tsirkuse-artisti, „Diabolo“ (Johnson) ja „Mefisto“ (Nuazetti) poolt.

maatilise küljega tutvumisest peavad säärased matemaatika vaenlased ilma jääma ka lõbust ette näha nähtuse käiku ja määrata selle tingimusi. Antud juhul näiteks võimaldab kaks-kolm valemit täpselt ära määrata tingimused, millede täitmisel on edukalt teostatav niivõrd imeväärne trikk, nagu seda on sõit „kuradisõlmes“.

Asugem arvutama.

Väljendame tähtedega need suurused, milledega meil tuleb arvutada:

tähega h tähistame kõrguse, millelt veereb alla jalgrattur;

tähega x tähistame kõrguse h selle osa, mis võrdub kõrguse h ja silmuse kõrguse vahega; joonisest 43 ilmneb, et $x = h - AB$;

tähega r tähistame silmuse ringi raadiuse;

tähega m tähistame artisti ja ratta ühise massi;

nende raskus väljendub siis mg -ga, kusjuures g on raskuskiirendus (see võrdub teatavasti $9,8 \text{ m/sek}^2$);

tähega v tähistame ratta kiiruse sel hetkel, kui ratas on ringi kõrgeimas punktis.

Kõik need suurused võime siduda kahe võrrandiga. Esiteks, teame mehhaanikast, et kiirus, mis on jalgrattal hetkel, mil ta kaldpinda mööda alla liikudes on jõudnud punkti C , mis on ühekõrgusel punktiga B (see asend on kujutatud joonisel 43 all), võrdub selle kiirusega, mis on jalgrattal silmuse kõrgeimas punktis B . Esimene kiirus väljendub valemis¹⁹: $v = \sqrt{2gx}$ ehk $v^2 = 2gx$.

¹⁹ Seejuures meie ei arvesta jalgratta rataste pöörlevate pöidade energiat. Selle asjaolu mõju arvutuse tulemusse pole märkimisväärne (vt. minu raamat „Kas tunnete füüsikat?“, § 47; raamat on vene keeles).

Järelikult on jalgratturi kiirus v ka punktis B võrdne $\sqrt{2gx}$, s. o. $v^2 = 2gx$.

Edasi, selleks et jalgrattur, jõudes silmuse ringi kõrgeimasse punkti, ei kukuks alla, peab siin tekkinud kesktõmbekiirendus olema suurem raskuskiirendusest, s. o.

$$\frac{v^2}{r} > g \text{ ehk } v^2 > gr.$$

Meie aga teame juba, et $v^2 = 2gx$; järelikult

$$2gx > gr \text{ ehk } x > \frac{r}{2}.$$

Niisiis, me saime teada, et selle kaelamurdva triki edukaks teostamiseks tuleb „kuradisõlme“ seadeldis ehitada nii, et tee kaldosa tipp oleks silmuse kõrgemast punktist kõrgemal kui $\frac{1}{2}$ ringi raadiust ehk $\frac{1}{4}$ diameetrit. Nagu näete, pole oluline kaldpinna kallakus; küll aga peab olema punkt, millest jalgrattur alustab sõitu, silmuse kõrgeimast punktist üle $\frac{1}{4}$ silmuse diameetri võrra kõrgemal. Selle arvutuse juures pole arvestatud hõõrdumistungi mõju jalgrattasse: oletatakse, et kiirused punktis C ja B on ühesugused. Seepärast ei tohi teed liiga pikaks teha ja kaldpinna kalle ei tohi olla liiga väike. Väikese kallaku puhul on jalgratta kiirus hõõrdumise tagajärjel punktis B väiksem kui punktis C . Kui silmuse läbimõõt on 16 m, siis peab jalgrattur algama oma sõitu vähemalt 20 m kõrguselt. Kui see tingimus pole täidetud, ei aita mingi osavus teostada „kuradisõlme“: jalgrattur, jõudmata silmuse kõrgeimasse punkti, paratamatult kukub alla.

Tuleb tähendada, et selle triki teostamisel sõidab jalgrattur ilma ketita, jättes masina ainult raskustungi mõju alla: kiirendada või aeglustada oma liikumist ta ei saa

ega tohigi. Kogu ta kunst seisneb ainult selles, et hoida ennast puidust tee keskkohal; vähimalgi kõrvalekaldu-
misel ähvardab teda oht teelt alla kukkuda. Liikumise
kiirus ringis on väga suur: ringi puhul, mille läbimõõt
on 16 m, teeb sõitja ühe tiiru 3 sekundi jooksul. See
vastab kiirusele 60 km tunnis! Muidugi on raske juhtida
jalgratast sellise kiiruse puhul; seda pole aga tarviski,
võib julgesti usaldada mehhaanika seadusi. „See jalg-
ratturitrikk iseenesest pole ohtlik,“ nii loeme professio-
naali²⁰ poolt koostatud brošüürist, „kui arvutus on õige
ja aparaat vastupidav. Triki oht peitub sõitjas endas.
Kui sõitja käsi väärtatab, kui sõitja on erutatud, kaotab
enesevalitsemise või kui tal äkki läheb süda pahaks,
siis võib kõike oodata.“

Samal seadusel põhineb ka kõigile tuntud „surma-
sõlm“ ja teised kõrgema pilotaaži vigurlennud. „Surma-
sõlme“ puhul mängib peaosa hoovõtt kõverteel ja moo-
tori osav juhtimine.

Puudujääk kaalus.

Keegi naljahammas ütles kord, et ta oskab ilma pet-
tusetä ostjaile valesti kaaluda. Saladus seisneb selles,
et kaupu osta ekvatoriaalsetes maades, müüa neid aga
kohtades, mis on poolustele lähemal. On ammu teada,
et ekvaatori läheduses kaaluvad kehad vähem kui poo-
luste läheduses; 1 kg, viiduna ekvaatorilt poolusele, saab
kaalus juurde 5 g. Tuleb ainult kasutada mitte tavalist

²⁰ Bostons, Atraktsioonid jalgrattal.

kaalu, vaid vedrukaalu ja seejuures niisugust, mis on valmistatud (graduateeritud) ekvaatoril, muidu ei saada mingit kasu: kaup läheb raskemaks ja niisama palju lähevad raskemaks ka vihid. Kui osta tonn kulda kusa-gil Peruus ja see maha müüa, ütleme, Islandil, siis võib ehk sellega veidi teenida — muidugi, kui vedu on tasuta.

Ma ei arva, et selletaoline tehing võiks kedagi rikas-tada, aga sisuliselt on naljahambal õigus: raskustung tõepoolest suureneb kaugenemisega ekvaatorist. See tuleneb sellest, et ekvaatoril asetsevad kehad liiguvad Maa pöörlemisel ümber telje suurimaid ringjooni mööda, aga ka sellest, et Maakera on poolustel lapi-kum.

Kaalu puudujäägi suurem osa on tingitud Maa pöör-lemisest; see põhjus vähendab keha kaalu ekvaatori lähedal $\frac{1}{210}$ osa võrra, võrreldes sama keha kaaluga poolustel.

Kaaluvahe kerge keha viimisel ühelt laiuselt teisele on väga väike; raskete kehade puhul võib see vahe aga saada üsna märgatavaks. Teie näiteks ei võinud arvata, et aurik, mis Moskvas kaalus 60 tonni, muutub saabu-misel Arhangelskisse 60 kg võrra raskemaks, aga saa-bumisel Odessasse niisama palju kergemaks. Igal aastal veetakse Teravmägede saartelt lõunapoolseisse sada-maisse kuni 300 000 tonni sütt. Kui see hulk oleks saadetud mõnda sadamasse ekvaatori läheduses, siis võiks täheldada kaalu puudujääki 1000 tonni, kui kauba vastuvõtmisel seda kaaluda Teravmägedelt toodud vedrukaaluga. Liinilaev, mis kaalus Arhangelskis 20 000 tonni, muutub saabumisel ekvatoriaalsetesse vetesse 60 tonni võrra kergemaks; see jääb aga tähelepandama-

tuks, sest ka kõik teised kehad muutuvad vastavalt kergemaks, kaasa arvatud muidugi ka vesi ookeanis²¹.

Kui Maakera pöörleks ümber oma telje kiiremini kui praegu, näiteks kui ööpäev kestaks mitte 24 tundi; vaid, ütleme, 4 tundi, siis kehade kaalu vahe poolusel ja ekvaatoril oleks palju silmapaistvam. Neljatunnise ööpäeva puhul näiteks kaaluks ekvaatoril viht, mis kaalub poolusel 1 kg, ainult 875 g. Umbes sellised on raskustungi tingimused Saturnil: selle planeedi pooluste läheduses kaaluvad kehad $\frac{1}{8}$ võrra oma kaalust enam kui ekvaatoril.

Et kesktõmbe kiirendus kasvab võrdeliselt kiiruse ruuduga, siis pole raske arvutada, kui suure pöörlemiskiiruse puhul see kiirendus Maa ekvaatoril suureneks 290 korda, s. o. muutuks niisama suureks kui raskustungi kiirendus. See toimuks kiiruse puhul, mis on 17 korda suurem praegusest (17×17 on peaaegu 290). Siis kuluks raskustung täielikult selleks, et hoida kehi ringliikumises, mitte lubades neil teest kõrvale kalduda. Säärases olukorras lakkavad kehad avaldamast rõhumist oma toetuspinnaile. Teiste sõnadega, kui Maa pöörleks 17 korda kiiremini, siis kaotaksid ekvaatoril olevad kehad täielikult oma kaalu! Saturnil toimuks see juba siis, kui kiirus oleks ainult $2\frac{1}{2}$ korda suurem praegusest.

²¹ Seepärast muuseas on laeva süvis ekvatoriaalsetes vetes niisama suur kui polaarvetes: laev muutub kergemaks, niisama palju muutub kergemaks aga ka laeva poolt väljasurutud vesi.



Neljas peatükk.

Kogumaailmne masside külgetõmme.

Kas tõmbetung on suur?

„Kui meil ei tuleks igal hetkel jälgida kehade lange-
mist, oleks see meile imestusväärseimaks nähtuseks,“
kirjutab kuulus prantsuse astronoom Arago. See on
harjumus, et kõikide maapealsete kehade külgetõmme
Maa poolt näib loomuliku ja tavalise nähtusena. Kui
aga meile öeldakse, et kehade vahel on ka vastas-
tikune külgetõmme, siis ei taha me seda uskuda,
sest igapäevases elus me midagi selletaolist ei tähelda.

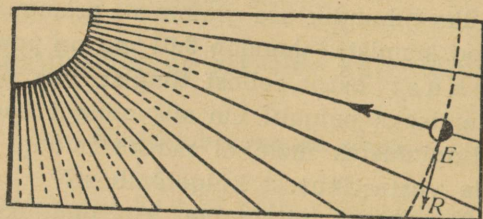
Tõepoolest, miks ei avaldu üldise külgetõmbe
seadus tavalises olukorras pidevalt meie ümber? Mis-
pärast meie ei näe, et lauad, arbuusid, inimesed tõm-
baksid üksteist külge? Seepärast, et väikeste kehade
puhul on see tung väga väike. Toon kujuka näite. Kaks
inimest, kes seisavad kahe meetri kaugusel teineteisest,
tõmbavad teineteist külge, aga see külgetõmbetung on
kaduvväike: keskmise raskusega inimeste puhul väik-
sem kui $\frac{1}{100}$ milligrammi. See tähendab, et need ini-

mesed tõmbavad teineteist külge niisama suure tungiga, millisega rõhub kaalukausile ühe sajatuhandiku grammi raskune viht; ainult teaduslike laboratooriumide väga tundlikud kaalud võivad näidata nii väikest raskust! Arusaadav, et niisugune tung pole võimeline nihutama meid paigalt; seda takistab meie jalataldade hõõrdumine vastu põrandat. Selleks et nihutada meid näiteks puitpõrandal (hõõrdumistegur on 0,3), on tarvis vähemalt 20-kg-st tungi. On naeruväärne võrrelda seda tungi kaduvväikese sajandikmilligrammise tungiga. Milligramm on üks tuhandik osa grammist; gramm on tuhandik osa kilogrammist; tähendab 0,01 mg on pool ühest miljardikust osast sellest tungist, mis oleks vaja meie nihutamiseks paigalt! On siis midagi imestada, et tavalistes tingimustes meie ei märka midagi maapealsete kehade vastastikusest külgetõmbest?

Asi oleks muidugi teissugune, kui puuduks hõõrdumine; siis ei oleks takistust ka vähimagi tõmbetungi mõjulepääsemiseks. Aga 0,01-mg-se tungi puhul oleks inimeste vastastikuse lähenemise kiirus täiesti tühine. Võib arvutada, et hõõrdumise puudumisel kaks inimest, kes seisavad teineteisest kahe meetri kaugusel, läheneksid teineteisele esimese tunni jooksul kolme senti meetri võrra; järgmise tunni jooksul läheneksid nad teineteisele veel 9 cm võrra; kolmanda tunni jooksul veel 15 cm võrra. Liikumine üha kiireneks, kuid inimesed puutuksid kokku mitte varem kui 5 tunni pärast.

Maapealsete kehade vastastikust külgetõmmet võib nähtavaks teha juhtudel, kus hõõrdumine ei saa olla takistuseks, s. o. kehade tasakaalu juhtudel. Keha, mis on riputatud niidi külge, allub Maa külgetõmbetungi mõjule, seepärast on niidil püstsuund; kui aga selle ülesriputatud keha läheduses on mingi massiivne keha,

mis esimest keha külge tõmbab, siis kaldub esimese keha niit püstsuunast kõrvale ja asetub kahe (Maa ja massiivse keha) külgetõmbetungi resultandi suunas. Sel- list loe kõrvalekaldumist suure mäe läheduses täheldas esimesena 1775. aastal Maskelyne Šotimaal; ta võrdles loe suunda tähistaeva pooluste suunaga ühel ja teisel pool sama mäe. Hiljem lubasid täiuslikumad katsed erilise ehitusega kaalude abil täpselt määrata Maa külgetõmbetungi.



Joonis 44. Päikese külgetõmme kõverdab Maa (E) tee. Inertsitõttu püüab Maakera liikuda mööda puutujat (ER).

Külgetõmbetung väikeste masside vahel on tühine. Masside suurenemisel ta kasvab võrdeliselt nende kor- rutisega. Kuid siin kalduvad paljud seda tungi suurenda- dama. Keegi teadlane, tõsi küll, mitte füüsik, vaid zoo- loog, püüdis mind veenda selles, et sageli vaadeldav külgetõmme merelaevade vahel on esile kutsutud üle- maailmse tõmbetungi poolt! Arvutuse teel pole raske näidata, et külgetõmbetungiga pole siin tegemist: kaks 25 000-tonnist liinilaeva 100 m kaugusel teineteisest tõmbuvad teineteise poole ainult 400-g-se tungiga. On arusaadav, et sellest tungist ei piisa, et anda laevadele vees isegi kõige tühisemat kiirendust. Laevade mõista-

tusliku külgetõmbe põhjuse me seletame hiljem, vedelike omadusi käsitlevas peatükis.

Tõmbetung, mis väikeste masside puhul on tühine, muutub väga tunduvaks, kui on tegemist taevakehade tohutute massidega. Nii isegi Neptuun, meist väga kaugel asetsev planeet, mis tiirleb aeglaselt peaaegu päikesesüsteemi piiril, saadab meile „tervisi“ sellega, et tõmbab Maad külge tungiga 200 miljardit tonni! Hoolimata kujutlematult suurest kaugusest, mis on meie ja Päikese vahel, hoiab Maad oma orbiidil ainult külgetõmbetung. Kui millegipärast kaoks Päikese külgetõmme, siis jätkaks Maa oma liikumist mööda puutujat oma orbiidile ja kaoks igaveseks maailmaruumi põhjatusse sügavusse.

Terasköis Maast Päikeseni.

Kujutlege, et Päikese vägev külgetõmme on millegipärast tõepoolest kadunud ja Maad ootab kurb saatus eemalduda igaveseks universumi külmadesse ja süngesse kõrbedesse. Võite kujutleda, kui teil on fantaasiat, et insenerid otsustasid asendada külgetõmbe nähtamatud ahelad materiaalsete sidemetega, s. o. otsustasid ühendada Maa Päikesega lihtsalt tugevate terasköite abil, mis peavad hoidma Maa ringteel tiirlemas ümber Päikese. Mis võikski olla tugevam terasest, mis talub tõmmet kuni 100 kg iga ruutmillimeetri kohta? Kujutlege tugevat terassammast läbimõõduga 5 m. Selle samba ristlõike suurus on ümmarguselt 20 000 000 mm²; järelikult võib säärast sammast purustada tung 2 000 000 000 kg ehk 2 000 000 tonni. Nüüd oletame, et niisugune samm on tõmmatud Maalt kuni Päikeseni,

ühendades nii need kaks taevakeha. Kas teate, kuipalju selliseid tugevaid sambaid läheks tarvis, et hoida Maad oma orbiidil? Kaks miljon miljonit! Selleks et paremini kujutleda seda terassammaste metsa, millega kõik mandrid ja mered oleksid tihedalt täis külvatud, ütlen, et nende ühtlase jaotuse puhul Päikese poole pööratud Maakera poolel oleksid vahed naabersammaste vahel veidi suuremad kui sammaste laiused. Kujutledes tungi, mis selle terassammaste metsa katki tõmbaks, saate ka kujutluse Maa ja Päikese vahel mõjuva nähtamatu külgetõmbe-tungi tohutust suurusest.

Ja kogu see tohutu tung ilmneb ainult selles, et kõverdades Maa teed, ta sunnib iga sekundi jooksul Maad 3 mm võrra kõrvale kalduma puutuja suunast; tänu sellele muutubki meie planeedi tee kinniseks ellipsiks. Kas pole imelik: selleks et nihutada Maad igas sekundis 3 mm, s. o. ühe trükirea laiuse võrra, läheb tarvis sellist tohutut tungi! See näitab ainult, kui hiiglasuur on Maakera mass; isegi selline määratu suur tung nihutab teda nii imevähe.

Kas saab ennast varjata raskustungi eest?

Asja fantaseerisime sellest, mis sünniks siis, kui vastastikune külgetõmme Maa ja Päikese vahel kaoks: vabanenud külgetõmbe nähtamatuist ahelaist, kihutaks Maa maailmaruumi lõputusse avarusse. Nüüd mõtisklegem veidi teisel teemal: mis juhtuks kõigi maapealsete esemetega, kui kaoks raskustung? Mitte midagi ei seoks neid meie planeediga ja vähimigi tõuge viiks nad Maakeralt ära maailmaruumi. Muide, poleks vaja tõuget oodatagi: meie planeedi pöörlemine paiskaks sellelt minema kõik, mis pole seotud selle pinnaga.

Inglise kirjanik Wells kasutas seda laadi mõtet, et kirjeldada romaanis fantastilist reisu Kuule. Selles teoses („Esimesed inimesed Kuul“) näitab teravmeelne kirjanik väga originaalset viisi reisida planeedilt planeedile. Ja nimelt: tema romaani õpetatud kangelane leiutas erilise aine, millel on imestusväärne omadus olla läbitungimatu raskustungile. Kui katta mõni keha alt-poolt selle ainega, siis see keha kaotab Maa külgetõmbe ja temasse jäävad mõjuma ainult teiste taevakehade külgetõmbetungid. Seda fantastilist ainet nimetas Wells „kevoriidiks“, selle leiutaja Kewor'i nime järgi.

„Meie teame,“ kirjutab kirjanik, „et kogumaailmse tõmbetungi, s. o. raskustungi suhtes on kõik kehad läbitungitavad. Te võite püstitada tõkkeid, mis takistavad valguskiirte juurdepääsu kehadele, metallplaatide abil võite tõkestada raadiolainete ligipääsu, kuid Päikese külgetõmbe või raskustungi eest ei kaitse keha mingisugused tõkked. Mispärast õigupoolest pole looduses taolisi tõkkeid raskustungi jaoks, on raske öelda. Siiski Kewor ei näinud põhjust, miks ei võiks olla sellist ainet, mis oleks läbitungimatu raskustungile; ta pidas ennast võimeliseks looma sellist raskustungile läbitungimatut ainet.

Igaüks, kellel on kübetki kujutlusvõimet, võib endale kujutleda neid erakordseid võimalusi, mida toob endaga kaasa sellise aine leiutamine. Kui näiteks on tarvis tõsta mingit koormist, siis tuleb selle koormise alla panna ainult leht mainitud ainet — ja raskust võib tõsta kui õlekõrt.“

Omades seda imeväärset ainet ehitavad romaani tegelased taevalaeva, milles nad sooritavad julge lennu Kuule. Sõiduki ehitus on väga lihtne; temas pole mingit lii-

kumapanevat mehhanismi, sest ta liigub taevakehade külgetõmbetungi mõjul.

Siin selle fantastilise sõiduki kirjeldus:

„Kujutlege kerakujulist mürsku, mis on küllalt ruumikas, et mahutada kaht inimest ja nende pagasit. Mürsul on kaks kesta, välimine ja seesmine; seesmine kest on paksust klaasist, välimine terasest. Kaasa võib võtta tihendatud õhu tagavara, kontsentreeritud toitu, aparaadid vee destillatsiooniks jaoks jne. Teraskeha on väljastpoolt üleni kaetud „kevoriidi“-kihiga. Seesmine kiht on üleni klaasist, välja arvatud luuk; teraskest aga koosneb üksikuist osadest, millest igaühte võib kokku rullida nagu aknaeesriiet. See on kergesti teostatav eriliste vedrude abil; eesriideid võib alla lasta ja kokku rullida elektrivoolu abil, mida juhitakse plaatinast juhtmete kaudu klaaskestas. Need on aga juba tehnilised üksikasjad. Peaasi on see, et riista välimine kest koosneks nagu akendest ja „kevoriidist“ eesriietest. Kui kõik eesriided on alla lastud, siis ei tungi keraesse ei valgus ega üldse mingisugune kiirgusenergia, ka mitte kogu maailmne tõmbetung. Kuid kujutlegem, et üks eesriie on tõstetud; siis iga massiivne keha, mis juhuslikult asetseb kauguses selle akna vastas, tõmbab kera külge. Praktiliselt on meil võimalus reisida maailmaruumis selles suunas, milles soovime, lastes mõjuda kord ühel, kord teisel taevakehal.“

Kuidas Wells'i kangelasid lendasid Kuule.

Huvitavalt on kirjeldatud kirjaniku poolt just planeetidevahelise sõiduki teeasumise hetk. Õhuke „kevoriidi“-kiht, mis katab riista välispinda, teeb selle nagu täiesti kaalutuks. Teile on arusaadav, et kaalutu keha ei

saa lebada rahulikult õhuookeani põhjas; temaga peab toimuma sama, mis järve põhja asetatud korgiga: kork tõuseb kiiresti veepinnale. Samuti peab ka kaalutu mürsk, mida pealegi lükkab eemale Maakera pöörlemise inert, lendama kiiresti üles ja, jõudes atmosfääri äärmise piirini, lendama juba vabalt maailmaruumis. Nii romaani kangelased lendasidki. Sattunud maailmaruumi, allutasid nad, avades ja sulgedes klappe, oma lennuriista kord Päikese, kord Maa ja siis jälle Kuu külgetõmbele ja jõudsid niiviisi Maa kaaslaseni. Lõpuks üks reisijaist tuli samal viisil Maa peale tagasi.

Me ei peatu siin pikemalt Wells'i idee sisulisel arutlusel; seda olen teinud mujal²², kus selgitasin ka sellise idee alusetust. Uskugem minutiks teravmeelset kirjanikku ja järgnegem tema kangelastele Kuu peale.

Pool tundi Kuul.

Vaatame, kuidas tundsid end Wells'i romaani tegelased, sattudes maailma, kus külgetõmbetung on nõrgem kui Maa peal.

Siin ongi esitatud need huvitavad leheküljed²³ romaanist „Esimesed inimesed Kuul“. Jutustab üks Maa elanikke, kes äsja on saabunud Kuu peale.

„Ma hakkasin mürsu kaant lahti krüvima. Olles põlvili sirutasin luugist välja: all, kolme jala kaugusel minu peast, oli Kuu puutumatu lumi.

Katnud end vaibaga, istus Kewor luugi äärelle ja hakkas ettevaatlikult jalgu alla sirutama. Laskunud

²² „Planeetidevahelised reisud.“

²³ Väljavõte on toodud tähtsusetute lühendustega.

poole jala kauguseni pinnasest, libises ta pärast minuti-
list kõhklemist Kuu-maailma pinnale.

Ma jälgisin teda läbi kera klaaskesta. Astunud paar
sammu, seisatus ta minutiks, vaadates ümberringi, siis
otsustas ja — hüppas ettepoole.

Klaas moonutas tema liikumist, kuid mulle näis siiski,
et hüpe oli tõepoolest liiga hoogne. Kewor oli kohe
6—10 meetri kaugusel minust. Seistes kaljul ta andis
mulle mingeid märke; võimalik, et ta ka hüüdis, aga
hääli ei jõudnud minuni... Kuid kuidas sooritas ta oma
hüppe?

Kohmetunult ronisin läbi luugi ja laskusin alla, olin
sattunud lumise lohu äärel. Astunud sammude edasi,
hüppasin.

Ma tundsin, et lendan ja peagi jõudsin selle kalju
lähedale, millel seisis mind ootav Kewor; haarates kal-
just kinni jäin ma rippuma suures imestuses.

Kewor, kallutades end ettepoole, hõikas kiunuva
häälega, et oleksin ettevaatlikum.

Ma olin unustanud, et Kuu peal on külgetõmbetung
kuus korda nõrgem kui Maal. Tegelikkus ise tuletas
seda mulle meelde.

Ettevaatlikult tagasi hoides oma liigutusi, ronisin
kalju tippu, ja astudes nagu reumahaige, jõudsin Kewor'i
kõrvale päikese kätte. Meie mürsk lebas sulaval lume-
hangel jalga kolmkümmend meist eemal.

„Vaadake,“ ütlesin pöördudes Kewor'i poole.

Kuid Kewor oli kadunud.

Seisin hetke rabatuna sellest ootamatusest, siis, et
vaadata üle kalju ääre, astusin kiiresti ettepoole, olles
täiesti unustanud, et olen Kuul. Tehtud pingutuse taga-
järjel oleksin liikunud Maa peal ühe meetri võrra edasi;

Kuu peal aga liikusin edasi 6 meetrit ja osutusin viie meetri kaugusel kalju äärest.

Ma tundsin seda hõljumise tunnet ruumis, nagu seda võib läbi elada unes, kui näed, et kukud kuristikku. Kukkudes Maa peal langeb inimene esimese sekundi jooksul 5 meetrit, Kuu peal läbib ta aga langemisel esimese sekundi jooksul 80 cm. Seepärast ma hõljusin sujuvalt sügavusse meetrit üheksa. Langemine näis mulle kestvana; see vältas umbes kolm sekundit. Lennanud läbi õhu, ma laskusin sujuvalt kui udusulg põlvedeni lumehange oru kaljuses põhjas.

„Kewor!“ hüüdsin ma, vaadates ringi, kuid kusagil polnud jälgegi temast.

„Kewor!“ hüüdsin ma veel valjemini.

Ja äkki nägin teda: ta naeris ja tegi mulle märke, seistes paljal kaljul meetrit kaksikümmend minust eemal. Ma ei kuulnud tema sõnu, kuid sain aru tema žestidest: ta kutsus mind enda juurde.

Ma kõhklesin: vahemaa näis mulle liiga suurena. Kuid peagi taipasin, et kui Kewor'il õnnestus säärane hüpe, siis õnnestub see kindlasti ka minul.

Astudes tagasi ühe sammu võtsin hoogu ja hüppasin. Tõusin noolena õhku ja mulle näis, et ma enam kunagi ei lasku alla. See oli fantastiline lend, imeväärne kui unenäos, samal ajal aga ka kütkestavalt meeldiv.

Hüpe osutus liiga tugevaks: ma lendasin üle Kewor'i pea.“

Tulistamine Kuu peal.

Järgmine episood, mis on võetud silmapaistva nõukogude leiduri K. E. Tsiolkovski jutustusest „Kuu peal“, lubab meile selgitada liikumise tingimusi raskustungi

mõjul. Atmosfäär, tehes takistusi liikumisele, varjab Maa peal meie eest vaba langemise lihtsad seadused ja teeb need täiendavate tingimuste tõttu keeruliseks. Kuu peal puudub õhk täiesti. Kuu oleks meile suurepäraseks laboratooriumiks kehade vaba langemise uurimisel, kui meil ainult oleks võimalus sinna pääseda ja seal teha teaduslikke uurimisi.

Asume nüüd jutustuse episoodi juurde. Kaks tegelast järgnevalt tsiteeritud väljavõttest asetsevad Kuul ja soovivad uurida, kuidas liiguvad seal püssist väljalastud kuulid.

„Kuid kas siin püssirohi üldse töötab?“

„Lõhkeained peavad avaldama õhutühjas ruumis isegi suuremat mõju kui õhus, sest viimane ainult takistab plahvatusel tekkinud gaaside paisumist; mis puutub hapnikusse, siis pole tema järele tarvidust, sest põlemiseks tarvisminev hapnik on lõhkeainetes olemas.“

„Hoiame püssi vertikaalselt, et pärast lasku võiks kuuli otsida lähedusest...“

Tuli, nõrk heli ²⁴, pinnase kerge värisemine.

„Kus on tropp? Ta peaks olema siin läheduses.“

„Tropp lendas kuuliga kaasa, ja vaevalt jääb ta kuulist maha, sest ainult Maa atmosfäär takistab teda liikumast koos tinaga; siin aga langeb ja tõuseb udusulgu niisama hoogsalt nagu kivigi. Võta sina sulg, mis padjast välja paistab, mina aga võtan malmist kerakese. Sa võid visata oma udusulge ja tabada isegi kauget märki niisama täpselt nagu mina kerakesega. Ma võin väikese raskustungi tõttu visata kera meetrit nelisada; sina saad oma udusulge visata niisama kaugele; tõsi küll, sa ei

²⁴ Heli, mis on edasi antud pinnase ja inimeste kehade kaudu, mitte aga õhu kaudu, mis puudub Kuul.

surma sellega kedagi ja viskel isegi ei tunne, et oled midagi visanud. Heidame oma viskekehad täiest jõust — need pole ju väga erinevad — ühte märki: sinna punasesse graniiti...“

Udusulg, nagu pöörisesest kantuna, jõudis malmist kera-kesest veidi ette.

„Mis see siis tähendab? Lasu algusest on juba möödu-
nud kolm minutit, aga kuuli pole ikkagi veel!“

„Oota kaks minutit, ja ta tuleb kindlasti tagasi.“

Tõepoolest, määratud aja möödumisel tunneme pinnase kerget värisemist ja näeme mitte kaugel meist hüppavat troppi.

„Küll lendas kuul kaua! Millise kõrguseni pidi ta tõusma?“

„Kilomeetrit seitsekümmend. Selle kõrguse annab väike raskus ja õhutakistuse puudumine.““

Kontrollime. Kui oletada, et kuuli kiirus püssirauast väljalennul on võrdlemisi tagasihoidlik, 500 m sekundis (s. o. $1\frac{1}{2}$ korda väiksem kui moodsatel relvadel tege-likult), siis Maa peal atmosfääri puudu-
misel oleks tõusu kõrgus olnud:

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{500^2}{2 \cdot 10} = 12\,500 \text{ m,}$$

s. o. 12,5 km. Kuu peal aga, kus raskuskiirendus on 6 korda väiksem, tuleb g asemel võtta $\frac{10}{6}$; kuuli poolt saavutatud kõrgus peab seega olema

$$12,5 \cdot 6 = 75 \text{ km.}$$

Põhjatus kaevus.

Sellest, mis toimub meie planeedi sügavas maapõues, on väga vähe teada. Uhed arvavad, et 100 km paksuse kõva koore all algab tulivedel mass; teised jälle oletat-

vad, et Maakera on kõvastunud kuni keskpunktini. Küsimust on raske lahendada: pole ju sügavaim šahtki sügavam kui $2\frac{1}{2}$ km ²⁵, aga Maakera raadius on 6 400 km. Kui oleks võimalik puurida kaev, mis läbistaks meie planeeti piki diameetrit, siis oleksid taolised küsimused muidugi lahendatud. Praegusaegne tehnika on selliste ettevõtete teostamise võimalusest veel kaugel, kuigi kõigi maakoosesse tehtud puuraukude sügavuste summa ületab pikkuselt meie planeedi läbimõõdu.



Joonis 45. Kui Maakera läbi puurida diameetrit mööda...

Maakera läbistava tunneli kaevamisest unistasid juba XVIII saj. kuulus matemaatik Maupertuis ja filosoof Voltaire. Sellele projekte, tõsi küll, tagasihoidlikumas mõõdus pööras tähelepanu surnud prantsuse astronoom Flammarion; meie reprodutseerime siin tema sellele teemale pühendatud artikli tiiteljoonise (joon. 45).

²⁵ Niisuguse sügavusega on šaht, mis kaevati 1932. a. Lõuna-Aafrikas, Village Dipp'i kullakaevanduses. Sügavuse poolest (umbes 2300 m) teisel kohal maailmas on Brasiilia Morro Velho kullakaevandus, millest räägime veel VI peatükis. Nõukogude Liidu kõige sügavam šaht — „Novaja Smoljanka“ Donbassis — on 900 m sügav.

Veel sügavamale maakoosesse tungib puur; sügavaim naftapuuraug on Texas (USA): siin ulatub sügavus 3835 meetrini.

Tänini pole midagi selletaolist muidugi veel tehtud; kasutame aga seda kujutletavat põhjatut kaevu, et arutada üht huvitavat ülesannet. Kuidas te arvate, mis toimuks teiega, kui kukuksite säärasesse põhjatusse kaevu (ajutiselt jätame õhutakistuse kõrvale)? Surnuks kukkuda vastu põhja pole võimalik, sest põhja pole olemas, kuid kus te peatuksite?

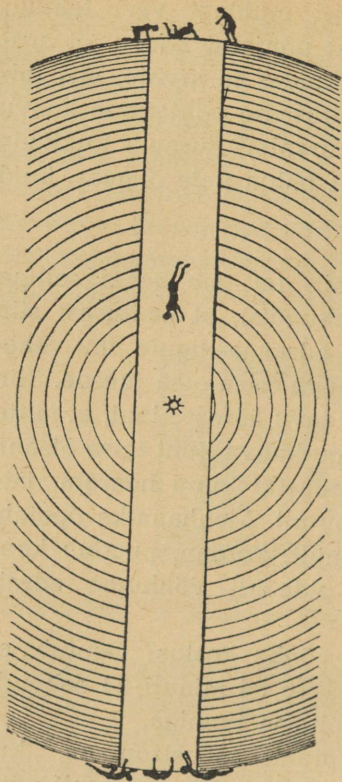
Maa keskpunktis? Ei.

Kui te jõuate keskpunkti, siis on teie kehal selline tohutu kiirus (umbes 8 km sekundis), et peatusest siin ei või juttugi olla. Te kihutate edasi ja liigute üha vähe-
neva kiirusega, kuni jõuate kaevu teise otsa juurde. Siin tuleb teil tugevamalt haarata kaevu äärest kinni, et mitte teha uuesti jalutuskäik läbi kogu kaevu kuni teise otsani. Kui ka siin ei õnnestu teil millestki kinni haarata, jätkate oma liikumist kaevus lõputult. Mehhaanika õpetab, et selliseil tingimustel (kui ainult, kordan, puudub kaevus õhutakistus) peab keha pidevalt võnkuma edasi-tagasi ²⁶.

Kui suur oleks ühe sellise võnke kestus? Osutub, et kogu tee sinna ja tagasi läbitakse 84 minuti 24 sekundi jooksul, s. o. ümmarguselt poolteise tunniga.

„Nii oleks olnud,“ jätkab prantsuse astronoom, „kui tunnel oleks kaevatud piki Maakera telge pooluselt pooluseni. Tarvitseb aga ainult tunneli lähtekoht üle viia mõnele teisele laiusele, Euroopa, Aasia või Aafrika mandrile, kui tekib vajadus arvestada ka Maa pöörlemist. On teada, et maapinna iga punkt ekvaatoril läbib 465 m sekundis, Pariisi laiusel aga 300 m sekundis. Et ringliikumise kiirus *s u u r e n e b*, kaugenedes pöörlemis-

²⁶ Õhutakistuse olemasolu puhul võnkumised aegamööda nõrgenevad ja asi lõpeb sellega, et inimene peatub lõpuks Maa keskpunktis.



Joonis 46. Kukkudes Maakera keskpunkti läbivasse kaevu, hakkab keha peatumatult võnkuma ühest kaevu otsast teiseni, tehes ühe täisvõnke 1 tunni 24 minuti jooksul.

pinna kõrgusel, võiks kaevus lendavale inimesele käsi vastu sirutada ava juurde ilmumise hetkel, mil tema kii-

teljest, siis näiteks tina- kuul, visatuna kaevu, ei lange püstjoont mööda, vaid kaldub veidi kõrvale ida suunas. Kui kaevata põhjatu kaev ekvaatoril, siis peab selle laius olema üsna suur või peab kaev tugevasti kaldu tehtud olema, sest keha, mis hakkaks langema Maa pinnalt, kanduks kaugemale kõrvale ida suunas.

Kui kaevu üks ava oleks Lõuna-Ameerika mõnel kiltmaal, oletame kahekilomeetrilisel kõrgusel, ja vastupidine ava oleks kusagil merepinna kõrgusel, siis inimene, kes ettevaatamatusest kukuks kaevu Ameerika-poolsesse avasse, jõuaks kaevu vastupidisesse otsa niisuguse kiirusega, et lendaks kaevust välja kahe kilomeetri kõrguseni.

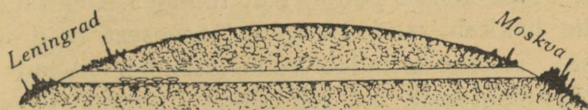
Kui aga kaevu mõlemad avad oleksid mere-

rus võrdub nulliga. Eelmisel juhul aga tuleks, vastupidi, juba ettevaatusest kõrvale hoiduda liiga hoogsast reisi-
jast!"

Muinasjutuline tee.

Aastat kolmkümmend tagasi ilmus Leningradis brošüür tiitli all „Isesõidutav allmaaraudtee St. Peterburgi ja Moskva vahel. Fantastiline romaan esialgu kolmes osas, kuid siiski veel lõpetamata“.

Tolle brošüüri autor A. A. Rodnõh esitab teravmeelse projekti, millega on huvitav tutvuda füüsikaliste paradokside armastajail.



Joonis 47. Kui ehitada tunnel Leningradi ja Moskva vahel, siis kihutaksid selles rongid sinna ja tagasi oma raskuse mõjul, ilma veduriteta.

Projekt seisneb „ei enam ega vähem kui 600 km pikuse tunneli ehitamises meie mõlema pealinna vahel, täiesti sirget maa-alust joont mööda. Sel viisil tekiks esmakordselt inimsoole võimalus liikuda sirget mööda, ja mitte käia kõveraid teid mööda, nagu see on toimunud tänini“. (Autor tahab öelda, et kõik meie teed, jälgides maapinna kõverust, on kaarjad, kuna projekteeritud tunnel läheks sirget, kõõlu mööda.)

Säärasel tunnelil, kui seda olnuks võimalik ehitada, oleks olnud imeväärne omadus, mida pole ühelgi teisel

maailmas. See omadus seisneb selles, et mistahes sõiduk selletaolises tunnelis peaks liikuma iseendast. Meenutame maa-alust kaevu, mis on Maakerast läbi puuritud. Ka Leningrad-Moskva tunnel on selline kaev, ainult et see oleks ehitatud mitte diameetrit, vaid kõõlu mööda. Vaadates joonisele 47, paistab, tõsi küll, et tunnel on horisontaalne ja rongil puudub põhjus selles liikumiseks raskuse mõjul. See on aga ainult silmapete: tõmmake mõttes raadiused tunneli otstele (raadiuse suund on püstsuund); teie näete, et tunnel pole kaevatud täisnurgi püstsuunaga, s. o. ta pole horisontaalne, vaid kaldu.

Niisuguses kaldu ehitatud kaevus peab iga keha raskustungi mõjul võnkuma sinna ja tagasi, olles kogu aeg surutud vastu kaevu põhja. Kui tunnelisse ehitada rööpad, siis hakkab raudteevagun iseenesest neid mööda veerema: raskus asendab veduri tõmbe. Algul liigub rong väga aeglaselt. Iga sekundiga suureneb iseenesest liikuva rongi kiirus; varsti tõuseb kiirus kujutletamatu suuruseni, nii et õhk tunnelis hakkab tunduvalt liikumist takistama. Kuid unustame ajutiseks selle ebameeldiva takistuse, mis põhjustab nii paljude ahvatlevate kavade teostamata jäämist, ja vaatame, mis toimub rongiga edasi. Jõudnud tunneli keskkohani, on rongil nii tohutu kiirus — mitu korda suurem kahurimürsu kiirusest —, et ta hoo arvel jõuab peaaegu tunneli teise otsani. Kui puuduks hõõrdumine ja kui puuduks see „peaaegu“, siis oleks rong ilma vedurita liikunud Leningradist Moskvasse. Ühesuunalise sõidu kestus, nagu näitab arvutus, on niisama suur kui kehade langemisel läbi tunneli, mis on kaevatud diameetrit mööda: 42 min. 12 sek. Imelikul viisil ei olene sõidu kestus tunneli pikkusest; reisud tun-

nelis Moskvast Leningradi, Moskvast Vladivostokki või Moskvast Melbourne'i kestaksid võrdse aja ²⁷.

Sama korduks iga teise sõidukiga: dresiiniga, tõllaga, autoga jne. Tõesti muinasjutuline tee, mis ise liikumatuks jäädes sõidutab endal ühest otsast teise kõik sõidukid ja seejuures kujutletamatu kiirusega!

[Need, keda huvitab selle ülesande matemaatiline külg, võivad leida selle ülesande üksikasjalise arutluse minu artiklis, mis on trükitud ajakirjas „Matemaatika ja füüsika koolis“, 1936, Nr. 3, lk. 106—107 (vene keeles)].

Kuidas ehitatakse tunnelid.

Vaadake joonist 48, mis kujutab tunnelite ehitamise kolme viisi ja öelge, millise puhul neist on tunnel horisontaalne.

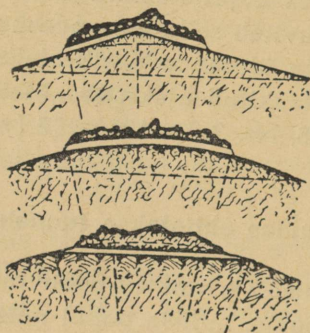
Ei ülemine ega alumine, vaid keskmine, mis läheb kaart mööda; see kaar moodustab kõigis punktides täisnurgad püstjoontega (ehk Maakera raadiustega). See ongi horisontaalne tunnel, tema kallak vastab täielikult maapinna kõverusele.

Suured tunnelid ehitatakse tavaliselt nii, nagu on näidatud joonisel 48 ülal: tunneli otspunktidest maapinnale tõmmatud puutujaid mööda. Selline tunnel algul veidi t õ u s e b, siis l a n g e b. Tal on see hea omadus, et vesi ei jää temas seisma, vaid voolab tunneli otstesse.

Kui tunnel oleks ehitatud rangelt horisontaalselt, siis suurema pikkuse puhul oleks tal kaare kuju. Et vesi on igas punktis tasakaalus, siis pole põhjust selle väljavoo-

²⁷ Võib tõestada veel üht teist, mitte vähem huvitavat lauset põhjatu kaevu kohta: võnke kestus ei olene planeedi suurusest, vaid tema tihedusest.

lamiseks. Kui niisugune tunnel on pikem kui 15 km (Simploni tunneli pikkus on 20 km), siis seistes ühe otsa juures, ei ole näha teist otsa: valguskiir pörkab vastu lage, sest tunneli keskkohast on 4 meetrit kõrgem otsest.



Joonis 48. Kolm viisi tunneli ehitamiseks läbi mägede.

Lõpuks, kui ehitada tunnel sirget joont mööda, siis on tal otsest keskkohani kerge kalle allapoole. Vesi, selle asemel et välja voolata, koguneb tunneli keskmisse kõige madalamasse kohta. Seistes tunneli ühe otsa juures on näha tema teine ots. Juurdelisatud joonised selgitavad öeldut²⁸.

²⁸ Esitatust järeldeb muuseas, et kõik rõhtjooned on kõverad; sirgeid rõhtjooni ei saa olla. Püstjooned võivad aga olla ainult sirged.



Viies peatükk.

Reis kahurikuulis.

Lõpetame oma vestlused liikumisseadustest ja külgetõmbetungist sellega, et võtame arutlusele selle fantastilise reisu Kuule, millest nii huvitavalt kirjutab Jules Verne romaanides „Maakeralt Kuule“ ja „Ümber Kuu“²⁹. Teil muidugi on meeles, et Baltimore Kahuriklubi liikmed, olles jäänud tegevuseta pärast Põhja-Ameerika sõja lõppu, otsustasid valada tohutu kahuri, laadida see hiiglasuure õõnsa mürsuga, millesse on paigutatud reisijad, ja lasta mürsk-vagun reisijatega Kuule.

Kas see mõte on fantastiline? Kõigepealt aga: kas on võimalik anda kehale nii suurt kiirust, et see jäädavalt lahkuks Maa pinnalt?

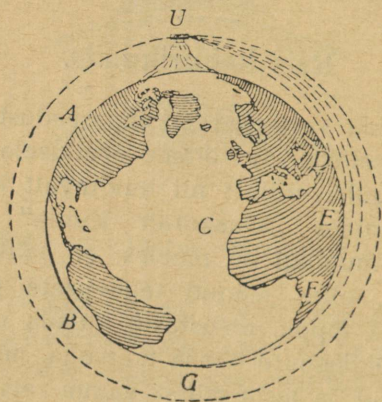
Newtoni mägi.

Anname sõna geniaalsele Newtonile, kes avastas seaduse kogumaailmest tõmbetungist. Oma „Füüsika mate-

²⁹ Venekeelse tõlke (Mark Vovtšek) pealkiri on „Kahurist Kuule“. Raamat ilmus J. Perelmani toimetusel 1936. a. Detizdat'i kirjastusel.

maatilistes alustes" kirjutab ta (toome selle koha ker-
gema arusaamise huvides vabas tõlkes):

„Visatud kivi kaldub raskustungi mõjul kõrvale sirg-
joonelisest teest ja langeb Maa peale, liikudes mööda
kõverjoont. Kui visata kivi suurema kiirusega, siis ta
lendab kaugemale; seetõttu võib juhtuda, et kivi läbib
kaare, mille pikkus on kümme, sada, tuhat miili ja
lõpuks lahkub Maa piiridest ning ei pöördu sellele enam
tagasi. Olgu AFB (joon. 49) Maa pind, C tema kesk-



Joonis 49. Kuidas peavad langema kivid, mis on visatud mäe-
tipult rõhtsuunas tohutu kiirusega.

punkt, UD, UE ja UF aga kõverjooned, mida mööda lii-
gub keha, visatuna väga kõrgelt mäelt horisontaalselt,
üha suureneva kiirusega. Meie ei arvesta atmosfääri
vastumõju, s. o. me oletame, et see täielikult puudub.
Väiksema algkiiruse puhul liigub keha mööda kõve-
rat UD, suurema kiiruse puhul mööda UE ja veel suure-
mate kiiruste puhul UF, UG mööda. Teatava kiiruse
puhul tuleb keha, teinud ringi ümber Maa, tagasi mäe

tippu, kust ta oma liikumist algas. Et tagasitulekul oma lähtekohta pole keha kiirus, võrreldes algkiirusega, vähenenud, siis ta jätkab oma liikumist sama kõverat mööda.“

Kui sellel kujutletaval mäel oleks kahur, siis sellest kahurist väljalastud kuul ei kukuks teatava kiiruse puhul Maa peale tagasi, vaid hakkaks vahetpidamatult tiirlema ümber Maakera. Küllalt lihtsa arvutusega³⁰ pole raske näidata, et see kiirus peab olema umbes 8 km sekundis. Teiste sõnadega, kuul, mis on lastud kahurist välja kiirusega 8 km sekundis, lahkub jäädavalt Maakera pinnalt ja muutub meie planeedi kaasla-seks. Ta kihutab 17 korda kiiremini kui mõni ekvaatori punkt ja teeb ühe tiiru ümber Maa 1 tunni 24 minuti jooksul. Kui aga kuulile anda suurem kiirus, siis hakkab ta tiirlema ümber Maa juba mitte ringi mööda, vaid enam või vähem pikemaks venitatud ellipsit mööda, kaugenedes seejuures Maast tohutu kauguseni. Veel suurema algkiiruse puhul siirdub kuul meie planeedilt maailmaruumi. See toimub siis, kui algkiirus on umbes 11 km sekundis (kõik need arutlused on tehtud eeldusel, et kuul liigub õhutihjases ruumis, mitte aga atmosfääris).

Niisiis, kui puuduks atmosfäär, siis mõte — visata Kuule mingi maapealne keha — ei sisaldaks midagi võimalut. Vaatame nüüd, kas oleks olnud võimalik seda teostada nende vahenditega, milledest räägib Jules Verne. Nüüdisaegsed kahurid võivad anda mürskudele kiirust mitte rohkem kui kaks kilomeetrit esimeses sekundis. See kiirus on viis korda väiksem tollest kiirusest, mida oleks tarvis, et lennata Kuule. Romaani tege-

³⁰ Vt. „Huvitav füüsika“ I raamat, II peatükk.

lased arvasid, et kui nad ehitavad hiiglakahuri ja laevad selle suure lõhkeainete hulgaga, siis neil õnnestub saavutada kiirus, mis on küllaldane selleks, et saata mürsk Kuule.

Fantastiline kahur.

Ja vaata — Kahuriklubi liikmed valavadki hiiglakahuri, pikkuselt veerand kilomeetrit, mis on kaevatud püsti maasse. Ehitatakse vastav tohtu suurusega mürsk, mille sisemus on kajutiks reisijaile. Mürsu raskus on 8 tonni. Kahur laetakse 160 tonni püroksüüliniga, plahvatuse tulemusena saavutatakse kiirus 16 km sekundis; õhu hõõrdumise tagajärjel see kiirus aga väheneb kuni 11 km-ni sekundis. Sattunud väljapoole atmosfääri, on siis Jules Verne'i mürsul kiirust küllalt, et jõuda Kuuni.

Nii kirjutatakse romaanis. Mida aga ütleb selle kohta füüsika?

Jules Verne'i projekti nõrk koht pole mitte seal, kuhu tavaliselt on suunatud lugeja kahtlus. Esiteks võib tõestada (ma teen seda raamatus „Planeetidevahelised reisid“), et lõhkeainega laetavad kahurid ei anna mürskudele suuremat kiirust kui 3 kilomeetrit sekundis.

Peale selle, Jules Verne ei arvestanud õhutakistust, mis säärase suure kiiruse puhul peab olema väga suur ja mis seetõttu muudab täielikult lennupilti. Kuid peale kõige selle võib tuua tõsiseid vastuväiteid projektile kahurikuuli lennu kohta Kuule.

Peakartuse kutsub esile reisijate eneste saatus. Ärge arvake, et neid varitseb oht lennu ajal Maalt Kuule. Kui neil õnnestuks jääda ellu selle hetkeni, mil mürsk lahku kahuritorust, siis edasise reisu ajal pole neil karta

enam midagi. Tohtu kiirus, millega kihutavad reisijad oma vagunis läbi maailmaruumi, on neile niisama ohutu, kui seda on meile, Maa elanikele, see veel suurem kiirus, millega Maa kihutab ümber Päikese.

Raske kübar.

Kõige ohtlikum hetk meie reisijaile on need paar sajandikku sekundit, mille kestel vagun-mürsk liigub kahuritoru sees. Selle kaduv-väikese aja jooksul peab ometi reisijate kiirus kahuritorus suurenema nullist kuni 16 km-ni sekundis. Mitte asjata ei oodanud reisijad romaanis hirmuga laskemomenti. Ja Barbicanil oli täiesti õigus, kui ta väitis, et hetk, millal mürsk hakkab liikuma, on reisijaile niisama kardetav, kui see oleks sel puhul, kui reisijad ei asuks mürsu sees, vaid mürsu ees. Tõepoolest: lasu hetkel lööb mürsu alumine sein alt vastu reisijaid niisama tugevasti, kui seda teeb mürsk iga kehaga, mis satub tema ette. Romaani tegelased suhtusid sellesse ohtu liiga kergemeelselt, arvates, et halvimal juhul tuleb neil leppida vere juurdevooluga pähe...

Asi on tõsisem. Kahuritorus liigub mürsk kiirenevalt: plahvatusel tekkinud gaaside pideval surveal mürsu kiirus üha tõuseb. Sekundi kaduv-väikese osa jooksul suureneb kiirus nullist kuni 16 km-ni sekundis. Oletame lihtsuse mõttes, et kiiruse suurenemine on ühtlane; siis, et kiirust suurendada selle äärmiselt väikese ajavahe- miku jooksul nullist kuni 16 km-ni sekundis, peab kiirendus olema umbes 600 km sekundis sekundi jooksul (arvutused on toodud kaugemal, lk. 110).

Selle arvu saatuslik tähendus selgub meile täiesti, kui meenutame, et tavaline raskuskiirendus on ainult 10 m

sekundis sekundi jooksul³¹. Siit järeldub, et lasu hetkel iga ese mürsu sees avaldaks mürsu põhjale rõhumist, mis oleks 60 000 korda suurem selle eseme raskusest. Teiste sõnadega: reisijad tunneksid, et nad nagu oleksid raskemaks läinud kümneid tuhandeid kordi! Säärase tohutu raskuse mõjul oleksid nad silmapilkselt kokku muljutud. Ainuüksi Barbicani torukübar kaaluks lasu hetkel mitte vähem kui 15 tonni (lastitud vaguni raskus); sellest kübarast on rohkem kui küllalt, et selle omanikku surnuks muljuda.

Romaanis on, tõsi küll, kirjutatud abinõudest pörke vähendamiseks: mürsk on varustatud vedrupuhvritega ja kahekordse põhjaga, mille vahel on vesi. Seetõttu pörke kestus veidi pikeneb ja järelikult väheneb ka kiirendus. Arvesse võttes aga neid tohutuid tunge, milleda siin on tegemist, osutuvad need abinõud väga viletsaiks. Tung, millega reisijad surutakse vastu põrandat, väheneb tühise suuruse võrra, ja kas polegi ükskõik, kas surnuks muljuva kübara raskus on 15 või 14 tonni?!

Kuidas nõrgendada pörget?

Mehhaanika näitab, kuidas oleks võimalik olnud vähendada saatuslikku kiiruse kasvu.

Seda on võimalik saavutada, pikendades ka huri-toru pikkust paljusid kordi.

Tarvisminev pikenemine peab siiski olema väga tunduvalt, kui soovitakse, et lasu hetkel „kunstlik“ raskustung mürsu sees oleks niisama suur kui tavaline ras-

³¹ Lisan, et võidusõiduauto kiirendus, kui auto hakkab suurt kiirust arendama, ei ületa 2—3 m sek², sujuvalt jaamast väljuva raudteerongi kiirendus on 1 m sek².

kustung maapinnal. Ligikaudne arvutus näitab, et nii-
sugusel korral peaks kahuritoru pikkus olema ei lühem
ega pikem kui 6000 km! Teiste sõnadega, Jules Verne'i
„kolumbiaad“ peaks ulatuma maa sisse peaaegu selle
keskpunktini... Alles siis võiksid reisijad vabad olla
igasugustest ebamugavustest; nende tavaline kaal suu-
reneks kiirenduse tõttu niisama suure näilise kaalu
võrra ja nad oleksid tundnud end kaks korda raskema-
tena.

Lühikese ajavahemiku jooksul võib siiski inimese
organism kahjutult taluda raskuskiirenduse suurenemist
paar korda. Kui meie liugume jäämäest alla ja siin kii-
resti muudame oma liikumise suunda, siis suureneb meie
kaal samuti lühikese aja jooksul, s. t. meie keha suru-
takse vastu saani tugevamalt kui tavaliselt. Raskuskii-
renduse kolmekordset suurenemist talume üsna hästi.
Kui oletada, et lühikese ajavahemiku jooksul inimene
võib taluda isegi oma kaalu kümnekordset kasvu, läheks
siiski tarvis kahurit, mille pikkus oleks „ainult“
600 km. Ka see on vähe lohutav, sest selliseги kahuri
ehitamine ületab tehnika võimaluste piirid.

Alles neil tingimustel on mõeldav Jules Verne'i ahvat-
leva projekti teostamine: lend kahurikuulis Kuule ³².

³² Kirjeldades romaanis lendava kahurikuuli sees valitsevaid
tingimusi, tegi Jules Verne olulise vea, millest on pikemalt rää-
gitud „Huvitava füüsika“ esimeses raamatus. Kirjanik ei võt-
nud arvesse, et pärast lasku kogulennu kestel kõik
esemed mürsu sees on täielikult kaalutud, sest
raskustung annab ühesuguse kiirenduse nii mürsule kui ka kõi-
gile esemeile selles. Esemed peaksid olema kaalutud ka selles
taevalaevas, millest räägitakse artiklis „Tähtedele raketis“. Roh-
kem üksikasju selle kohta on minu raamatuis „Planeetidevahe-
lised reisud“, „Raketil Kuu peale“, „Tsiolkovski“ (kõik vene
keeles) ja järelsõnas J. Verne'i raamatule „Kahurist Kuule“.

Matemaatikasõpradele.

Kahtlemata leidub selle raamatu lugejate seas ka neid, kes soovivad ise kontrollida eeltoodud arvutusi. Toome siin need arvutused. Nad on õiged ainult ligikaudselt, sest nad põhinevad eeldusel, et liikumine kahuritorus on ühtlaselt kiirenev (tegelikult ei toimu kiiruse suurenemine ühtlaselt).

Arvutamisel tuleb kasutada ühtlaselt kiireneva liikumise kaht järgmist valemit:

kiirus v on t sekundi pärast at , kus a on kiirendus:

$$v = at;$$

t sekundi jooksul läbitud tee S väljendub valemina:

$$S = \frac{at^2}{2}.$$

Nende valemite põhjal arvutame kõigepealt mürsu kiirenduse, kui mürsk liikus „kolumbiaadi“ torus.

Romaanist on teada, et see osa kahuritorust, mis oli vaba laengust, oli 210 m pikk: see ongi mürsu poolt läbitud tee S .

Ka teame mürsu lõppkiirust $v = 16.000$ m/sek.

Andmed S ja v lubavad määrata suurust t — mürsu lennu kestust kahuritorus (oletades, et liikumine on ühtlaselt kiirenev). Tõepoolest

$$v = at = 16\,000.$$

$$210 = S = \frac{at \cdot t}{2} = \frac{16\,000 \cdot t}{2} = 8000 t,$$

siit

$$t = \frac{210}{8000} = \text{umbes } \frac{1}{40} \text{ sek.}$$

Osutub, et mürsk oleks liikunud kahuri sees ainult $\frac{1}{40}$ sekundit!

Asetades $t = \frac{1}{40}$ valemisse $v = at$, saame:

$$16\,000 = \frac{1}{40} a,$$

siit

$$a = 640\,000 \text{ m/sek}^2.$$

Tähendab, mürsu kiirendus liikumisel kahuris oli $640\,000 \text{ m/sek}^2$, s. t. $64\,000$ korda suurem raskuskiirendusest ($g = 10 \text{ m/sek}^2$).

Kui pikk aga peaks olema kahur, et kiirendus oleks ainult 10 korda suurem langevate kehade kiirendusest (raskuskiirendusest), s. t. võrduks 100 m/sek^2 ?

See ülesanne on pöördülesanne sellele, mille me äsja lahendasime. Andmed: $a = 100 \text{ m/sek}^2$; $v = 11\,000 \text{ m/sek}$ (sellest kiirusest piisab õhutakistuse puudumisel).

Valemist $v = at$ saame: $11\,000 = 100 t$, siit $t = 110 \text{ sek}$.

Valemist $S = \frac{at^2}{2} = \frac{at \cdot t}{2}$ saame, et kahuri pikkus peab olema $\frac{11\,000 \cdot 110}{2} = 605\,000 \text{ m}$, s. o. ümmarguselt 600 km .

Niisuguste arvutustega on saadudki need arvud, mis hävitavad Jules Verne'i kangelaste ahvatlevad plaanid.



Kuues peatükk.

Vedelike ja gaaside omadused.

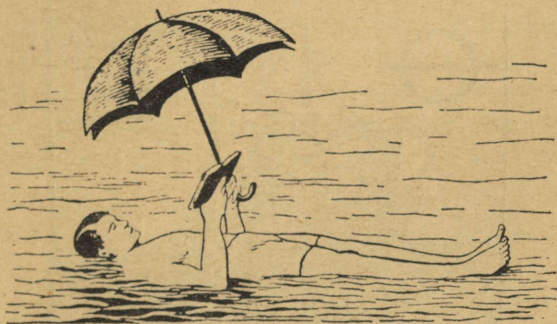
Meri, milles ei saa uppuda.

Niisugune meri on maal, mida inimsugu tunneb juba ammu ajast. See on kuulus Surnumeri Palestiinas. Selle mere vesi on erakordselt soolane, niivõrd soolane, et selles ei saa elada ükski elav oles. Kuum, vihmadeta Palestiina kliima põhjustab vee intensiivset aurumist mere pinnalt. Kuid aurub ainult puhas vesi, kuna selles lahustunud soolad jäävad järele ja suurendavad soolust. Seepärast sisaldabki Surnumere vesi mitte 2 või 3 protsenti (kaalu järgi) sooli nagu enamik meresid ja ookeane, vaid 27 ja enam protsenti; soolsus suureneb sügavusega. Seega moodustavad neljandiku Surnumerest tema vees lahustunud soolad. Üldist soolade hulka temas hinnatakse 40 miljonile tonnile.

Surnumere suur soolsus on seoses tema ühe huvitava omadusega: selle mere vesi on tunduvalt tihedam tavalisest mereveest. Säärases raskes vedelikus ei saa uppuda: inimkeha on sellest kergem.

Meie keha kaal on tunduvalt väiksem niisama suurt ruumala täitva väga soolase vee kaalust ja järelikult ujumisseaduse põhjal ei saa inimene Surnumeres uppuda; ta kerkib pinnale nii nagu kanamuna soolases vees (mis magedas vees vajub põhja).

Humorist Mark Twain, olles külastanud seda järvmärd, kirjeldab koomilise põhjalikkusega neid ebatavalisi tundeid, mis olid temal ja ta kaaslastel ujudes Surnumere rasketes vetes:

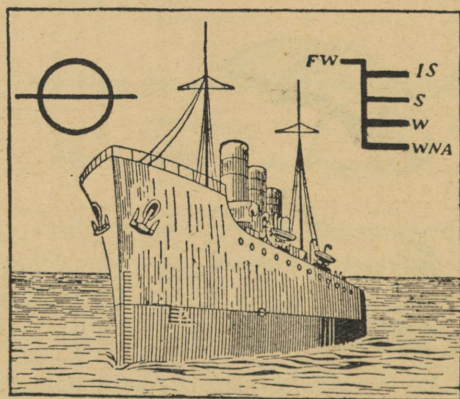


Joonis 50. Inimene Surnumere pinnal (foto järgi).

„See oli naljakas ujumine! Meie ei saanud uppuda. Siin võib selili lamades ja käed rinnale pannes end vee peal sirgeks ajada, kusjuures suurem osa kehast ulatub veest välja. Seejuures võib ka pea täielikult üles tõsta... Te võite lamada väga mugavalt selili, tõstes põlved lõuani ja haarates nende ümbert kätega kinni; varsti aga kukute ümber, sest pea kaalub üle. Te võite seista pea peal ja poolest rinnast varbaotsteni olete veest väljas; kaua aga ei saa ennast hoida sellises asendis. Teie ei saa selili ujudes tunduvalt edasi liikuda, sest teie jalad ulatuvad veest välja ja te saate ennast edasi lükata

ainult kandade abil. Kui aga ujute rinnuli, siis te ei liigu ettepoole, vaid tagasi. Hobune on Surnumeres niivõrd ebapüsivas olekus, et ta ei saa ei ujuda ega seista: ta kukub kohe küljeli.“

Joonisel 50 näete inimest, kes end on üsna mugavalt asetanud Surnumere pinnale; vee suur erikaal lubab tal selles asendis lugeda raamatut, kaitstes end varjuga päikese kõrvetavate kiirte eest.



Joonis 51. Tonnaazimärk laevapardal. Märgid tähistatakse veejoonel. Et selgem oleks, on nad veel näidatud eraldi suurendatult. Tähtede tähendus on antud tekstis.

Samad ebatavalised omadused on ka Kaspia mere lahe Kara-Bogaz-Goli³³ ja niisama soolase Eltoni järve (soolus 27%) veel.

³³ Kara-Bogaz-Goli vee erikaal on 1,18. „Säärases tihedas vees võib pingutusteta ujuda ja, isegi vältimata Archimedese seadust, on võimatu uppuda,“ ütleb selle kohta uurija (A. D. Pöls, Karabugaz, 1934).

Midagi selletaolist kogeivad haiged, kes võtavad soola-veevanne. Kui vee soolsus on väga suur, nagu näiteks Staraja Russa mineraalvetel, siis tuleb haigel üsna tugevasti pingutada, et hoida end vanni põhjas.

Mul oli juhus kuulda, kuidas keegi Staraja Russas end ravinud naine meeleepahaga kaebas, et „vesi teda täielikult vannist välja oli lükkamas“. Näis, et tema kaldus selles asjas süüdistama kuurordi administratsiooni...

Vee soolsuse aste mitmesugustes meredes on mõnevõrra erinev ja vastavalt sellele pole ka laevade süvis merevees alati ühesugune. Võib-olla mõned lugejaist on juhtunud nägema laevapardal süvisejoone läheduses nn. Lloyd'i märki, mis näitab süvisejoone äärmist kõrgust eri tihedusega vetes. Näiteks joonisel 51 kujutatud laadungimärk näitab süvisejoone äärmist taset:

magedas vees (Fresh Water)	FW;
India ookeanis (India Summer) . . .	IS;
soolases vees suvel (Summer)	S;
„ „ talvel (Winter)	W;
Põhjäp. Atlandi ookeanis talvel (Winter North Atlantic)	WNA.

Meil ilmusid need märgid võrdlemisi hiljuti (nad on sunduslikult kasutusele võetud alles alates 1909. a.).

Lõpuks tähendame, et hiljuti on avastatud vee teisend, mis puhtal kujul, ilma igasuguste lisanditeta, on tunduvalt raskem harilikust veest: selle erikaal on 1,1, s. o. 10% suurem kui harilikul veel; järelikult niisuguse vee basseinis ei tarvitse inimene, kes isegi ujuda ei oska, karta uppumist. Uut avastatud vee teisendit nimetatakse „raskeks“ veeks; ta keemiline valem on D_2O (selle vee koostisse kuuluv vesinik koosneb aatomitest, mis on kaks korda raskemad hariliku vesiniku aatomitest; teda tähistatakse tähega D). Raske vesi esineb tähtsusetul

hulgal lahustatuna harilikus vees: ühes panges joogivees on umbes 8 g rasket vett.

Rasket vett koostisega D_2O (raske vee eri sorte võib olla 17) toodetakse praegu juba peaaegu puhtal kujul; hariliku vee lisand on selles väiksem kui 1% ja seda vähendatakse isegi kuni 0,05%-ni.

Kuidas töötab jäälõhkuja?

Supeldes vannis tehke järgmine katse. Enne vannist lahkumist avage väljalaskeava, jäädes lamama vanni põhja. Sedavõrd kuidas üha suurem osa teie kehast ulatub veest välja, tunnete oma keha aeglast raskenemist. Kõige näitlikumalt te veendute seejuures selles, et see osa keha kaalust, mis kaduma läks vees (meenutage, kui kergena tundsite end vannis!) ilmneb kohe, kui keha on vaevalt saanud väljapoole vett. Kui sellise katse teeb vastu oma tahtmist vaal, sattudes mõõna ajal madalikele, siis on tulemused loomale väga saatuslikud: ta muljutakse kokku iseenda tohutu raskuse poolt. Mitte asjata ei ela vaalad, kes on imetajad, vees: vee üleslüke päästab neid nende endi raskuse hävitavast mõjust.

Oeldu on kõige tihedamas seoses selle artikli pealkirjaga. Jäälõhkuja töö on rajatud samale füüsikalisele nähtusele: veest väljatulnud laevaosa kaal pole enam tasakaalustatud vee üleslükkega ja ta saab oma „kuivamaa“ kaalu. Ei maksa arvata, et jäälõhkuja lõikab jääd käigul oma ninaosaga, eestäävi survega. Nõnda töötavad mitte jäälõhkujad, vaid jäälõikajad, näiteks meie kuulus „Litke“. Selline tööviis on rakendatav ainult võrdlemisi õhukese jää puhul. Õiged mere-jäälõhkujad, nagu „Krassin“, „Lenin“ või „Jermak“ töötavad teisiti.

Oma võimsate masinate jõul liigub jäälohkuja oma eesotsaga, mis selletõttu veealuses osas on tugevasti kärbitud, jää peale. Sattudes veest välja, saavutab laeva kätel oma tõelise raskuse ja see tohutu koormis (mis ulatub näiteks „Jermak'il“ 800 tonnini) murrab jää katki. Mõju tugevdamiseks pumbatakse tihti jäälohkuja kätel oleval paakidesse vett „vedelaks ballastiks“.

Nõnda toimib jäälohkuja seni, kuni jää paksus ei ületa poolt meetrit. Paksemat jääd lõhutakse laeva löökidega. Jäälohkuja liigub tagasi ja sööstab siis kogu oma massiga jää äärele. Seejuures ei tööta enam raskus, vaid liikuva laeva kineetiline energia; laev nagu muutuks väikese kiiruse, kuid suure massiga kahurimürsuks, taraaniks. Mõne meetri kõrgused jääpangad lõhutakse tükkideks jäälohkuja tugeva kätela korduvate löökide abil.

„Sibirjakovi“ 1932. a. toimunud kuulsast läbisõidust osavõtnud meremees-polaarlane N. Markov kirjeldab selle jäälohkuja töötamist järgmiselt:

„Sadade jääkaljude ja laamjää keskel algas „Sibirjakov“ oma võitlust. 52 tundi järjest hüppas masina telegraaf vahetpidamata: „täies käigus ette“, „täiel käigul tagasi“. Kolmteist neljatunnist vahtkonda kulus „Sibirjakovil“ selleks, et tungides hooga jõesse, seda kätelaga lõhkuda, roni des jääle, seda murda ja jälle tagasi astuda. Kolmveerand meetrit paks jää andis ainult visalt teed. Iga löögiga tungis laev ühe kolmandiku oma pikkusest edasi.“

NSV Liidul on kõige suuremad ja tugevamad jäälohkujad maailmas.

Kus asetsevad uppunud laevad?

On levinud arvamus, isegi meremeeste keskel, et põhjaläinud laevad ei asetse mitte merepõhjas, vaid ripuvad liikumatult teatavas sügavuses, kus vesi on „pealasetsevate kihtide rõhumise tõttu vastavalt tihenenud“.

Seda arvamust jagas nähtavasti ka romaani „Kakskümmend tuhat miili vee all“ autor; selle romaani ühes peatükis kirjeldab Jules Verne üht liikumatult vees ripuvat uppunud laeva, ühes teises peatükis aga meenutab laevu, mis „kõdunevad, rippudes vabalt vees“.

Kas on siis säärane väide õige?

Teatav põhjus selleks oleks nagu olemas, sest vee rõhumine ookeani sügavustes on tõepoolest väga suur. 10 m sügavuses rõhub vesi tungiga 1 kg iga ruutsenti meetri kohta. 20 m sügavuses on see rõhumine juba 2 kg, 100 m sügavuses — 10 kg, 1000 m sügavuses 100 kg. Ookean aga on paljudes kohtades mitu kilomeetrit sügav, saavutades Vaikse ookeani sügavamais kohtades sügavuse 11 ja enam kilomeetrit. On kerge arvutada seda tohutut rõhumist, mille all on vesi ja selles asetsevad kehad neis tohutuis sügavustes.

Kui lasta tühi kinnikorgitud pudel suurde sügavusse ja siis uuesti välja tõmmata, võib näha, et vee rõhumisega on kork pudelisse aetud ja pudel on vett täis. Kuulus okeanograaf John Murray jutustab oma raamatus „Ookean“ järgmisest katsest: kolm eri suurusega, mõlemast otsast kinnijoodetud klaastoru mässiti lõuendisse ja paigutati vasksilindrisse, millest vesi pääses vabalt läbi. Silinder lasti viie kilomeetri sügavusse. Kui silinder veest välja võeti, osutus, et lõuend on täidetud lumetaolise massiga: see oli pihustatud klaas. Puidutükid,

mis lasti säärasesse sügavusse, uppused pärast väljatõmbamist veeanumas nagu tellised — sel määral olid nad kokku surutud.

Näib olevat loomulik oodata, et selline koletu rõhumine tihendab vett suurtes sügavustes sel määral, et isegi rasked kehad siin ei upu, nagu raudpomm ei upu elavhõbedas. Siiski on niisugune arvamus põhjendamatu. Katse näitab, et vesi, nagu üldse kõik vedelikud, on vähe kokkusurutav. Vesi, olles rõhu all 1 kg ruutsentimeetri kohta, väheneb oma ruumalalt ainult $\frac{1}{22\,000}$ osa võrra ja umbes niisama palju väheneb ta ruumala ka rõhu suurenemisel iga kilogrammi kohta. Kui me tahaksime vett viia sellise tiheduseni, et temas ujuks raud, tuleb vee tihedust suurendada 8 korda. Kuid tiheduse kahekordistamiseks, s. o. ruumala vähendamiseks poolele endisest, on vaja rõhumist 11 000 kg 1 cm² kohta (muidugi siis, kui mainitud arv kehtib ka selliste suurte rõhumiste puhul). See vastab meresügavusele 110 km!

Siit selgub, et ei saa olla juttugi vee tiheduse mainimisväärsest suurenemisest ookeani sügavuses. Kõige sügavamas kohas on vee tihedus ainult $\frac{1100}{22\,000}$ võrra suurem, s. o. $\frac{1}{20}$ ehk 5% võrra suurem oma normaalsest tihedusest ³⁴. See asjaolu ei saa mõju avaldada mitme-

³⁴ Inglise füüsik Tait on välja arvutanud, et kui Maakera külgetõmbejõud peaks äkki kaduma ja vesi muutuks kaalutuks, siis ookeani pind peaks tõusma keskmiselt 35 m võrra (selle tagajärjel, et kokkusurutud vesi saaks tagasi oma normaalse ruumala). „Ookean ujutaks üle 5 000 000 km² maad, mis oma veepealse olemasolu eest võlgneb tänu ainult teda ümbritsevate vete kokkusurutusele.“ (Berget.)

suguste kehade ujumisse, seda enam, et tahked kehad, asetatuna niisugusesse vette, on ka ise selle rõhumise all ja muutuvad järelikult tihedamaks.

Seepärast ei või olla vähimatki kahtlust selles, et uppunud laevad vajuvad mere põhja. „Kõik, mis upub klaasis vees,“ ütleb Murray, „vajub põhja ka kõige sügavamas ookeanis.“

Ma olen kuulnud järgmist vastuväidet. Kui asetada vette ettevaatlikult ü m b e r p ö ö r a t u d klaas, siis võib see jääda sellesse asendisse, sest tema poolt väljasurutud vee kaal on võrdne ta enda kaaluga. Raskem metallist anum võib olla sellises asendis ka vee sees, vajumata põhja. Täpselt samuti võivad poolel teel seisma jääda ka kiiluga ülespoole pöördunud ristleja või mõni teine veesõiduk. Kui laeva mõnedes ruumides osutub õhk tihedalt suletuks, siis vajub laev teatava sügavuseni ja peatub siis. Vajub ju küllalt laevu põhja ümberpööratud asendis ja on võimalik, et mõnedki neist niiviisi põhjani ei jõua, vaid jäävad rippuma ookeani pimedais sügavustes. Oleks vaja ainult kerget tõuget, et sellist laeva tasakaalust välja viia, ümber pöörata, veega täita ja sundida põhja laskuma, — aga kust võib selline tõuge tulla ookeani sügavuses, kus igavesti valitseb vaikus ja rahu ning kuhu ei ulatu isegi tormide mõju?

Kõik need argumendid on rajatud füüsikalisele veale. Ümberpööratud klaas ei lasku vette ise endast, selle peab vette vajutama väline tung, samuti nagu puidutüki või tühja kinnikorgitud pudeli. Täpselt samuti ei hakka ülespööratud kiiluga laev üldse vajuma, vaid jääb vee pinnale. Kusagil poolel teel ookeani pinna ja põhja vahel ta ei saa kuidagi seisma jääda.

Veealused vabrikud.

Neid pole praegu veel olemas, aga on võimalik, et nende tekkimist ei tule kaua oodata. Meie insenerid juba plaanitsevad sääraseid. Sellele mõttele — ehitada vabrikuid sügaval vee all — viivad seal valitsevad suured rõhumised. Kas poleks võimalik seda hiiglaslikku tungi, mis praegu mingit kasu ei too, ära kasutada tehnika otstarveteks? On ju olemas keemilisi protsesse, mis võrratult kiiremini toimuvad kõrgendatud rõhu all. Mõned neist omavad tehnikas üpris suurt tähtsust; nii näiteks need keemilised reaktsioonid, mis esinevad õhulämmastiku sidumisel väetisainete jaoks tarvisminevaks salpeeterhappeks, või need, mis toimuvad tahke kütta-aine muutumisel vedelaks („bergenisatsioonid“). Mõte üle kanda selline tootmine merepõhja, et ära kasutada siin valitsevat tohutut rõhku, on täiesti loomulik.

Seda laadi projektiga esines 1935. a. ajaleht „Tehnika“, milles oli ära trükitud nõukogude inseneri A. Slivinski ettepanek ehitada mõned tsehhid sügavale vee alla. Kõige soodsamateks kohtadeks võiksid olla Musta mere põhi Kaukaasia kalda läheduses või jälle Baikali järve põhi; siin esineb küllaldasi sügavusi 100—150 atmosfäärilise rõhu saavutamiseks. „Kui arvestada seda,“ kirjutab projekti autor, „et Baikali läheduses on määratu suur Irkutski kivisöebassein söega, mis on väga sobiv bergenisatsiooniks, ja ka seda, et selle basseini paljusid kihte võib töödelda lahtiselt, siis on arusaadav süvavee-tehnika eriline tähtsus NSV Liidule.“ Esialgset arvestused lubavad algul seadistamiskulude vähendamist 50 ja enam korda, võrreldes tavalisega.

Mainitud projektis võib olla suur tähtsus ka tuuleenergia ärakasutamisel, mis võimaldaks vee elektrolüüsi

abil suure rõhu all koguda hapniku ja vesiniku varusid. Süvavee-paagid kogutud, väga tihendatud gaaside alalhoidmiseks ei tohi aga olla ülemäära suured.

Projekti järgi on ette nähtud vabriku veealuste osade niisugune ehitus, mis ei nõua teenindava personali vahetut juuresolekut: järelevaatus ja juhtimine toimub kaldalt (telemehhaanika vahenditega). „Kui täna,“ ütlevad projekti autorid, „on see probleem ainult tõeline muinasjutt, siis on olemas väljavaated, et see juba homme on muinasjutuline tõelisus.“

Kuidas teostusid Jules Verne'i ja Wells'i unistused?

Nüüdisaja tõelised allveepaadid pole mitte ainult mitmes suhtes järele jõudnud Jules Verne'i fantastilisele „Nautilusele“, vaid isegi selle ületanud. Tõsi küll, praegusaegsete veealuste ristlejate kiirus on kaks korda väiksem „Nautiluse“ kiirusest: 24 sõlme Jules Verne'i 50 sõlme asemel (1 sõlm on umbes 1,8 km tunnis). Moodsa allveelaeva pikim teekond on sõit ümber maailma, kapten Nemo teostas aga kaks korda pikema sõidu. Seevastu oli „Nautilusel“ vee väljasurve ainult 1500 tonni, ta meeskond koosnes ainult kahekümnest kolmekümnest mehest ja ta oli võimeline vee all püsima vahetpidamata mitte üle 48 tunni. Praegusaegne veealune ristleja („Surcouffe“), mis kuulub Prantsuse laevastikku, on vee väljasurvega 3200 tonni, ta meeskonna suurus on 150 inimest ja ta võib vahetpidamatult vee all olla 120 tundi!

See veealune ristleja võib sooritada sõidu Prantsusmaa sadamaist Madagaskarini, ilma et tal oleks tarvidust külastada teel mõnda sadamat. Elamisruumide mugavuse poolest „Surcouffe“ ei jää maha „Nautilu-

sest". Edasi on „Surcouffe'il" kapten Nemo laevaga võrreldes see kahtlematu paremus, et tema ülemisel tekil on veekindel angaar luure-vesilennuki jaoks. Tuleb ka märkida, et Jules Verne ei varustanud „Nautilust" periskoobiga, mis annab laevale võimaluse vee alt silmapiiri jälgida ³⁵.

Ainult ühes asjas jäävad tõelised allveelaevad veel kauaks ajaks maha prantsuse kirjaniku fantaasia loominguks: sukeldumise sügavuses. Kuid tuleb märkida, et selles suhtes Jules Verne'i fantaasia ületas usutavuse piirid. „Kapten Nemo," loeme romaani ühes osas, „saavutas kolme-, nelja-, viie-, seitsme-, üheksa- ja kümnetuhande-meetrilisi sügavusi." Ja kord sukeldus „Nautilus" isegi kujutletamatusse sügavusse — 16 tuhat meetrit! „Ma tundsin," jutustab romaani tegelane, „kuidas vabisesid allveelaeva raudpannuli õmblused, kuidas paindusid toed, kuidas vee rõhumisele järele andes liikusid sissepoole aknad. Kui meie laeval poleks olnud massiivse valatud keha tugevus, oleks ta silmapilkselt muljutud pannkoogiks."

Kartus on täiesti kohane, sest 16 km sügavuses (kui säärane sügavus ookeanis esineks) peab vee rõhk ulatuma $16\ 000 : 10 = 1600$ kg-ni ruutsentimeetri kohta ehk 1600 tehnilise atmosfäärini; selline tung ei pihusta rauda, aga muljub laevakere tingimata kokku. Muide, nii suurt sügavust kaasaegne okeanograafia ei tunne. Liialdatud kujutlused ookeani sügavustest, mis valitsesid Jules Verne'i ajal (romaan on kirjutatud 1869. a.),

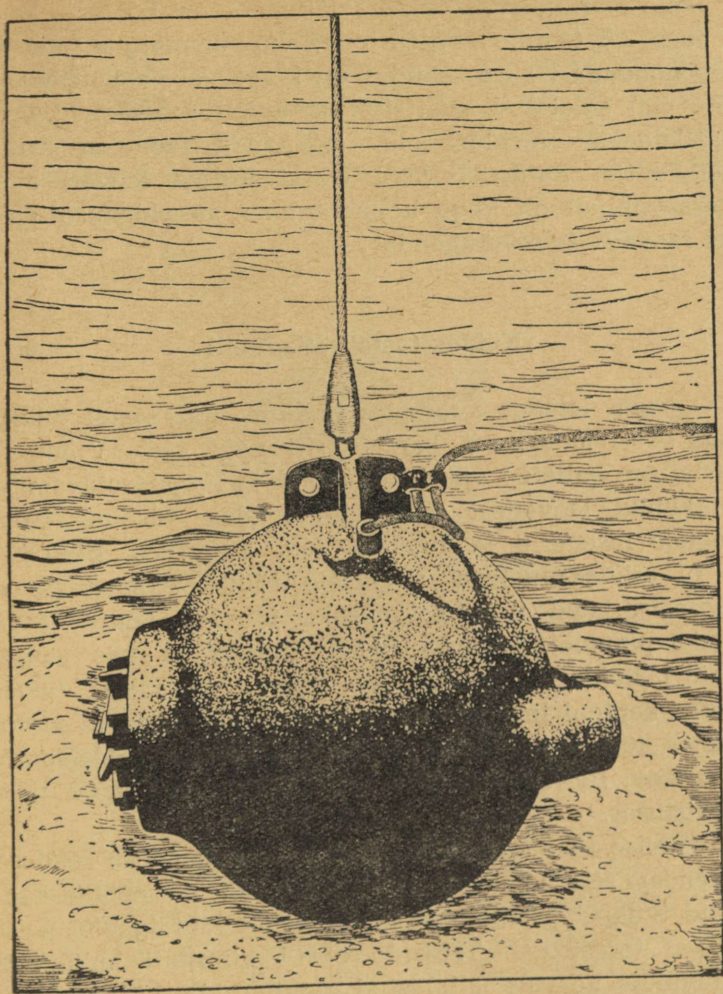
³⁵ Lähemalt nüüdisaegsete allveelaevade ehitusest, võrrelduna Jules Verne'i „Nautilusega", on jutustatud romaani „Kakskümmend tuhat miili vee all" B. V. Billevitši ja N. I. Tarassovi venekeelse tõlke järelsõnas (kirjast. „Molodaja Gvardia" Lenigradi osak., 1935).

on seletatavad sügavuse mõõtmise võtete puudulikku-
sega. Sel ajal tarvitati liin-loe jaoks mitte traati, vaid
kanepist nõöri; sellisele loele tegi vesi seda suuremat
takistust, mida suurem oli mõõdetav sügavus; teatava
sügavuse puhul oli hõõrdumine kasvanud nii suureks, et
lood lakkas alla laskumast, kuipalju ka nõöri järele ei
lastud: kanepist nõör, minnes sassi, tekitas mulje väga
suurest sügavusest.

Meie aja allveelaevad suudavad taluda rõhku mitte
üle 14 atmosfääri; see määrabki nende sukeldumise
suurima sügavuse: 140 meetrit. Tunduvalt suuremat
sügavust õnnestus saavutada hiljuti suurte sügavuste
fauna uurimise otstarbeks ehitatud erilise riistaga. See
riist siiski ei meenuta Jules Verne'i „Nautilust“, vaid
pigem ühe teise kirjaniku fantastilist loomingut, nimelt
Wells'i süvaveekera, mis on kirjeldatud jutustuses
„Mere sügavuses“. Selle jutustuse kangelane laskus
paksuseinalises teraskeras 9 km sügavusse. Riist sukel-
dus trossita, kuid omas äravõetavat koormist; jõudnud
merepõhjani, vabanes kera põhjaviinud raskusest ja
kergenemult tõusis hoogsalt veepinnale.

Tegelikkus peaaegu teostas Wells'i fantaasia. Amee-
rika teadlane William Beebe konstrueeris õhutiheda
teraskera ja on laskunud selle riistaga, mida nimeta-
takse „batüsfääriks“ (joon. 52), juba kolm korda võrdle-
misi suurde sügavusse: 1932. a. 660 m ja 1934. a. algul
760 m, hiljem 923 m sügavusse ³⁶.

³⁶ 1947. aasta algul ilmus ajalehtedes teade, et Brüsseli üli-
kooli kaks füüsikaproffessorit Piccard ja Cosins kavatses selle
aasta suvel laskuda ookeani põhja Guinea väinas. See toimub
teraskabiinis, mis suudab vastu panna 15 tuhande meetri kõr-
guse veesamba rõhule. Teadlased loodavad saavutada kuni 4-tuhan-
de-meetrilisi sügavusi.



Joonis 52. Kerakujuline terasaparaat „batüsfäär“ ookeani sügavamatesse kihtidesse laskumiseks. Kera seinte paksus on umbes 4 cm, diameeter 1,5 m, kaal 2,5 tonni.

Selle märkimisväärse kera läbimõõt on 1,5 m ja kaal umbes 2,5 tonni. Seintes on kolm ümmargust akent, läbimõõduga 20 cm, nendes on klaasi asemel jämedad (7,5 cm) sulatatud kvartsist plaadid. Kahe akna kaudu vaadeldakse veealust elu, kolmanda taga on tugev helgiheitja. Batüsfäär lasti trossi küljes laevalt alla. Kerasviibijail oli kogu kolmetunnise sukeldumise kestel laevaga telefoniühendus.

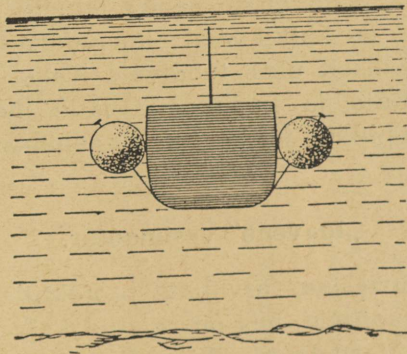
Kuidas tõsteti „Sadko“?

Ookeani laiades avarustes hukkub igal aastal tuhandeid suuri ja väikesi laevu, eriti sõja ajal. Viimaseil aastail on hakatud väärtuslikumaid ja ligipääsetavamaid hukkunud laevadest merepõhjast üles tõstma. Nõukogude insenerid ja tuukrid, kes kuuluvad EPRON-i (s. o. eriülesannetega veealuste tööde ekspeditsioon) koosseisu, said maailmakuulsaks üle 150 suure laeva eduka pinnaletõstmisega. Nende hulgas on üks suuremaid jäälohkuja „Sadko“, mis uppus 1916. aastal Valges meres kapteni lohakuse tõttu. Lamanud 17 aastat merepõhjas, tõsteti see suurepärase jäälohkuja („Malõgini“ sõsarlaev) EPRON-i poolt üles; nüüd on see laev jälle teenistuses.

Tõstmise tehnika rajanes täiesti Archimedese seaduse rakendamisele. Uppunud laeva kere alla merepõhja kavasid tuukrid 12 tunnelit ja tõmbasid läbi igaühe neist tugeva terastrossi. Trosside otsad kinnitati hukkunud jäälohkuja kõrvale allalastud pontoonide külge. Kogu see töö sooritati 25-meetrises sügavuses.

Pontoonideks (joon. 53) olid õõnsad veetihedad raudsilindrid, pikkusega 11 m ja läbimõõduga 5½ m. Tühi

pontoon kaalus 50 tonni. Geomeetriliselt on kerge arvutada selle ruumala: umbes 250 m^3 . On selge, et niisugune silinder peab tühjana ujuma veepinnal: ta surub vett välja 250 tonni, kaalub aga ise ainult 50 tonni; ta tõstevõime võrdub 250 ja 50 vahega, s. o. 200 tonniga. Selleks et pontooni vee alla lasta, tuleb ta täita veega.



Joonis 53. „Sadko“ ülestõstmise skeem; on näidatud jäälohkuja läbilõige, pontoonid ja trossid.

Kui kaheteistkümne terastrossi otsad olid tugevasti kinnitatud vee alla lastud pontoonide külge (vt. joon. 53), hakati voolikute kaudu silindritesse pumpama tihendatud õhku. 25 m sügavuses on vee rõhk $\frac{25}{10} + 1$, s. o. $3\frac{1}{2}$ atmosfääri. Õhk suruti silindritesse nelja-atmosfäärilise rõhu all ja see surus vee silindritest välja. Kergenenud silindrid suruti hiigla jõuga ümbritseva vee poolt veepinnale. Nad tõusid üles nagu õhupallid õhus. Kõikide pontoonide tõstevõime kokku, kui kogu vesi oleks pontoonidest välja surutud, oleks olnud $200 \cdot 12 = 2400$ tonni. Et aga uppunud „Sadko“ kaalus vähem,

siis sujuvama tõstmise huvides olid pontoonid ainult osaliselt tühjendatud veest.

Sellele vaatamata teostus tõstmine alles mitme ebaõnnestunud katse järel. „Päästemeeskonnal tuli läbi elada neli ebaõnnestumist, enne kui töö õnnestus,“ kirjutab tööd juhtinud EPRON-i pea-laevainsener T. I. Bobritski³⁷. „Kolm korda, oodates erutatult laeva, me nägime tõusva jäälohkuja asemel lainete ja vahu kaoses pontoone ja katkikistud, madudena vingerdavaid voolikuid stiihiliselt üles tungivat. Kaks korda näitas ennast jäälohkuja ja kadus siis jälle meresügavusse, enne kui ta lõplikult jäi peatuma veepinnale.“

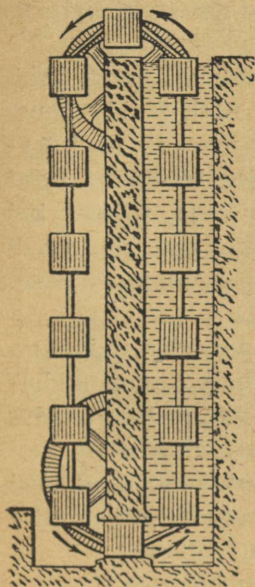
„Igavene“ vesimootor.

„Igavese jõumasina“ arvukate projektide seas leidub küllalt ka niisuguseid, mis on rajatud kehade üleskerkimisele vees. Vaadeldgem üht sellist „leiutist“. Kõrge torn on 20 m kõrguselt täidetud veega. Torni ülemises ja alumises osas on plokid, millede ümber on otsatu rihmana tõmmatud tugev köis. Köie külge on kinnitatud 14 õõnsat kuubikujulist veetihedat raudkasti, millede kõrgus on 1 m. Meie joonised 54 ja 55 kujutavad sellist torni ja selle pikiläbilõiget.

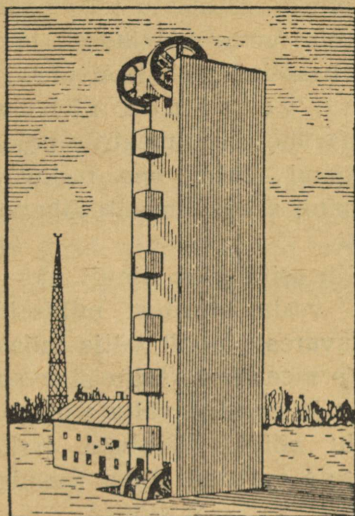
Kuidas töötab säärane seadeldis? Igaüks, kes tunneb Archimedese seadust, taipab, et kastid püüavad vees üles kerkida. Nendesse mõjub alt üles suunatud tung, mis võrdub kastide poolt väljasurutud vee raskusega, s. o. 1 m³ vee raskusega, korrutatud vees olevate kastide arvuga. Jooniselt on näha, et vees asetseb alati

³⁷ Raamatus „Sügavuste võitmine“ („Molodaja Gvardia“ kirjast.; vene keeles).

6 kasti. Tähendab, kastidesse mõjub tung, mis on võrdne 6 m^3 vee raskusega, s. o. 6 tonniga. Ulalt alla mõjub kuue kasti raskus, mis on aga tasakaalustatud väljaspool torni rippuvate kastide kaaluga.



Joonis 54. Järgmisel joonisel näidatud torni ehitus.



Joonis 55. Näiliselt „igavese“ vesijõumasina projekt.

Niisiis, ülalkirjeldatud kõie ühe külje külge on alati rakendatud tung 6 tonni, mis on suunatud alt üles. On selge, et see tung paneb plokkidel liikuva kõie vahetpidamatult pöörlema ja teeb iga tiiru ajal tööd $6000 \cdot 20 = 120\,000 \text{ kgm}$.

Nii on arusaadav, et kui maa üle külvata selliste tornidega, siis võiks neilt saada lõpmata palju tööd, mis

kataks rahvamajanduse kõik nõudmised. Tornid paneksid käima dünamomasinad ja annaksid elektrienergiat soovitavaul hulgal.

Siiski, kui projekt tähelepanelikult läbi arutada, võib kergesti veenduda selles, et oodatavat köie liikumist üldse ei tule.

Selleks et otsatu köis pöörleks, peavad kastid tornibasseini vette minema all ja väljuma ülal. Kuid sisenedes basseini peab kast ometi ületama 20 m kõrguse veesamba rõhumise! See rõhumine kasti pinna ühele ruutmeetrile pole rohkem ega vähem kui 20 tonni (20 m³ vee raskus). Üleslüke aga on ainult 6 tonni, seega ilmselt vähene selleks, et tõmmata kasti vette.

Siin esitatu on ainult üks näidis paljudest „igavestest“ vesimootoritest, milliseid on sadade kaupa leidurhädavareste poolt välja mõeldud. Archimedese seadus andis meelitavat toitu „igavese jõumasina“ otsijate vaimule ja ergutas välja mõtlema teravmeelseid seadeldisi kaalu näiliku kaotuse ärakasutamiseks mehhaanilise energia igavese allika saamise sihiga.

Kes mõtles välja sõnad „gaas“ ja „atmosfäär“?

Sõna „gaas“ kuulub nende sõnade hulka, mis on teadlaste poolt välja mõeldud, nagu sõnad „termomeeter“, „elekter“, „galvanomeeter“, „telefon“ ja eelkõige „atmosfäär“. Kõigist väljamõeldud sõnadest on sõna „gaas“ kahtlemata lühemaid. Vanaaegne Hollandi keemik ja arst Helmont, kes elas 1577.—1644. a. (Galilei kaasaeglane), tuletas sõna „gaas“ kreekakeelsest sõnast „kaos“. Avastanud, et õhk koosneb kahest osast,

millest üks soodustab põlemist ja põleb ära, ülejäänud osal aga puudub see omadus, kirjutas Helmont:

„Niisugust auru ma nimetasin gaasiks, seepärast et ta peaaegu ei erine antiikrahvaste „kaosest“ (sõna „kaos“ tähendas esialgselt „särav ruum“).“

Siiski ei tarvitatud uut sõnakest kaua aega pärast seda ja võeti uuesti tarvitusele alles kuulsa Lavoisier' poolt aastal 1789. See sõna sai laialdase leviku siis, kui igal pool hakati rääkima vendade Montgolfier'de lendudest esimeste õhupallidega.

Lomonossov tarvitas oma teostes gaasiliste kehade jaoks teist nimetust — „elastsed vedelikud“ (mida tarvitati ka veel siis, kui õppisin koolis). Tähendame muide, et Lomonossovi teeneks on terve hulga sõnade tarvituselevõtmine vene keeles, mis praegu on teadusliku keele standardsõnadeks:

atmosfäär,	manomeeter,
baromeeter,	mikromeeter,
õhupump,	optika, optiline,
püdelus,	elektriline,
kristallisatsioon,	eeter jt.
mateeria,	

Vene loodusteaduse geniaalne rajaja kirjutas sel puhul:

„Olin sunnitud otsima sõnu mõnede füüsikariistade, mõjude ja looduslike esemete jaoks, mis (s. t. sõnad) paistavad esialgu küll mõnel määral imelikkudena, loodan aga siiski, et nad aegamööda tarvitamisel tuttavaks saavad.“

Nagu teame, on Lomonossovi lootused täiesti täitunud.

Oleks nagu lihtne ülesanne.

Teemasin, mille mahutavus on 30 klaasi, on täidetud veega. Te panete selle kraani alla klaasi ja, kell käes, jälgite sekundiosutit, kuupalju kulub aega klaasi täitmiseks ääreni. Oletame, et pool minutit. Nüüd esitame küsimuse: kuupalju aega kulub selleks, et teemasin jookseks tühjaks, kui kraan jätta lahti?

Näib, nagu oleks siin tegemist lapselikult lihtsa aritmeetika-ülesandega: ühe klaasi täitmiseks kulub $\frac{1}{2}$ minutit, tähendab 30 klaasi täitmiseks läheb aega 15 minutit.

Aga tehke katse. Selgub, et teemasin ei tühjene vee-
rand tunni jooksul, nagu ootasite, vaid selleks kulub pool tundi.

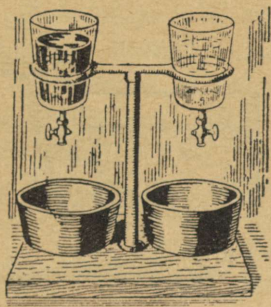
Milles on siis asi? Arvutus on ju nii lihtne. Lihtne küll, kuid mitte õige. Ei saa oletada, et väljavoolu kiirus jääks muutumatuks kuni katse lõpuni. Kui esimene klaasitäis vett on teemasinast välja voolanud, siis on veejuga juba väiksema rõhumise all, sest vee pind on teemasinas alanenud; on arusaadav, et teise klaasi täitmiseks kulub aega rohkem kui $\frac{1}{2}$ minutit; kolmanda klaasi jaoks läheb veel rohkem aega jne.

Iga vedeliku väljavoolamiskiirus läbi avause lahtises anumal on otseses olenevuses avause peal lasuva vedelikusamba kõrgusest. Galilei õpilane geniaalne Torricelli viitas esimesena sellele seosele ja väljendas selle lihtsa valemiga:

$$v = \sqrt{2gh},$$

kus v on väljavoolamiskiirus, g raskuskiirendus ja h vedeliku pinna kõrgus avausest arvates. Sellest valemist järeldub, et vedeliku väljavoolamiskiirus ei olene

üldse vedeliku tihedusest: kerge piiritus ja raske elavhõbe voolavad ühekõrguste nivoode puhul avausest välja ühesuguse kiirusega (joon. 56). Valemist on näha, et Kuul, kus raskuskiirendus on 6 korda väiksem kui Maa peal, kulub ühe klaasi täitmiseks umbes $2\frac{1}{2}$ korda rohkem aega kui Maa peal.

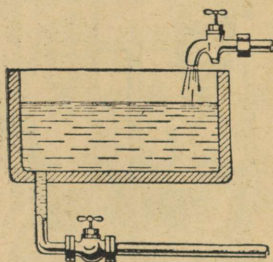


Joonis 56. Mis voolab kiiremini välja: kas elavhõbe või piiritus? Vedeliku vaba pind on anumais ühekõrgusel.

Kuid pöördugem tagasi oma ülesande juurde. Kui pärast 20 klaasi täitmist on teemasinas vee pind (arvates kraaniavast) langenud neli korda, siis 21. klaasi täitmiseks kulub aega juba kaks korda rohkem. Ja kui edaspidi pind langeb 9 korda, siis viimaste klaaside täitmiseks läheb vaja kolm korda rohkem aega kui esimese klaasi täitmiseks. Kõik teavad, kuivõrd aeglaselt voolab vesi teemasinast, kui see on juba peaaegu tühi. Lahendades ülesande kõrgema matemaatika abil, võib näidata, et teemasina täielikuks tühjendamiseks kulub aega kaks korda rohkem, võrreldes selle juhuga, kui vee pind teemasinas oleks jäänud endisele kõrgusele.

Ülesanne basseinist.

Oeldust on ainult üks samm kurikuulsate basseini-ülesannete juurde, ilma milleta ei saa läbi ükski aritmeetika- ja algebra-ülesannetekogu. Me kõik mäletame neid klassikaliselt igavaid skoolistilisi ülesandeid, nagu järgmine:



Joonis 57. Ülesanne basseini kohta.

„Basseinis on kaks toru. Esimese toru kaudu täitub tühi bassein 5 tunni jooksul; teise toru kaudu tühjeneb täis bassein 10 tunni jooksul. Mitme tunni jooksul täitub tühi bassein, kui mõlemad torud on avatud üheaegselt?“

Seda laadi ülesannetel on auväärt vanus — veidi vähem kui 20 sajandit, pärinedes Heronilt Aleksandriast. Siin on üks Heroni ülesandeist, tõsi küll, mitte nii vigurlik kui ta järglased:

On antud neli purskkaevu. On antud suur vesistu. Ööpäeva jooksul täidab selle esimene purskkaev. Teine purskkaev peab sama ülesande kallal töötama kaks päeva ja kaks ööd. Kolmas purskkaev on esimesest kolm korda nõrgem. Viimane purskkaev jõuab esimestele järele nelja päeva jooksul.

Vasta mulle, palju kulub aega, et vesistut täita, kui kõik neli purskkaevu on üheaegselt avatud?

Kaks tuhat aastat lahendatakse ülesandeid basseinide kohta ja — niisugune on rutiini jõud! — kaks tuhat aastat lahendatakse neid valesti. Mispärast valesti, mõistate ise pärast seda, mis oli äsja öeldud vee väljavoolamise kohta. Kuidas õpetatakse lahendama ülesandeid basseinidest? Näiteks esimest ülesannet lahendatakse nii: ühe tunni jooksul täidab esimene toru $\frac{1}{5}$ basseini, teise toru kaudu voolab välja $\frac{1}{10}$ basseini; tähendab, mõlema toru töötamisel lisandub iga tunni jooksul vett $\frac{1}{5} - \frac{1}{10} = \frac{1}{10}$ basseini mahust, siit järeldub, et basseini täitmiseks kulub aega 10 tundi. See arutus pole õige: kui vee sissevoolu võib vaadelda jääva rõhu all toimuvana ja järelikult ühtlasena, siis vee väljavoolamine toimub üha väheneva rõhu all ja on seepärast ebaühtlane. Sellest, et teise toru kaudu tühjeneb bassein 10 tunni jooksul, ei järeldu kaugeltki mitte, et igas tunnis jookseb välja $\frac{1}{10}$ basseini mahust; ülesande kooli-lahendusviis on, nagu näeme, vale. Elementaarse matemaatika abil pole võimalik ülesannet õigesti lahendada ja seepärast pole ülesannetel basseinist (väljavoolava veega) üldse kohta aritmeetika-ülesannetekogudes ³⁸.

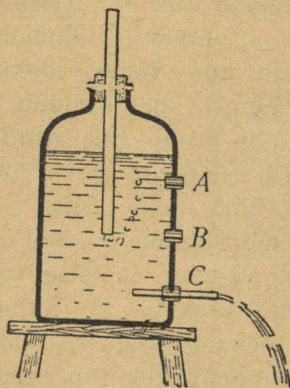
Imetlusväärne anum.

Kas poleks võimalik ehitada niisugust anumat, millest vedelik voolaks välja ühtlase joana, aeglustamata oma voolu, hoolimata sellest, et vedeliku pind anumal alaneb? Pärast seda, mida me teada saime eelmistest pala-

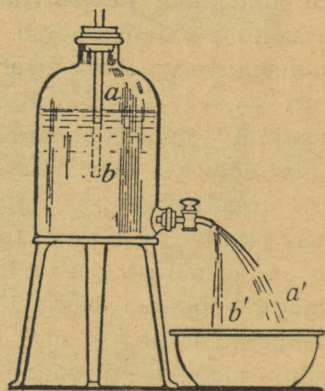
³⁸ Sääraste ülesannete üksikasjalise arutluse leiab lugeja minu raamatus „Kas tunnete füüsikat?“ (vene keeles).

dest, oleme tõenäoliselt valmis pidama säärast ülesannet lahendamatuks.

Siiski on see täiesti teostatav. Purk, mis on kujutatud joonisel 58, on nimelt selline imeväärne anum. See on harilik kitsa kaelaga purk. Läbi kaela sulgeva korgi on pandud klaastoru. Kui te avate kraani C, mis on toru



Joonis 58. Mariotte'i anuma ehitus. Vesi voolab avast välja ühtlaselt.



Joonis 59. Väljatõmmatud toru (a) puhul voolab vesi välja tugeva joana (a'); sügavalt vette lastud toru (b) puhul on veejuga nõrk (b').

alumisest otsast madalamal, siis hakkab vedelik purgist välja voolama ühtlase joana ja teeb seda seni, kuni vedeliku pind anumast pole langenud toru alumise otsani. Lükates toru peaaegu kraani pinnani, te sunnite kogu vedelikku välja voolama ühtlase, kuigi väga nõrga joana.

Millest see tuleb? Jälgige mõttes seda, mis toimub anumast kraani C avamisel (joon. 58). Vedeliku väljavoolamisel alaneb selle pind anumast ja klaastoru kaudu

tungib välisõhk mullidena vedeliku peal asetsevasse hõrendatud õhku; nüüd on kogu pind B rõhu all, mis võrdub välisrõhuga. Tähendab, kraanist C voolab vedelik välja ainult vedelikusamba BC rõhu all, sest õhurõhk sees- ja väljaspool anumad on ühesugune. Et aga kihi BC paksus on muutumatu, siis pole ka imestada, et väljavoolava vedelikujoa kiirus on jääv.

Nüüd katsuge vastata küsimusele: kui kiiresti voolab vedelik purgist välja, kui avada kraan pinnal B ?

Osutub, et vedelik ei hakkagi välja voolama (enesestmõistetav, kui avaus on nii väike, et selle laiust pole tarvis arvestada; vastasel korral voolab vedelik välja selle õhukese samba rõhu all, mille paksus võrdub avause läbimõõduga). Tõepoolest: siin on rõhk seest- ja väljastpoolt võrdne välisrõhuga ja miski ei pane vedelikku voolama.

Kui teie avaksite kraani A , mis on kõrgem toru alumisest otsast, siis vedelik mitte ainult et ei hakkaks välja voolama, vaid, vastupidi, välisõhk hakkaks sisse tungima. Mispärast? Lihtsal põhjusel: selles anuma osas on rõhk väiksem välisrõhust.

See nii haruldaste omadustega anum on leiutatud kuulsa füüsiku Mariotte'i poolt ja nimetatakse seepärast Mariotte'i anumaks.

Õhukoorem.

XVII sajandi keskel olid Regensburgi linna elanikud ja siia kokkusõitnud Saksamaal valitsevad vürstid eesotsas keisriga imestusväärse vaatemängu tunnistajaiks; 16 hobust püüdis kõigest jõust lahti tõmmata kaht teineteise vastu asetatud vaskpoolkera. Mis hoidis neid

koos? „Ei miski“ — õhk. Hoolimata sellest ei suutnud kaheksa hobust, mis tõmbasid ühele poole, ja kaheksa, mis tõmbasid teisele poole neid teineteisest eraldada. Nii näitas bürgermeister Otto von Guericke kõigile silmanähtavalt, et õhk pole „ei miski“, et tal on kaal ja ta avaldab tunduvat rõhumist kõigile maapealseile esemele.

See katse korraldati väga pidulikult 8. mail 1654. Vaatamata sellele, et katse toimus ajal, kus poliitilised lahkkelid olid lõkkele lõonud ja möllasid hävitavad sõjad, oskas õpetatud bürgermeister äratada kõigis huvi oma teaduslike uurimiste vastu.

„Magdeburgi poolkerade“ kuulsa katse kirjeldus leidub füüsikaõpikuis. Siiski, olen kindel, et lugeja kuulab huviga jutustust Guericke, selle saksa „Galilei“, nagu seda silmapaistvat füüsikut mõnikord nimetatakse, enda suust. Mahukas raamat hulga tema katsete kirjeldustega ilmus ladina keeles Amsterdamis 1672. a. ja kandis, nagu kõik raamatud sellel ajastul, pikka pealkirja. See pealkiri on järgmine:

OTTO VON GUERICKE

Nõndanimetatud uued Magdeburgi katsed

ÕHUTA RUUMI KOHTA

esialgselt kirjeldatud Würzburgi ülikooli
matemaatikaprofessori CASPAR SCHOTT'i
poolt.

Autori enda põhjalikum ja mitmete uute
katsetega täiendatud väljaanne.

Meid huvitavale katsele on pühendatud tolle raamatu XXIII peatükk. Toome selle sõnasõnalises tõlkes:

„Katse, mis tõestab, et õhurõhumine ühendab kaht poolkera nii tugevasti, et neid ei saa teineteisest eraldada 16 hobuse jõul.

Ma tellisin kaks vaskpoolkera, läbimõõdult kolmveerand magdeburgi küünart³⁹. Tegelikult aga oli nende läbimõõt $\frac{67}{100}$, sest meistrid, nagu tavaliselt, ei osanud täpselt valmistada seda, mis nõuti. Mõlemad poolkerad vastasid täielikult teineteisele. Üks poolkeradest oli varustatud kraaniga; selle kraani abil oli võimalik kõrvaldada kera seest õhk ja takistada õhu sissetungimist kerasse väljastpoolt. Poolkerade külge oli kinnitatud neli rõngast, milledest tõmmati läbi köied, mis olid seotud hobuste rakmete külge. Samuti käskisin õmmelda nahast rõnga; see oli immutatud vaha ja tärpentini seguga; pressituna poolkerade vahele, takistas ta õhu sissetungimist kerasse. Kraaniga ühendati õhupumba toru ja kerast pumbati õhk välja.

Nüüd selgus, kui tugevasti olid poolkerad teineteise vastu surutud nahast rõnga kaudu. Välisõhu rõhumine surus need poolkerad teineteise vastu nii tugevasti, et 16 hobust järsu tõmbega ei suutnud neid lahti tõmmata või tulid sellega ainult vaevu toime. Kui poolkerad, andes järele hobuste kogu jõule, eraldusid, siis kõlas pauk nagu püssi laskmisel.

Oli tarvis ainult kraani. pöörates anda õhule vaba sissepääs kerasse — ja poolkerasid võis kätega vaevata eraldada.“

³⁹ Magdeburgi küünar võrdub 550 mm-ga.

Lihtne arvutus võib meile seletada, mispärast on vajalik selline tunduv jõud (8 hobust mõlemalt poolt), et lahti tõmmata poolkerad. Õhu rõhumine ühele ruut-sentimeetrile on umbes 1 kg; ringi pindala⁴⁰, kui läbimõõt on 0,67 küünart (37 cm), on 1060 cm². Tähendab, õhu rõhumine igale poolkerale peab ületama 1000 kg (1 tonni). Kaheksa hobust pidi järelikult tõmbama tungiga 1 tonn, et ületada välisõhu rõhumist.

Näiks nagu, et see koorem pole kaheksale hobusele (mõlemalt poolt) kuigi suur. Kuid ärge unustage, et liigutades ühetonnist koormat, hobused ületavad mitte ühetonnist, vaid palju väiksemat tungi, nimelt rataste hõõrdumist vastu telgi ja sillutist. Aga see tung on näiteks maanteel ainult viie protsendi ümber, s. o. ühetonnise koorma puhul — 50 kg. (Arvestamata seda, et kaheksa hobuse ühisel jõupingutusel läheb kaotsi, nagu näitab praktika, 50% tõmbest.) Järelikult tõmbele 1 tonn vastab kaheksa hobuse puhul vankrikoorem 20 tonni. Vaat milline oli õhukoorem, mida pidid vedama Magdeburgi bürgermeistri hobused! Nad pidid kangutama kohalt otsekui väikese veduri, mis seejuures pole rööbastel.

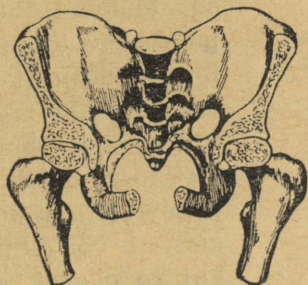
On mõõdetud, et tugeva veehobuse tõmme koorma vedamisel on 80 kg⁴¹. Järelikult magdeburgi pool-

⁴⁰ Võetakse ringi pindala, mitte aga poolkera pindala, sest õhu rõhumine võrdub ülaltoodud arvuga ainult siis, kui see rõhumine on risti pinnaga; kaldpindade puhul on rõhumine väiksem. Antud juhul võetakse kerapinna rist-projektsioon tasapinnale, s. o. suuringi pindala.

⁴¹ Kiiruse puhul 4 km tunnis. Arvestatakse, et hobuse tõmbetung on keskmiselt 15% tema raskusest; hobuse kaal aga on: kergel — 400 kg, raskel — 750 kg. Lühikese aja jooksul (algpingutus) võib tõmbetung olla paar korda suurem.

kerade lahtitõmbamiseks oleks rahulikult tõmbamisel kulunud $\frac{1000}{80} = 13$ hobust kummaltki poolt ⁴².

Tõenäoliselt on lugeja imestunud, teada saades, et meie luustiku mõned liigesed hoiuvad koos samal põhjusel kui magdeburgi poolkerad. Nimelt kujutab meie puusaliiges endast magdeburgi poolkerasid. Selle



Joonis 60. Meie puusaliigese luud ei lange koost tänu atmosfäärisele rõhumisele, samuti kui hoiuvad koos magdeburgi poolkerad.

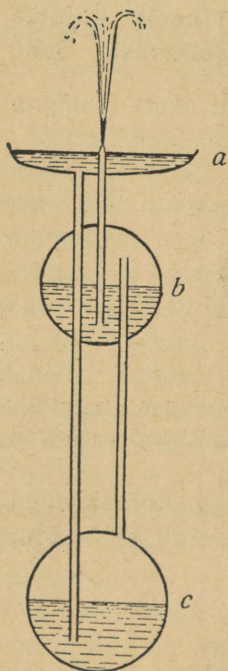
liigese ümbert võib eemaldada lihas- ja kõhrsidemed, kuid siiski ei kuku reieluu välja: teda surub külge õhurõhk, sest liigeseõõnes õhk puudub.

Uued Heroni purskkaevud.

Purskkaevu leiutajaks peetakse vana-aja mehhaanikut Heronit. Selle tavaline kuju on tõenäoliselt minu lugejaile tuttav. Enne kui asuda selle huvitava riista uemate teisendite kirjeldamisele, tuletan siinkohal

⁴² Seletuse sellele, mispärast kulub 13 hobust mõlemalt poolt, leiab lugeja minu „Huvitavas mehhaanikas“ (vene keeles).

meelde selle ehitust: Heroni purskkaev (joon. 61) koosneb kolmest anumast: ülemisest lahtisest (a) ja kahest kerakujulisest (b ja c) hermeetiliselt suletud anumast. Anumad on ühendatud kolme toru abil; nende torude paigutus on näidatud joonisel. Kui



Joonis 61. Vanaaegne Heroni purskkaev.

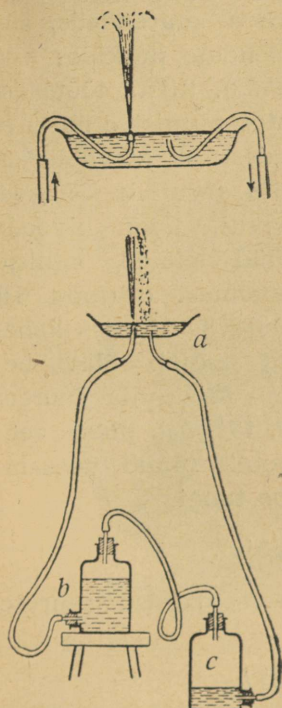
anumas a on veidi vett ja kera b on täidetud veega, kera c on aga täidetud õhuga, siis hakkab purskkaev töötama: vesi jookseb toru kaudu a-st c-sse, välja surudes siit õhku kerasse b; juurdetuleva õhu rõhumisel tõuseb vesi b-st toru mööda üles ja purskab joana välja anuma a kohal. Kui kera b on tühjenenud, s. o. kui kogu vesi on temast üle läinud kerasse c, lakkab purskkaev töötamast.

Niisugune on Heroni purskkaevu vanaaegne kujud. Juba meie ajal üks Itaalia kooliõpetaja, keda ergutas leidlikkusele tema füüsikakabineti igav sisustus, lihtsustas Heroni purskkaevu ehitust ja leiutas sellele teisendi, mida võib ehitada igaüks kõige lihtsamate vahendite

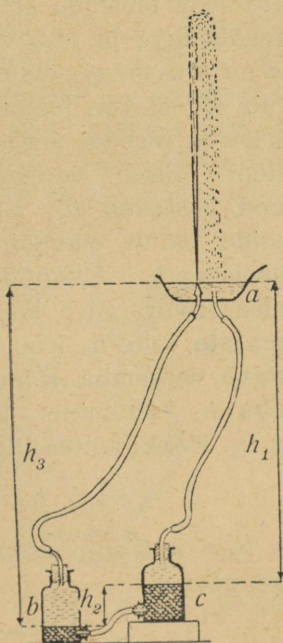
abil (joon. 62). Kerade asemel on võetud apteegi pudeleid; klaas- või metallitorude asemel — kummitorud. Ülemist anumast pole tarvis läbi puurida: võib lihtsalt kummitorude otsad paigutada sellesse nõnda, nagu on näidatud joonisel 62, ülal.

Niisugusel muudetud kujul on riista palju hõlpsam

tarvitada: kui kogu vesi purgist *b* anuma *a* kaudu on üle läinud purki *c*, võib purgid ümber vahetada ja



Joonis 62. Heroni purskkaevu praegusaegne kuju. Ülal — taldriku seade variant.



Joonis 63. Purskkaev, mis töötab elavhõbeda rõhu mõjul. Joa kõrgus on umbes kümme korda suurem elavhõbeda nivoode kõrguste vahest.

purskkaev hakkab uuesti töötama; muidugi ei tohi unustada otstükki kinnitada teisele torule.

Muudetud purskkaevu teine paremus seisneb selles, et on võimalik vabalt muuta purkide asendit ja uurida, kuidas mõjub nivoodevaheline kaugus joa kõrgusesse.

Kui soovite joa kõrgust mitu korda suurendada, siis saate seda teostada sel teel, et asendate purkides vee elavhõbedaga ja õhu veega (joon. 63). Riista töötamisviis on arusaadav: elavhõbe, voolates purgist c purki b , surub sellest vee joana välja. Teades, et elavhõbe on $13\frac{1}{2}$ korda raskem veest, saame välja arvutada kõrguse, milleni tõuseb veejuga purskkaevus. Olgu nivoode vahed vastavalt h_1 , h_2 ja h_3 . Nüüd leiame, milliste tungide mõjul elavhõbe voolab anumast c (joon. 63) anumasse b . Elavhõbe on ühendavas torus kahepoolse rõhu all. Paremtalt poolt mõjub elavhõbesammaste vahe h_2 (see rõhumine on $13\frac{1}{2}$ korda suurem vastava veesamba rõhumisest, s. o. $13\frac{1}{2} \cdot h_2$) pluss veesamba h_1 rõhumine. Pahemalt poolt rõhub veesambas h_3 . Kokkuvõttes liigub elavhõbe tungi

$$13\frac{1}{2} \cdot h_2 + h_1 - h_3 \text{ mõjul.}$$

Aga $h_3 - h_1 = h_2$; asendades $h_1 - h_3$ võrdse suuruse h_2 -ga, saame

$$13\frac{1}{2} h_2 - h_2, \text{ s. o. } 12\frac{1}{2} h_2.$$

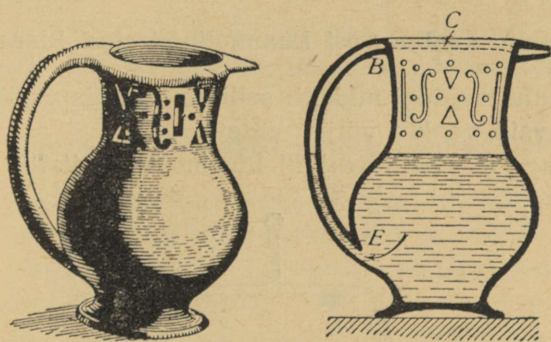
Seega liigub elavhõbe anumasse b rõhu all, mis võrdub niisuguse veesamba rõhuga, mille kõrgus on $12\frac{1}{2} \cdot h_2$. Seepärast peabki joa kõrgus teoreetiliselt võrduma anumate elavhõbedanivoode vahega, korrutatud $12\frac{1}{2}$ -ga. Hõõrdumine vähendab teatava määrani seda teoreetiliselt saadud kõrgust.

Sellest hoolimata annab kirjeldatud riist hõlpsa võimaluse kõrgele purskava veejoa saamiseks. Näiteks kui soovitakse saada juga, mille kõrgus oleks 10 meetrit,

tuleb üks anum tõsta teisest umbes ühe meetri võrra kõrgemale. On huvitav, et taldriku *a* kõrgus, nagu näitab arvutus, ei mõju joa kõrgusele.

Petlikud anumad.

Vanasti — XVII ja XVIII sajandil — lõbustasid suurnikud end järgmise õpetliku mänguajaga: valmistati kruus või kann, mille ülemises osas olid suured mustriksid väljalõiked (joon. 64). Sellist veiniga täide-



Joonis 64. XVIII sajandi petlik kruus ja selle ehituse saladus.

tud kannu pakuti mõnele vähemtähtsale külalisele, kelle kulul võis karistamatult nalja teha. Kuidas juua niisugusest kannust? Kallutada ei saa: vein jookseb paljudest avaustest välja, aga suhu ei tule tilkagi. Toimub nii nagu muinasjutus:

Mõdu, õlut jõi,
ainult vurrud tegi märjaks.

Kuid see, kes tundis selletaoliste kannude saladust, nagu on näidatud joonisel 64 paremal, see sulges

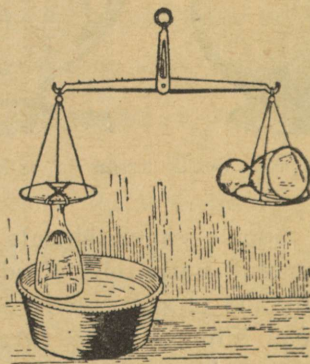
sõrmega avause *B*, võttis suhu kannunoka ja hakkas kannu kallutamata vedelikku imema: vein voolas läbi avause *E* käepidemesse peidetud torru ja jõudis sealt kannunokka selle toru pikendust mööda, mis oli peidetud kannu ülemisse serva.

Mitte väga ammu valmistasid niisuguseid kanne meie pottsepad. Uhes perekonnas juhtusin ma nägema sellise töö näidist, mille ehituse saladus oli üsna osavalt varjatud; kannul oli pealkiri „joo, kuid ära ennast märjaks tee“.

Kuupalju kaalub vesi kummulipööratud klaasis?

„Ei kaalu muidugi midagi: sellises asendis vesi ei püsi klaasis, vaid voolab välja,“ ütlete.

„Kui aga ei voola välja?“ küsin. „Mis siis?“



Joonis 65. Kumb kaalukauss on raskem?

On ju tõepoolest võimalik vett hoida kummulipööratud klaasis nõnda, et ta sellest välja ei voolaks. Selline juhtum on kujutatud joonisel 65. Kummulipööratud klaas-

peeker on kinnitatud põhjapidi ühe kaalukausi külge. Peeker on täidetud veega; see aga ei voola välja, sest peekri äär on paigutatud veeanumasse. Teisel kaalu kausil on samasugune tühi peeker.

Kumb kaalukauss on raskem?

Raskem on see kaalukauss, mille külge on kinnitatud kummulipööratud peeker veega. Sellele peekrile mõjub õhurõhumine ülalt, alt aga õhurõhumine, mis on vähenatud peekris oleva vee raskuse võrra. Kaalude tasakaalustamiseks tuleb ka teisel kausil asetsev peeker täita veega.

Järelikult mainitud tingimustel kaalub vesi kummulipööratud peekris niisama palju kui püstiseisvas peekris.

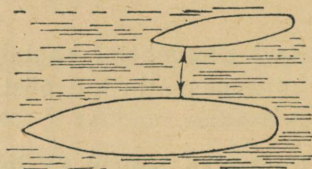
Mispärast tõmbavad laevad üksteist külge?

1912. aasta sügisel juhtus ookeaniaurikuga „Olympic“, mis oli tol ajal üks suuremaid laevu maailmas, järgmine lugu. „Olympic“ sõitis ulgumerel. Temaga peaaegu rööbiti, saja meetri kaugusel temast, liikus suure kiirusega teine, palju väiksem laev — soomusristleja „Hawk“. Kui laevad olid niisuguses vastastikusel asendis, nagu on kujutatud joonisel 66, juhtus midagi ootamatut: väiksem laev kaldus teelt hoogsalt kõrvale, näis, nagu oleks teda külge tõmmanud mingi nähtamatu tung; ta pöördus oma käilaga suurema laeva poole ja, kuulamata tüüri, liikus otse selle peale. Toimus kokkupõrge. „Hawk“ tungis oma käilaga „Olympic’u“ küljesse; põrge oli nii tugev, et „Olympic’u“ pardasse tekkis suur auk.

Kui see kummaline juhtum oli arutusel merekohtus, tunnistati süüdlaseks hiiglalaeva „Olympic’u“ kapten, seepärast et ta — nagu lausus kohtuotsus — ei andnud teed risti eest möödastõitvale „Hawk’ile“.

Järelikult ei näinud kohus siin midagi ebatavalist: ei muud midagi, kui lihtne kapteni juhtimisoskuse puudumine. Tegelikult toimus siin täiesti ettenägematu asjaolu — nimelt laevade vastastikune külgetõmme merel.

Niisuguseid juhtumeid on tõenäoliselt ka varem esinenud kahe laeva rööbiti liikumisel. Aga seni, kuni ei ehitatud väga suuri laevu, ei ilmnenu see nähtus nii tugeval kujul. Alles viimaseil aastail, kui ookeanil hak-



Joonis 66. Aurikute „Olympic“ ja „Hawk“ asend enne kokkupõrget.

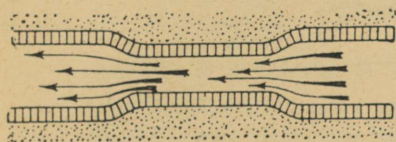
kasid vagusid lõikama „ujuvad linnad“, muutus laevade vastastikune külgetõmme palju tunduvamaks; seda asjaolu peavad arvestama sõjalaevade komandörid laevade manööverdamisel.

Väikeste laevade hulgalised avariid möödasoitmisel suurtest reisijate- ja sõjalaevadest on olnud tõenäoliselt tingitud sellest asjaolust.

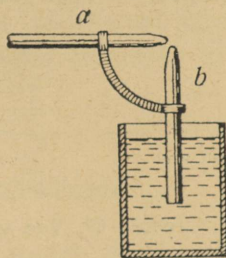
Kuidas seletada seda külgetõmmet? Muidugi ei või siin olla juttugi külgetõmbest Newtoni kogumaailmse külgetõmbeseaduse alusel; nagu juba nägime (IV ptk.), on see tõmbumine liialt väike. Nähtuse põhjus on hoopis teissugune ja seletub nende seadustega, mis kehtivad vedelikkude voolamise kohta torudes ja kanalites. Võib tõestada, et kui vedelik voolab piki kanalit, mille

on kitsamad ja laiemad kohad, siis kanali kitsamates kohtades voolab ta kiiremini ja rõhub kanali seintele nõrgemini kui laiemates kohtades, kus ta voolab aeglasemalt ja avaldab seintele suuremat rõhumist (nn. Bernoulli printsiip).

Sama on kehtiv ka gaaside kohta. Seda nähtust nimetatakse gaaside õpetuses Clément-Desormes'i efektiks (efekti avastanud füüsikute järgi) ja sageli ka „aerostaatiliseks paradoksiks“. Esmakordselt, nagu rää-



Joonis 67. Toru kitsastes osades voolab vesi kiiremini, kuid rõhub seintele nõrgemini kui laiaades osades.

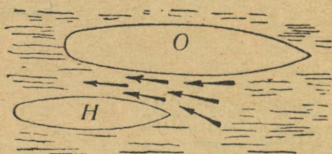


Joonis 68. Pulverisaator.

gitakse, pandi seda nähtust juhuslikult tähele järgmiste asjaolude tõttu. Uhes Prantsuse kaevanduses kästi töölisel katta kilbiga avaus välisstollis, mille kaudu juhiti šahti tihendatud õhku. Tööline mässas kaua šahti sissetungiva õhujoaga, kuid äkki sulges kilp iseendast avause nii jõuliselt, et kui ta poleks küllalt suur olnud, oleks ta tõmmatud ventilatsiooniluuki koos ehmunud töölisega. Muuseas seletub gaasivoolu selle omadusega ka pulverisaatori toime. Kui me puhume (joon. 68) torusse *a*, mille ots on ahendatud, siis õhk, läbides kit-

suse, vähendab oma rõhumist. Nii väheneb toru b peal oleva õhu rõhumine ja seepärast tõusebki vedelik välisõhu rõhumise mõjul anumast toru b kaudu üles; toru b otsa juures satub vedelik torust a tulnud õhujoasse ja pihustub.

Nüüd mõistame, milles peitub laevade külgetõmbe põhjus. Kui kaks laeva liigub rööbiti teineteisega, siis nende vahel tekib otsekui veekanal. Harilikus kanalis on kanali seinad liikumatud, vesi aga liigub; siin on vastupidi — vesi seisab, liiguvad aga kanali seinad. Tun-



Joonis 69. Vee voolamine kahe liikuva laeva vahel.

gide mõju aga ei muutu selle tõttu põrmugi: liikuva kanali kitsamates kohtades avaldab vesi nõrgemat rõhumist kui ülejäänud ruumis. Teiste sõnadega: laeva küljed, mis on pööratud teineteise vastu, on väiksema rõhumise all kui laevade välimised osad. Mis peab siis toimuma selle tagajärjel? Laevad peavad välisvee surve mõjul liikuma teineteise poole ja loomulikult peab väiksem laev seejuures nihkuma enam, kuna massiivsem laev jääb pea-aegu paigale. Seepärast ilmnebki see külgetõmme iseäranis tugevalt, kui väikesest laevast sõidab mööda suur laev.

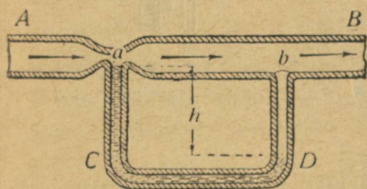
Seega on laevade vastastikune külgetõmme tingitud voolava vee imevast mõjust. Sellega seletatakse ka kärestike ohtu suplejaile, veekeeriste imevat mõju. Arvutused näitavad, et kiirusega 1 m sekundis liikuva

vee imev mõju on 30 kg! Sellisele tungile pole kerge vastu panna, eriti veel vees, kus meie keha enda kaal ei soodusta tasakaalu hoidmist. Lõpuks, kihutava rongi imev mõju leiab samuti oma seletuse Bernoulli printsiibis: kiiruse puhul 50 km tunnis tõmbab rong lähedalseisvat inimest külge umbes 8-kg-se tungiga.

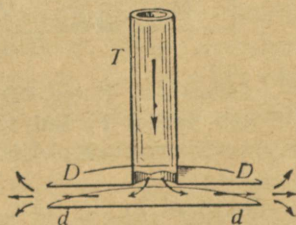
„Bernoulli printsiibiga“ seotud nähtused on mittespetsialistile siiski vähe tuntud, sellele vaatamata, et nad pole kuigi haruldased. Seepärast ongi tarvilik peatuda selle juures üksikasjalisemalt. Hiljem me toome katkendi populaarsest artiklist, mis on kirjutatud ühele populaarteaduslikule ajakirjale kaasaegse ameerika füüsiku, professor B. Franklini poolt.

Bernoulli printsiip ja selle järelmused.

See printsiip, mis esmakordselt väljendati Daniel Bernoulli poolt 1726. a., lausub: vee- või õhujoas on rõhk



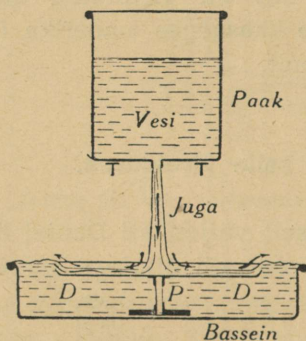
Joonis 70. Bernoulli printsiibi illustratsioon. Toru AB kitsas osas (a) on rõhmine väiksem kui laias osas (b).



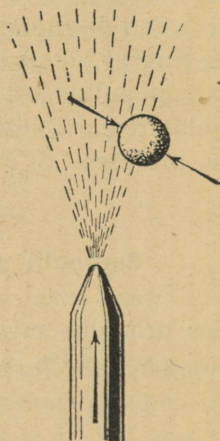
Joonis 71. Katse ketastega (vaata teksti).

suur, kui kiirus on väike, ja rõhk väike, kui kiirus on suur. Sellel printsiibil on teatavad kitsendused, kuid siin meie nende juures ei peatu.

Joonis 70 illustreerib seda printsiipi. Läbi toru *AB* puhutakse õhku. Kohal, kus toru läbilõige on väike (*a*), on õhu kiirus suur; kohal aga, kus läbilõige on suur (*b*), on õhu kiirus väike. Seal, kus kiirus on suur, on rõhk väike ja kus kiirus on väike, on rõhk suur. Väikese õhurõhu tõttu *a*-s tõuseb vedelik torus *C*; samal ajal suur õhurõhk *b*-s sunnib torus *D* vedelikku langema.



Joonis 72. Ketas *DD* tõuseb vardal *P*, kui temale langeb veejuga paagist *TT*.

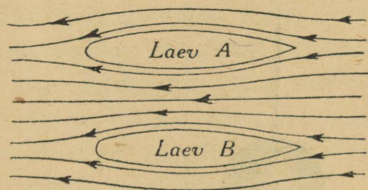


Joonis 73. Kera, mida hoiab ülal õhujuga.

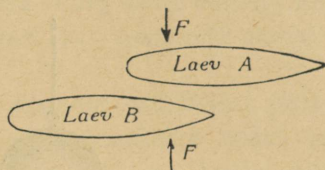
Joonisel 71 on toru *T*, mille läbi puhutakse õhku, kinnitatud vaskketta *DD* külge. Toru alumisest otsast välja tulnud, liigub õhk ketta *DD* ja vaba ketta *dd* vahele⁴³. Kahe ketta vahel on õhul esialgu suur kiirus, mis kiiresti väheneb õhuvoolu lähenemisel ketaste äärtele, sest

⁴³ Sama katset võib teostada lihtsamalt, kasutades niidirulli ja paberingi. Et ring ei libiseks kõrvale, kinnitatakse see nõõpnõelaga, mis läheb rulli kanalisse.

õhujoa läbilõige suureneb kiiresti ja tuleb ületada ka ketaste vahel oleva õhu inerts. Ketast dd väljastpoolt ümbritseva õhu rõhk on aga suur, sest kiirus on väike; kuid ketaste vahel on suure kiiruse tõttu õhurõhk väike. Seepärast avaldabki väljaspool kettaid olev õhk suuremat rõhumist kui ketaste vahel olev õhk. Tulemuseks on, et ketas dd surutakse vastu ketast DD seda tugevamini, mida tugevam on õhuvool torus T .



Joonis 74. Kaks rööbiti liikuvat laeva nagu tõmbaksid teineteist külge.

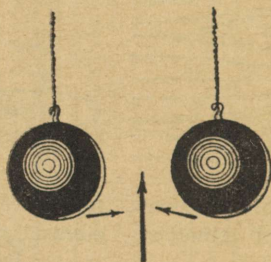


Joonis 75. Laevade edasilikumisel pöörduv laeva B nina laeva A poole.

Joonis 72 kujutab katset, mis on analoogiline katsega joonisel 71, kuid toimub veega. Kiiresti liikuv vesi ketast DD on madala tasemega ja tõuseb viimaks üle alumise ketta ülespainutatud ääre kõrgemale, kuni seisva vee tasemeni basseinis. Seepärast ongi seisval veel ketta all suurem rõhk kui liikuvale veel ketta peal ja järelikult ketas tõuseb üles. Varb P ei luba kettal kõrvale nihkuda.

Joonis 73 kujutab kerget kera, mis hõljub õhujoas. See õhujuga, pörgates vastu kera, ei lase tal alla kukkuda. Kui kera väljub õhujoast, siis ümbritsev õhk lükab ta otsekohe tagasi, sest ümbritseva õhu rõhumine on väikese kiiruse tõttu suur, kuna aga õhujoas suure kiiruse tõttu on rõhumine väike.

Joonis 74 kujutab kaht laeva, mis liiguvad kõrvuti vaikselt vees, või, mis on sisuliselt sama, kaht kõrvuti seisvat laeva neist mööda voolavas vees. Ruumis laevade vahel on veejuga kokku surutud ja seepärast on vee kiirus siin suurem kui ruumis väljaspool laevu. Seega on vee rõhk laevade vahel väiksem rõhust väljaspool laevu; selle tagajärjel laevad lähenevad teineteisele. Meremeestel on hästi teada, et kahe kõrvuti sõitva laeva vahel mõjub külgetõmme.



Joonis 76. Kui puhkuda õhku kahe kerge kera vahele, siis lähenevad nad teineteisele kuni kokkupuutumiseni.

Tõsisem juhtum võib esineda siis, kui üks laev liigub teisele järele, nagu on kujutatud joonisel 75. Kaks tungi — F ja F , mis lähendavad üht laeva teisele, püüavad neid pöörata. Seejuures laeva B laeva A poole pöörava tungi mõju on õige tunduv. Kokkupõrge on niisugusel juhul peaaegu vältimatu, sest rool ei jõua nii ruttu muuta laeva suunda.

Nähtust, mida on kirjeldatud ühenduses joonisega 74, võib demonstreerida selliselt, et puhutakse õhku kahe kerge ülesriputatud kummipalli vahelt läbi, nii nagu on näidatud joonisel 76. Seejuures kummipallid lähenevad teineteisele ja põrkavad kokku.

Kalade ujupõie ülesanne.

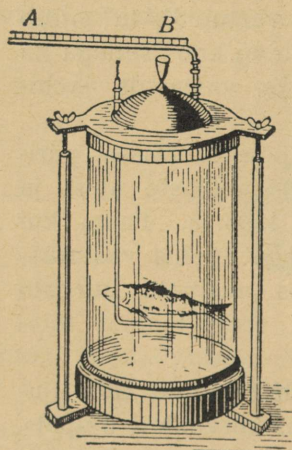
Sellest, millist osa etendab kaladel ujupõis, räägitakse ja kirjutatakse tavaliselt järgmist. Kui kala soovib tõusta sügavusest ülemistesse veekihtidesse, siis ta paisutab oma ujupõit; ta keha ruumala suureneb, väljasurutud vee kaal läheb suuremaks ta kehakaalust ja ujumiseaduse põhjal tõuseb kala üles. Soovib ta aga katkestada oma tõusu või laskuda alla, siis, vastupidi, ta surub kokku oma ujupõie. Keha ruumala ning koos sellega ka väljasurutud vee kaal vähenevad ja, vastavalt Archimedese seadusele, kala laskub.

Säärane lihtsustatud kujutus ujupõie talitlusest pärineb Firenze akadeemia (XVII saj.) teadlaste ajast ja väljendati professor Borelli poolt 1685. a. Enam kui kahesaja aasta jooksul ei leidnud see õpetus vasturääkimist, ta juurdus õpikuis ja alles uuemate uurijate (Moreau, Charbonel) tööd näitasid selle teooria täielikku alusetust.

Pole kahtlust, et ujupõis on tihedalt seotud kala ujumisega, sest kalad, kelledelt katsetel kõrvaldati ujupõis, said ennast vees hoida ainult uimedega hooga töötamisega; selle töö lõppedes nad vajusid otsekohe põhja. Milles siis seisneb ujupõie tõeline ülesanne? See on väga piiratud: ta ainult võimaldab kalal viibida teatavas sügavuses, nimelt selles sügavuses, kus kala poolt väljatõrjutud vee hulk kaalub niisama palju kui kala ise. Kui aga kala, uimedega töötades, laskub madalamale sellest sügavusest, siis tõmbub ta keha suurema välisrõhumise tõttu kokku, surudes kokku ka põie; väljatõrjutud vee kaal väheneb, muutub väiksemaks kala kaalust ja kala langeb peatamatult. Mida madalamale ta langeb, seda suuremaks muutub vee rõhk (iga 10 m

kohta ühe atmosfääri võrra), seda enam surutakse kokku ka kala keha ja seda hoogsamalt toimub kala lange- mine.

Sama, ainult vastupidises suunas, toimub siis, kui kala, lahkudes sellest sügavusest, kus ta oli tasakaalus, tõuseb uimedega töötades kõrgemale. Ta keha, vabanenud välisrõhu survest ja tundes nagu seespoolset rõhumist



Joonis 77. Katse viidikaga.

ujupõie poolt (ujupõies oli kuni selle momendini gaasi rõhk tasakaalustatud vee välisrõhuga), paisub ja selle tagajärjel tõuseb veel kõrgemale. Mida kõrgemale tõuseb kala, seda enam paisub ta keha ja seda hoogsam on järel- kult ka tõus. Kala ei saa seda „põie kokkusurumisega“ takis- tada, sest ta ujupõie seintel puu- duvad lihased, mille abil ta võiks selle ruumala omal tahtel muuta.

Et selline keha ruumala pas- siivne suurenemine kaladel tõesti toimub, näitab järgmine

katse (joon. 77). Viidikas asetatakse kloroformitud olekus kinni- sse anumasse veega, milles hoitakse alal säärane suu- rendatud rõhk, nagu see on loomulikel tingimustel tea- tavas sügavuses. Veepinnal lamab kala liikumatult, kõht ülal. Asetatuna veidi sügavamale vette, tõuseb ta jälle pinnale. Asetatuna aga põhja lähedale, vajub ta põhja. Nende kahe sügavuse vahel on aga olemas veekiht, mil- les kala on tasakaalus, ta ei upu ega tõuse ka kõrge- male. Kõik see on arusaadav, kui meenutada äsjaöeldut passiivsest paisumisest ja ujupõie kokkutõmbumisest.

Seega, levinud arvamuse kiuste, ei saa kala sugugi tahtlikult suurendada või vähendada oma ujupõit. Selle ruumala muutumised toimuvad passiivselt välisrõhu suurenemise või vähenemise tagajärjel (vastavalt Boyle-Mariotte'i seadusele). Need ruumala muutumised pole kalale kasulikud, vaid, otse vastupidi, kahjulikud, sest nad tingivad peatamatut, üha kiirenevat langemist põhjale või jälle samasugust peatamatut ja kiirenevat tõusu veepinnale. Teiste sõnadega, ujupõis lubab kalal hoida liikumatus asendis tasakaalu, aga ainult püsimatut tasakaalu.

Kalurite tähelepanekud kinnitavad öeldut. Kalapüügil suurest sügavusest juhtub, et üks või teine kala nooda väljatõmbamisel pääseb sellest poolel teel; vastu ootust see kala aga ei lasku alla, sinna, kust ta püüti, vaid, vastupidi, tõuseb hoogsalt veepinnale. Selliste kalade puhul võib mõnikord täheldada, et ujupõis sopistub suust välja.

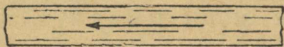
Niisugune on kalade ujupõie tõeline talitlus, kui rääkida ujumisest; kas tal on täita veel teisi funktsioone kala organismis ja missuguseid nimelt, pole teada; nii et see organ on praegugi veel mõistatuslik. Ainult tema hüdrostaatilist funktsiooni võib praegusel ajal pidada täielikult selgitatuks.

Lained ja keerised.

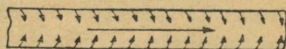
Paljusid igapäevaseid füüsikalisi nähtusi ei saa seletada füüsika elementaarsete seadustega. Isegi niisugune sageli vaadeldav nähtus, nagu mere lainetus tuulise ilmaga ei lase ennast ammendavalt seletada koolifüüsika kursuse alusel. Millest on tingitud lained, mis levivad vaikselt vees sõitva auriku käilast? Mispärast leh-

vivad lipud lainjalt tuulise ilmaga? Mispärast on liiv merekaldal asetatud laineliselt? Mispärast keerleb vabriku korstnast väljuv suits pilvena?

Selleks et seletada neid ja teisi selliseid nähtusi, peab tundma vedelike ja gaaside nõndanimetatud keerilise liikumise iseärasusi. Püüame siin jutustada veidi keeristest ja ära märkida nende põhiomadusi, sest kooliõpikuis neid vaevalt puudutatakse.



Joonis 78. Ladus (laminaarne) vedeliku voolamine torus.



Joonis 79. Keeriseline (turbulentne) vedeliku voolamine torus.

Kujutleme vedelikku, mis voolab torus. Kui vedeliku kõik osad liiguvad piki toru rööbikuil sirgeil, siis on meil tegemist vedeliku liikumise lihtsaima juhuga, meie ees on rahulik või, nagu füüsikud nimetavad, laminaarne voolamine. Siiski pole see sugugi sagedaim juhtum. Vastupidi, palju sagedam on vedelike mitterahulik voolamine torudes; toru seintelt liiguvad selle telje poole keerised. See on keeriseline ehk turbulentne voolamine. Nõnda voolab näiteks vesi veevärgi torus (kui mitte arvestada kitsaid torusid, milledes voolamine on laminaarne). Keeriseline voolamine toimub iga kord, kui antud vedeliku liikumise kiirus torus (antud läbimõõdu puhul) tõuseb tuntuks suuruseni, nõndanimetatud kriitilise kiiruseni⁴⁴.

⁴⁴ Mingi vedeliku kriitiline kiirus on võrdeline vedeliku püdelusega ning pöördvõrdeline vedeliku tihedusega ja vedelikku juhiva toru läbimõõduga. (Lähemalt V. L. Kirpitševi raamatus „Vestlused mehhaanikast“, seitsmes vestlus; raamat on vene keeles.)

Torus voolava vedeliku keeriseid võib teha silmale nähtavaks, raputades klaastorus voolavasse läbipaistvasse vedelikku veidi kergelt pulbrit, näiteks lükopoodiumi. Siis on keerised, mis liiguvad toru seintelt selle telje poole, hästi nähtavad.

Seda keeriselise voolamise omadust kasutatakse külmutusriistade ja jahutajate ehitamisel. Turbulentsel voolamisel jahutatavate seintega torus viib vedelik oma osad kokkupuutumisse toru jahutatud seintega palju kiiremini, kui see toimub keeristeta voolamisel; tuleb meles pidada, et vedelikud iseendast on halvad soojusjuhid, ja kui neid mitte segada, siis jahenevad ja soojenevad nad väga aeglaselt. Elav soojuse- ja ainevahe- tus kudedega vere kaudu on võimalik ka ainult seepärast, et vere voolamine veresoontes on keeriseline, mitte aga laminaarne.

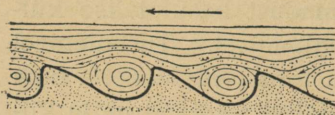
Kõik, mis on öeldud torude kohta, on samal määral kehtiv ka lahtiste kanalite ja jõgede kohta: kanalites ja jõgedes voolab vesi turbulentselt. Jõevoolu kiiruse täpsel määramisel näitavad mõõtmisriistad pulsatsioone, eriti põhja lähedal: pulsatsioonid vihjavad voolu suuna alatisele muutumisele, s. o. keeristele. Jõevee osad ei liigu mitte ainult jõesängi mööda, nagu tavaliselt kujutletakse, vaid ka kallastelt keskele. Seepärast pole ka õige väide, nagu oleks jõe põhjas aasta läbi vee temperatuur $+4^{\circ}\text{C}$: segunemise tagajärjel on voolava vee temperatuur jõe (mitte järve) põhja lähedal niisama kõrge kui veepinnal ⁴⁵.

Keerised, mis tekivad jõe põhjas, viivad kaasa kergelt liiva ja tikitavad siin „liivalaineid“. Sedasama võib näha

⁴⁵ Vt. minu raamat „Kas tunnete füüsikat?“ § 133 (vene keeles).

ka merekaldal, mida uhuvad pealejooksvad lained (joon. 80). Kui vee voolamine põhja läheduses oleks rahulik, siis oleks liival põhjas tasane pind.

Niisiis tekivad keerised vee poolt uhutavate kehade läheduses. Nende tekkimisest räägib meile näiteks madu-

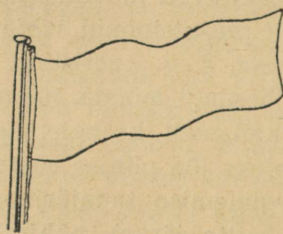


Joonis 80. Liivalainete tekkimine merekaldal veekeeriste mõjul.



Joonis 81. Nööri laineline liikumine voolavas vees on tingitud keeriste tekkimisest.

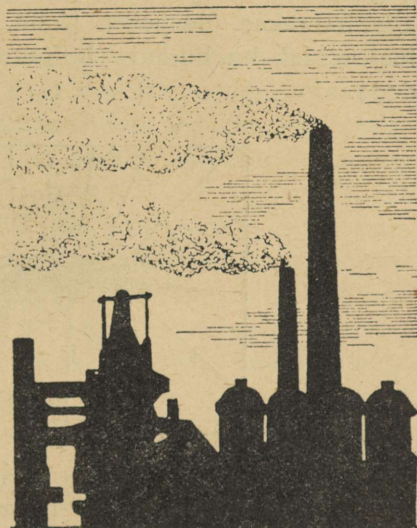
jalt keerlev nõör, mida tõmmatakse piki veevoolu (kui nõöri üks ots on kinnitatud, teine aga on vaba). Mis siin toimub? See nõöri osa, mille juures tekkis keeris, liigub koos sellega; järgmisel hetkel liigub see osa aga juba uue keerise mõjul vastassuunas, tekib madujas vingerdamine (joon. 81).



Joonis 82. Tuules lehviv lipp.

Vedelikelt siirdume gaaside juurde, veest õhu juurde. Kes poleks näinud, kuidas õhukeerised võtavad maast endaga kaasa tolmu, õlgi jms.? Siin väljendub õhu keeriseline voolamine Maa pinda mööda. Kui aga õhk voo-

lab veepinda mööda, siis kohtades, kus tekivad keerised, tõuseb õhurõhu vähenemise tagajärjel vesi kühmunna üles, tekib lainetus. Samal põhjusel tekivad liivalained kõrves ja luidete nõlvakuil (joon. 83).

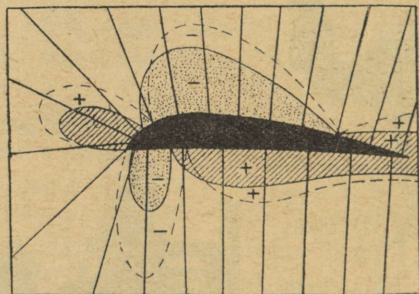


Joonis 83. Liiva laineline pind kõrves.

Joonis 84. Vabrikukorstnast väljuvad suitsupilved.

Nüüd on ka kergesti arusaadav, mispärast tuulise ilmaga lehvib lipp lainjalt: temaga toimub sama, mis toimub voolavas vees nõoriga. Tuulelipu plaat ei säilita tuule suhtes kindlat asendit, vaid, alludes keeristele, võngub kogu aeg. Samasuguse keeriselise päritoluga on ka suitsupilved, mis väljuvad vabrikukorstnast; põlemisel tekkinud gaasid voolavad läbi korstna keeriseliselt ja säilitavad inertsit tõttu niisuguse voolamise veel mõnda aega pärast korstnast lahkumist (joon. 84).

Õhu turbulentse liikumise tähtsus on suur lennuasjanduses. Lennuki tiibadele antakse niisugune kuju, millel õhuhõrendusruum tiibade all on täidetud tiiva materjaliga, kuna tiiva peal, vastupidi, suurendatakse keerise mõju. Tulemuseks on, et alt surutakse tiib üles, pealt aga imetakse ülespoole (joon. 85). Samasuguseid nähtusi esineb ka lindude hõljumisel laialisirutatud tiibadega.



Joonis 85. Missuguste tungide mõju all on lennuki kandepind („tiib“). Õhutihenduste (+) ja -hõrenduste (—) jaotus lennuki tiival uusimate katsete põhjal. Kõigi tiivale rakendatud suruvate ja imevate mõjude tagajärjel tõuseb tiib õhku. (Pidevad jooned näitavad rõhkude jaotust; sedasama näitab punktiir lennukiiruse järsul suurendamisel.)

Kuidas mõjub tuul, mis puhub katusele? Katuse peal tekitavad keerised õhu hõrenduse; õhk, püüdes võrdsustada rõhumist, tungib katuse alt üles ja surub katusele. Tagajärg on niisugune, mida me kahjuks sageli näeme: kerge, halvasti kinnitatud katuse viiakse tuule poolt minema. Samal põhjusel surutakse suured aknaruudud tugeva tuulega seest välja (ei purune mitte välise surve mõjul).

Need nähtused seletuvad siiski lihtsamini rõhu vähenemisega liikuvus õhus (vt. Bernoulli printsiip, lk. 151).

Kui kaks erineva temperatuuri ja niiskusega õhuvoolu liigub teineteisest mööda, siis tekivad kummaski neist keerised. Pilvede kuju mitmekesisus ongi suurel määral sellest tingitud.

Me näeme, milline suur nähtuste valdkond on seotud keeriselise voolamisega. Kuid keeriste seaduspärasused ise pole veel kaugeltki läbi uuritud: see ala teeb matemaatilisele uurimisele tohutuid raskusi, millede ületamine seisab teadusel veel ees.

Kes soovivad tutvuda äsjapuudutatud küsimustega tõsise ja süstemaatilise raamatu kaudu, sellele võib soovitada P. M. Širmanovi „Aerodünaamika kursust“ (vene keeles); see käsiraamat on silmapaistev oma esituse selguselt ega eelda lugeja poolt kõrgema matemaatika tundmist.

Reis maapõue.

Ükski inimene pole veel laskunud Maa sisse sügavemale kui $2\frac{1}{2}$ km, Maakera raadius on aga 6400 km. Maa keskpunktini jääb veel üsna pikk tee. Sellest hoolimata laskis leidlik Jules Verne sügavasse maapõue oma kangelased — veidrik-professori Liedenbrock'i ja tema vennapoja Akseli. Romaanis „Reis Maa keskpunkti“ jutustab kirjanik nende allmaa-reisijate imelikest seiklustest. Ootamatuste hulgas, millega nad kokku puutusid maa all, oli muuseas ka õhu tiheduse suurenemine. Tõustes üles hõreneb õhk kiiresti: õhu tihedus väheneb geomeetrilises jadas, kuna tõusu kõrgus suureneb aritmeetilises jadas. Vastupidi, laskumisel allapoole mere-

pinda peab õhk peallasuvate kihtide rõhumise tagajärjel järjest muutuma tihedamaks. Allmaa-reisijaile ei võinud see asjaolu muidugi jääda kahe silma vahele.

Teadlasest onu ja tema vennapoja vahel toimus 12 miili (48 km) sügavuses järgmine kõnelus:

„„Vaata, kui palju näitab manomeeter?“ küsis onu.

„Väga suurt rõhku.“

„Nüüd sa näed, et laskudes vähehaaval, meie kohastume tihendatud õhuga järk-järgult ega kannata sugugi seetõttu.“

„Kui mitte arvestada valu kõrvades.“

„Tühi asi.“

„Hüva,“ vastasin, et mitte onule vastu rääkida. „Olla tihendatud õhus on isegi meeldiv. Teie täheldasite, kui valjuult kostavad selles hääled?“

„Muidugi. Selles õhus kuuleb isegi kurt.“

„Õhk muutub üha tihedamaks. Kas ta lõppude lõpuks ei lähe nii tihedaks kui vesi?“

„Muidugi: see on rõhul 770 atmosfääri.“

„Aga veel sügavamal?“

„Tihedus suureneb veelgi.“

„Kuidas me siis saame laskuda?“

„Täidame taskud kividega.“

„Teil, onu, on aga igale küsimusele vastus!“

Ma ei laskunud enam mõistatuste valdkonda, sest võib-olla oleksin tulnud jälle mõnele takistusele, mis oleks vihastanud onu. Kuid oli ilmne, et mõne-tuhandaatmosfäärise rõhu all võib õhk üle minna tahkese olekusse, ja siis, oletades, et talume isegi sellist rõhku, peame siiski peatuma. Siin ei aita juba mingid vaidlused.“

Fantaasia ja matemaatika.

Nii jutustab romaanikirjanik; aga kui kontrollida fakte, milledest on romaanis juttu, siis saadakse teine pilt. Selleks pole meil vaja laskuda maapõue; väikeseks õppekäiguks füüsika valdkonda aitab, kui end varustada paberi ja pliatsiga.

Kõigepealt katsume määrata, kui sügavale tuleb laskuda, et õhurõhk suureneks ühe tuhandiku võrra. Õhu normaalrõhk võrdub 760-mm-se elavhõbedasamba rõhuga. Kui me asetseksime mitte õhus, vaid elavhõbedas, siis tuleks laskuda $\frac{760}{1000} = 0,76$ mm sügavusele, et rõhk suureneks ühe tuhandiku osa võrra. Õhus aga tuleb muidugi laskuda palju sügavamale ja nimelt niimitu korda enam, mitu korda on õhk kergem elavhõbedast — 10 500 korda. Tähendab, selleks et rõhk suureneks ühe tuhandiku osa võrra normaalrõhust, tuleb laskuda mitte 0,76 mm võrra nagu elavhõbedas, vaid $0,76 \cdot 10\,500$, s. o. peaaegu 8 m sügavusele. Kui meie nüüd laskume veel 8 m sügavamale, siis suureneb rõhk veel ühe tuhandiku võrra oma suurusest jne.⁴⁶ Millises kõrguses me ka oleks, kas „maailmalae“ (22 km) lähedal, kas Everesti (9 km) tipul või jällegi merepinnal — meil tuleb ikkagi laskuda 8 m võrra, et õhurõhk tõuseks ühe tuhandiku osa võrra oma esialgsest suurusest. Järelikult saadakse õhurõhu suurenemise kohta sügavuse suurenemisel niisugune tabel:

⁴⁶ Järgmine 8 m paksune õhukiht on tihedam eelmisest, järelikult on rõhu juurdekasv suurem kui eelmises kihis. Ja ta peabki suurem olema, sest tuhandik võetakse suuremast arvust.

Maapinnal on rõhk 760 mm, s. o. normaalne;

sügavuses 8 m on rõhk = 1,001 normaalrõhust

„ 2 · 8 m „ „ = (1,001)² „

„ 3 · 8 m „ „ = (1,001)³ „

„ 4 · 8 m „ „ = (1,001)⁴ „

Üldiselt, sügavuses $n \cdot 8$ m on õhurõhk normaalrõhust suurem $(1,001)^n$ korda. Seni, kuni rõhk pole väga suur, suureneb ka õhutihedus niisama palju kordi (Mariotte'i seadus).

Et romaanis on jutt ainult 48-km-sest sügavusest, siis võime raskustungi vähenemise ja sellega seoses oleva õhu kaalu vähenemise arvestamata jätta.

Nüüd võib arvutada, kui suur oli näiteks see õhurõhk, mida pidid taluma Jules Verne'i allmaa-reisijad 48 km (48 000 m) sügavuses. Meie valemis n võrdub $\frac{48000}{8} = 6000$. Tuleb arvutada $1,001^{6000}$. Et korrutada 1,001 iseendaga 6000 korda on küllaltki igav ja aegaviitev toiming, siis teeme seda logaritmidel abil, millede kohta ütles Laplace õigustatult, et need, lühendades tööd, kahekordistavad arvutajate eluiga⁴⁷. Logaritmidel saame:

$$6000 \cdot \log 1,001 = 6000 \cdot 0,00043 = 2,6.$$

Logaritmi 2,6 põhjal leiame otsitava arvu; see on 400.

⁴⁷ See, kes on koolist kaasa toonud ebasõbralikud tunded logaritmidel tabeli vastu, võib-olla muudab oma suhtumist sellesse, kui ta tutvub iseloomustusega, mille andis logaritmidel suur prantsuse astronoom. Siin on see lõige „Maailma süsteemi esitusest“: „Logaritmidel leiutamine, lühendades mitu kuud kestvad arvutused paaripäevaseks tööks, otsekui kahekordistab astronoomide eluiga ja vabastab nad vigadest ning väsimusest, mis on paratamatult seotud pikkade arvutustega. See leiutis on seda

Niisiis, 48 km sügavusel on õhurõhk 400 korda suurem normaalarõhust; õhu tihedus on niisuguse rõhu puhul, nagu katsed näitavad, 315 korda suurem. See pärast ongi kahtlane, et meie allmaa-reisijad kuidagi selle rõhu all ei kannatanud, tundes ainult „valu kõrvades“. Jules Verne'i romaanis räägitakse veel suuremaistki sügavustest, nimelt 120 ja isegi 325 km-st, mileni olevat inimene laskunud. Õhurõhk peaks neis sügavustes olema koletu; inimene võib tervist kahjustamata taluda rõhku mitte üle kolme-nelja atmosfääri.

Kui me sama valemi põhjal tahaksime välja arvutada selle sügavuse, kus õhul on samasugune tihedus kui veel, s. o., kus ta on tihenend 770 korda, siis saaksime 53 km. See tulemus pole aga õige, sest suurte rõhkude puhul pole gaasi tihedus enam võrdeline rõhuga. Mariotte'i seadus on täiesti õige ainult rõhkude puhul, mis pole suuremad kui 100 atmosfääri. Siin on toodud andmed õhu tiheduse kohta, mis on saadud katseist:

Rõhk	Tihedus
200 atmosfääri	190
400 " 	315
600 " 	387
1500 " 	513
1800 " 	540
2100 " 	564

Tiheduse suurenemine jääb, nagu näeme, tunduvalt maha rõhu suurenemisest. Asjatult lootis Jules Verne'i

meelitavam inimese mõistusele, et ta täies ulatuses on ammutatud sellest lätest (s. o. mõistusest). Tehnikas kasutab inimene oma vägevuse suurendamiseks teda ümbritseva looduse materjale ja jõude; logaritmidest on aga kõik ta oma mõistuse saavutus.

teadlane saavutada sügavust, kus õhu tihedus on suurem vee tihedusest; seda poleks tal õnnestunud saavutada, sest õhk muutub niisama tihedaks kui vesi alles 3000-atmosfäärilise rõhu puhul, ja kaugemal peaaegu enam ei tihene. Sellest aga, et viia õhk tahkesse olekusse ainult rõhu suurendamisega, ilma tugeva jahutamiseta (alla -146°C), ei saa olla juttugi.

Kuid õiglus nõuab märkimist, et ülalmainitud romaanilms hulk aega enne seda, kui said tuttavaks praegu esitatud faktid. See asjaolu annab autorile õigustuse, kuigi see jutustust ei paranda.

Kasutagem eeltoodud valemit, et arvutada šahti suurimat sügavust, kus inimene võiks oma tervist kahjustamata veel viibida. Suurim õhurõhk, mida võib taluda meie organism, on 3 atmosfääri. Tähistades šahti otsitava sügavuse x -ga, saame võrrandi:

$$(1,001)^{\frac{x}{8}} = 3.$$

Logaritmides saame, et $x = 8,9$ km.

Seega võiks inimene viibida kahjutult peaaegu 9 km sügavuses. Kui Vaikne ookean peaks äkki kuivama, siis peaaegu kõikjal tema põhjas võiksid inimesed elada.

Maailma sügavaimas šahtis.

Kes on kõige lähemale jõudnud Maa keskpunktile — kuid mitte kirjaniku fantaasias, vaid reaalses tõelikkuses? Muidugi mäekaevurid. Me juba teame (vt. IV ptk.), et sügavaimad šahtid maailmas on kaevatud Lõuna-Aafrika kullaväljadel ja Brasiilias: nende sügavus on enam kui kaks kilomeetrit. Siin pole juttu sügavusest,

milleni ulatub puurimispeitel ja mis teatavail juhtudel võib olla 3 kuni 3 $\frac{1}{4}$ km ja isegi rohkem⁴⁸, vaid jutt on inimeste poolt tehtud kaevandustest. Prantsuse kirjanik doktor Luc Durtaine, kes isiklikult külastas Brasiilia šahti, kirjutab sellest:

„Kuulsad Morro Velho küllakaevandused asetsevad 400 km kaugusel Rio de Janeirost. Pärast 16-tunnist sõitu kaljusele maastikule rajatud raudteel te laskute sügavasse orgu, mis on piiratud džunglitega. Siin kaevandab inglise kompanii kullasooni niisuguses sügavuses, milleni pole inimene kunagi varem tunginud.

Kullasoon läheb kaldu sügavusse. Šaht järgneb sellele kuue astanguga. Püstšahtid on kaevud, rõhtšahtid on tunnelid. On väga iseloomustav praegusele ühiskonnale, et sügavaim šaht, mis on kaevatud Maakera koorresse, julgeim katse tungida planeedi põue, on tehtud kullaotsinguis.

Tõmmake selga purjeriidest tööriivas ja nahkkuub. Ettevaatlikumalt: vähimigi kivikene, mis kukub kaevu, võib teid vigastada. Meid saadab üks šahti „kapteneist“. Te asute esimesse tunnelisse. Teid paneb värehtama jääkülma 4⁰-line tuul: see on ventilatsioon šahti sügavate osade jahutamiseks.

Läbi sõitnud kitsas metallpuuris esimese 700 m sügavuse kaevu, te satute teise tunnelisse. Laskute teise kaevu: õhk muutub soojemaks. Te olete juba allpool merepinda.

Alates järgmisest kaevust õhk juba põletab nägu. Te olete jõudnud lõpuks kuulsa kaevu nr. 43 juurde. Higist

⁴⁸ Kõige sügavam puurauk maailmas puuriti naftajahil Texases, sügavuseni 3835 m. Otsingud osutusid tulemustetuks ja puurauk likvideeriti (1935. a.).

märg, küürakil madala lae tõttu, te liigute puurimis-
masinate mõirgamise poole. Tihedas tolmus töötavad
peaaegu alasti inimesed; neist voolab higi, käed anna-
vad vahetpidamatult edasi pudelit veega. Ärge puudu-
tage äsja lahtilöödud maagitükke: nende temperatuur
on 57°.

Milline on siis selle hirmsa, vastiku tõelikkuse tule-
mus? Umbes 10 kg kulda päevas...“⁴⁹.

Kirjeldades füüsikalisi tingimusi šahti põhjas ja töö-
liste äärmist ekspluateerimist märgib prantsuse kirjanik
kõrget temperatuuri, kuid ei maini suurt õhurõhku.
Arvutame, kui suur on see 2300 m sügavuses. Kui tem-
peratuur jääks samaks, mis maapinnal, siis vastavalt
meile juba tuntud valemile kasvaks õhu tihedus

$$(1,001)^{\frac{2300}{8}} = 1,33 \text{ korda.}$$

Tegelikult temperatuur ei jää muutumatuks, vaid kõr-
geneb. Seepärast õhu tihedus ei kasva nii jõudsalt.
Lõpptulemusena erineb õhk šahti põhjas oma tihedu-
selt õhust maapinnal veidi enam kui õhk kuumal suve-
päeval õhust külmal talvapäeval. Nüüd on selge, mis-
pärast see asjaolu ei äratanud külastajate tähelepanu.

Seevastu aga omab suurt tähtsust õhu suur niiskus nii-
suguse sügavusega kaevandustes. Suur niiskus kõrge
temperatuuri puhul teeb viibimise neis kaevandustes
talumatuks. Uhes Lõuna-Aafrika kaevanduses (Johan-
nesburg), mille sügavus on 2553 m, tõuseb niiskus
50°-lise kuumuse puhul kuni 100%-ni; siin luuakse nn.
„kunstlik kliima“, kusjuures seadeldise jahutav toime
on samaväärne 2000 tonni jää toimega.

⁴⁹ Ajakiri „Teiselpool piiri“, 1933, nr. 13 (vene keeles).

Üles stratostaatidega.

Eelmistes artiklites me reisisime mõttes Maa sügavustesse, kusjuures meile oli abiks valem, mis väljendab seost õhurõhu ja sügavuse vahel. Võtame nüüd julguse tõusta üles õhku ja, kasutades sama valemit, vaatame, kuidas muutub õhurõhk, tõustes suurtesse kõrgustesse. Antud juhul võtab valem niisuguse kuju:

$$p = 0,999^{\frac{h}{8}},$$

kus p on rõhk atmosfäärides ja h — kõrgus meetrites. Murd 0,999 asendab siin arvu 1,001, sest liikudes 8 meetrit ülespoole, õhurõhk ei suurene 0,001 võrra, vaid väheneb 0,001 võrra.

Lahendame algul ülesande: kui kõrgele tuleb tõusta, et õhurõhk väheneks kaks korda? Selleks paneme p asemele 0,5 ja leiame kõrguse h . Saame võrrandi:

$$0,5 = 0,999^{\frac{h}{8}},$$

mille lahendamine ei tee raskusi lugejaile, kes tunnevad logaritme. Vastus $h = 5,6$ km määrab kõrguse, kus õhurõhk on kaks korda väiksem rõhust maapinnal.

Nüüd siirdume veel kõrgemale, vahvate nõukogude õhusõitjate järele, kes tõusid 19 ja 22 km kõrgusele. Need atmosfääri kõrgused asetsevad juba nn. stratosfääris. Seepärast nimetataksegi õhupalle, mis tõusevad nii kõrgele, stratostaatideks ja mitte aerostaatideks. Ma ei usu, et meie lugejate hulgas leiduks kedagi, kes poleks midagi kuulnud nõukogude stratostaatidest „CCCP“ ja „OAX-1“, mis püstitasid kõrguse maailmarekordid: esimene 19 km ja teine 22 km.

Leiame õhurõhu neis kõrgustes.

Kõrguse 19 km kohta leiame, et õhurõhk peab olema

$$0,999^{\frac{19000}{8}} = 0,095 \text{ Atm.} = 72 \text{ mm.}$$

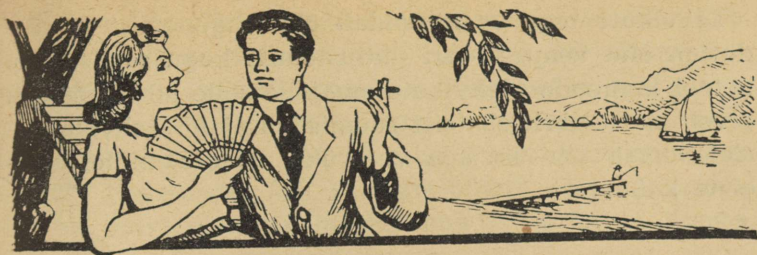
Ja kõrguse 22 km kohta

$$0,999^{\frac{22000}{8}} = 0,066 \text{ Atm.} = 50 \text{ mm.}$$

Kuid vaadates stratonautide märkmikesse näeme, et mainitud kõrgustes olid märgitud teised rõhud: kõrgusel 19 km — 50 mm ja kõrgusel 22 km — 45 mm.

Mispärast ei vasta arvutus sellele? Milles on viga?

Mariotte'i seadus on selliste väikeste rõhkude puhul täiesti kehtiv, aga meie jätsime siinkohal ühe teise asjaolu tähele panemata: me oletasime, et tõustes õhu temperatuur ei muutu, kuid ta langeb ju kõrguse tõustes tunduvalt. Arvatakse, et temperatuur langeb ühekilomeetrisel tõusul keskmiselt $6,5^{\circ}$ võrra; see toimub kõrguseni 11 km, kus temperatuur on -56° , veel kõrgemal jääb temperatuur üsna suure vahemaa ulatuses muutumatuks. Kui arvestada seda asjaolu (selleks muidugi ei piisa elementaararvematematika vahendeist), siis saadakse juba tulemused, mis on suuremas kooskõlas tegelikkusega. Samal põhjusel tuleb ka neile tulemustele, mis saadi õhurõhu kohta mitmesugustes sügavustes, vaadata kui ligikaudseile.



Seitsmes peatükk.

Soojusnähtused.

Lehvik.

Kui naised tarvitavad lehvikuid, siis muidugi hakkab neil jahedam. Näiks nagu, et see toiming on täiesti kahjutu teistele ruumis viibijatele ja et need võiksid naistele ainult tänulikud olla õhu jahutamise eest saalis.

Vaatame, kas see on nii. Mispärast tunneme jahedust lehviku tarvitamisel? Õhk, mis vahetult kokku puutub meie näoga, soojeneb ja see soe õhumask, mis nähtamatult katab meie nägu, „soojendab“ seda, s. o. ta takistab edasist soojuskadu. Kui õhk meie ümber on liikumatu, siis näo ligidal olev soojendatud õhukiht surutakse jahedama raskema õhu poolt aeglaselt üles. Kui me aga lehvikuga kõrvaldame näolt sooja õhumaski, siis puutub nägu järjest kokku uute jaheda õhu annustega ja annab neile vahetpidamatult oma soojust; meie keha jahtub ja me tunneme jahedust.

Tähendab, lehviku kasutamisel kõrvaldavad naised vahetpidamata oma näolt soojendatud õhku ja asendavad selle jahedaga; soojenenult kõrvaldatakse ka see õhk ja asendatakse uue, jaheda õhu portsjoniga jne.

Lehvikute tegevus kiirendab õhu segunemist ja soodustab õhu temperatuuri ühtlustamist kogu saalis, s. o. ta toob kergendust lehvikute omajatele selle jahedama õhu arvel, mis ümbritseb teisi ruumis viibijaid. Lehviku toimele omab tähtsust aga veel üks asjaolu, millest räägime kohe.

Mispärast on tuule käes külmem?

Kõik muidugi teavad, et vaikse ilmaga on pakane märksa kergemini talutav kui tuulega. Kuid mitte kõik ei kujutle selgesti selle nähtuse põhjust. Suuremat külma tuule käes tunnevad ainult elavad olendid; termomeeter ei näita tuule käes madalamat temperatuuri. Lõikava külma tunne tuulise külma ilmaga seletub eelkõige sellega, et näolt (ja kogu kehalt) võetakse sel puhul palju rohkem soojust ära kui vaikse ilmaga, mil keha poolt soojendatud õhk ei asendu kiiresti külma õhuga. Mida tugevam on tuul, seda rohkem õhku jõuab iga minuti jooksul kokku puutuda nahaga ja seda rohkem soojust võetakse järelkult kehalt igas minutis. Sellestki juba piisab, et tekiks külmatunne.

Kuid on veel teinegi põhjus. Meie kehalt toimub kogu aeg aurustumine, isegi külmas õhus. Aurustumiseks aga on tarvis soojust; seda võetakse meie kehalt ja kehaga kokkupuutuvast õhust. Kui õhk on liikumatu, toimub aurustumine aeglaselt, sest nahaga kokkupuutuv õhk küllastub kiiresti veeauruga (auruga küllastatud õhus aurustumist ei toimu). Kui aga õhk liigub ja nahaga puutuvad kokku järjest uued õhuannused, siis on aurustumine kogu aeg intensiivne. See aga nõuab palju soojust, mis võetakse meie kehalt.

Kui suur on siis tuule jahutav toime? See oleneb tuule kiirusest ja õhu temperatuurist; üldse on see toime palju suurem kui tavaliselt arvatakse. Toon näite, mis annab kujutluse sellest toimest. Olgu õhu temperatuur $+4^{\circ}$, kusjuures tuult pole. Meie keha naha temperatuur on sellistes tingimustes 31° . Kui aga puhub kerge tuul, mis vaevalt lehvitab lippe ja mis puude lehtigi ei liiguta (kiirus 2 m sekundis), siis jahtub nahk 7° võrra; tuule puhul, mis paneb lipu liperdades lehvima (kiirus 6 m sekundis), jahtub nahk 22° võrra: ta temperatuur langeb 9° -ni! Need andmed on võetud N. N. Kalitini raamatust „Atmosfääri füüsika alused arstiteadusesse rakendamisel“; huvitundev lugeja leiab selles raamatus palju huvitavaid üksikasju.

Seega, otsustada selle üle, kuidas meie tajume pakast, ei saa ainult temperatuuri põhjal, vaid tuleb arvestada ka tuule kiirust. Sama tugevusega pakast on Leningradis raskem taluda kui Moskvas, sest tuule keskmine kiirus Läänemere kaldail on 5—6 m/sek., Moskvas aga ainult 4,5 m sekundis. Veel kergemini on pakane talutav Taga-Baikali mail, kus tuule keskmine kiirus on ainult 1,3 m sekundis. Kuulsad Ida-Siberi pakased pole kaugeltki nii karmid, nagu me neid kujutleme, olles Euroopas harjunud võrdlemisi tugevate tuultega; Ida-Siber on tuttav oma peaaegu täieliku tuulevaikusega, eriti talvel.

Kõrve kuum hingaur.

„Tähendab, tuul peab ka kuumal päeval jahedust tooma,“ ütleb võib-olla lugeja, kes on tutvunud eelmise artikliga. „Mispärast siis sellistel juhtudel reisijad räägivad kõrve kuumast hingaurust?“

Vastuolu leiab endale seletuse selles, et troopikakliimas on õhk soojem meie kehast. Pole siis imetada, et tuule käes on inimestel kuumem, mitte aga jahtdam. Soojus levib seal mitte kehalt õhule, vaid, vastupidi, õhk soojendab inimese keha. Seepärast, mida suuremad õhumassid igas minutis puutuvad kokku kehaga, seda rohkem on tunda kuumust. Tõsi küll, ka siin suureneb aurustumine tuule käes, aga esimene põhjus kaalub teise üle. Seepärast kannavadki kõrveelanikud, näiteks turkmeenid, sooje mandleid ja karvamütse.

Kas loor soojendab?

Veel üks ülesanne igapäevase elu füüsikast. Naised väidavad, et loor soojendab, et ilma loorita on näol külm. Vaadates loori kergele, sageli väga hõredale koele, mehed ei taha kuidagi uskuda seda väidet ja arvavad, et loori soojendav toime on ainult pettepill.

Siiski, kui meenutate ülalöeldut, hakkate sellesse väitese suhtuma suurema usaldusega. Kui hõre loor kaiganes oleks, siiski takistab ta õhu liikumist. See õhukiht, mis kokku puutub näoga ja soojenenult moodustab teatava sooja maski näo ümber, hoitakse kinni loori poolt, ja seepärast ei saa tuul teda nii kergesti ära viia, kui loori puudumisel. Seetõttu on alust uskuda naisi, et kerge külma ja nõrga tuule puhul tunneb nägu loori taga külma vähem kui ilma selleta.

Jahutavad kannud.

Kui te pole juhtunud nägema selliseid kannu, siis iga tahes olete neist kuulnud või lugenud. Need põletamata savist kannud omavad huvitavat iseärasust, et neisse

valatud vesi muutub jahedamaks ümbritsevaist esemeist. Kannud on väga levinenud lõunapoolsete rahvaste juures (muuseas ka meil Krimmis) ja kannavad mitmesuguseid nimesid: Hispaanias — *alcarazza*, Egiptuses — *goula* jne.

Nende kannude jahutava toime saladus on lihtne: vedelik imbub välja läbi savist seinte ja aurustub siin aeglaselt, võttes soojust (aurustumissoojust) anumalt ja selles asetsevalt vedelikult.

Pole aga õige väita, nagu seda võib lugeda lõunamaade reisikirjeldustes, et vedelik niisugustes anumates väga tunduvalt jaheneb. Jahtumine ei või olla suur. See oleneb paljudest asjaoludest. Mida kuumem on õhk, seda kiiremini ja rikkalikumalt toimub anumast väljastpoolt märgava vedeliku aurustumine ja järelikult seda enam jahtub vedelik kannus. Jahtumine oleneb ka ümbritseva õhu niiskusest: kui õhus on palju auru, toimub aurustumine aeglaselt ja vesi jahtub vähe; vastupidi, kuivas õhus toimub väga intensiivne aurustumine, mis põhjustab tunduva jahtumise. Ka tuul kiirendab aurustumist ja aitab sellega kaasa jahtumisele: seda teavad kõik hästi selle külmatunde põhjal, mis tekib, viibides sooja, kuid tuulise ilmaga märjas rõivastuses. Jahutavates kannudes ei lange temperatuur üle 5° . Kuuma lõunamaise ilmaga, kui termomeeter teinekord näitab 33° , omab vesi jahutavas kannus sooja vanni temperatuuri, 28° . Nagu näeme, on jahtumine praktiliselt kasutu. Selle asemel aga hoiavad kannud hästi alal külma vett; selleks neid peamiselt kasutataksegi.

Me võime katsuda arvutada vee jahtumise määra *alcarazzas*. Olgu meil kann, mis mahutab 5 l vett; oletagem, et aurustunud on $\frac{1}{10}$ l. 1 liitri (1 kg) vee aurustumiseks 33° -lisel temperatuuril kulub 580 kalorit. Meil aurustus $\frac{1}{10}$ kg, järelikult kulus 58 kalorit. Kui kogu

soojus oleks võetud ainult veelt kannus, oleks viimase temperatuur langenud $58/5$, s. o. umbes 12 kraadi võrra. Suurem osa aurustumissoojusest võetakse aga kannult ja seda ümbritsevalt õhult; teiselt poolt, rööbiti vee jahtumisega kannus toimub ka vee soojendamise kannu ümbritseva sooja õhu poolt. Seepärast küünib jahtumine vaevalt pooleni saadud arvust.

On raske öelda, kus jahtub kann enam, kas päikese käes või varjus. Päikesega kiireneb aurustumine, sellega koos aga suureneb ka soojuse juurdevool. On vist kõige parem jahutavat kannu hoida varjus, nõrga tuule käes.

Jääkapp ilma jääta.

Jahtumisele aurustumisel on rajatud toiduainete alalhoidmiseks kasutatava külmutuskapi ehitus. Niisugune külmutuskapp on omamoodi jääkapp ilma jääta. Sellise jahutaja ehitus on väga lihtne: see on puidust kast (parem tsingitud rauast) riulitega, milledele asetatakse jahutatavad toiduained. Kasti ülemises osas on pikk anum puhta külma veega. Kasti tagumist seinu mööda läheb tükk lõuendit, mille üks ots on anumas veega, teine ots aga anumas, mis asetseb kasti alumise riuli all. Lõuend imbub vett täis, mis liigub kogu aeg nagu tahti mööda ja jahutab aeglaselt aurustudes „jääkapi“ kõiki vahesid.

Niisugune „jääkapp“ tuleb paigutada korteris jahe-dasse kohta ja igal õhtul peab temas vett vahetama, et see jõuaks öö jooksul hästi jahtuda. Muidugi peavad anumad vee jaoks ja ka lõuend, mille kaudu vesi liigub, olema täiesti puhtad.

Kui suurt kuumust me võime taluda?

Inimene on kuumuse suhtes palju vastupidavam, kui seda tavaliselt arvatakse: ta on võimeline taluma lõunamaail temperatuure, mis on tunduvalt kõrgemad neist, mida me parasvöötmes peame talumatuiks. Kesk-Austraalias on suvel sageli temperatuur 46°C varjus; on isegi märgitud temperatuure 55°C varjus. Sõidul Punasest merest Pärsia lahte tõuseb laevaruumides temperatuur 50° -ni ja enam, vaatamata vahetpidamatule ventilatsioonile.

Kõrgeimad temperatuurid, mida on täheldatud looduses Maakera pinnal, ei ületa 57° . See temperatuur on kindlaks tehtud nn. „Surmaorus“ Kalifornias. Kuumus Kesk-Aasias — Liidu kõige kuumemas kohas — ei ületa 50° .

Siin mainitud temperatuurid on mõõdetud varjus. Seletan ühtlasi, mispärast meteoroloogi huvitab just temperatuur varjus, mitte aga päikese käes. Asi seisneb selles, et õhu temperatuuri määrab ainult varju paigutatud termomeeter. Päikese kätte asetatud termomeeter soojeneb selle kiirte mõjul palju rohkem kui ümbritsev õhk ja tema lugemid ei iseloomusta mingil määral õhukeskkonna soojuslikku olukorda. Seepärast polegi mõtet, rääkides kuumast ilmast, arvestada päikese kätte asetatud termomeetri lugemit.

On korraldatud katseid, et kindlaks teha kõrgeimat temperatuuri, mida talub inimese organism. Selgus, et väga aeglasel soojenemisel meie organism on võimeline taluma kuivas õhus mitte ainult vee keemistemperatuuri (100°), vaid mõnikord isegi veel kõrgemat temperatuuri, kuni 160°C , nagu näitasid kaks füüsikut, kes viibisid terveid tunde köetud pagariahjus. Võib mune

keeta ja biifsteeki praadida selle ruumi õhus, kus võivad ka inimesed ohustamatult viibida.

Kuidas seletada niisugust vastupidavust? Sellega, et meie organism tegelikult seda temperatuuri ei omanda, vaid säilitab normaalsele lähedase temperatuuri. Organism võitleb soojenemise vastu sellega, et eritab rikkalikult higi: higi aurustamiseks kulub suur osa sellest soojusest, mida sisaldab nahaga vahetult kokkupuutuv õhukiht ja selle tagajärjel väheneb naha temperatuur küllaldasel määral. Ainsateks vältimatuteks tingimusteks on, et keha vahetult kokku ei puutuks soojusallikaga ja et õhk oleks kuiv.

Kes on olnud meie Kesk-Aasias, see on vist täheldanud, kui suhteliselt kergesti talutav on seal kuumus 37 ja enam Celsiuse kraadi. 24⁰-line kuumus Leningradis on palju raskemini talutav. Põhjuseks on muidugi suur niiskus Leningradis ja kuivus Kesk-Aasias, kus vihm on äärmiselt haruldane nähtus ⁵⁰.

Kas termomeeter või baromeeter?

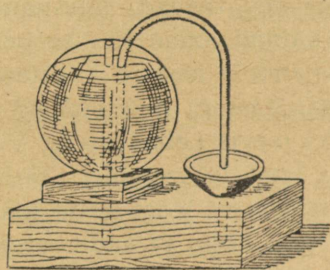
Tuntud on anekdoot lihtsameelsest inimesest, kes kartis võtta vanni järgmisel ebatavalisel põhjusel:

„Ma panin vanni baromeetri, see aga näitas tormi... Kardetav kümmelda!“

Ärge arvake, et igakord on kerge eraldada termomeetrit baromeetrist. On olemas niisuguseid termomeetreid, õigemini, termoskoope, mida sama õigusega võiksime nimetada baromeetriteks ja vastupidi. Näiteks võiks olla

⁵⁰ On huvitav, et seal minu taskuhüdroomeeter näitas juuni-kuus kaks korda niiskuse nulli (13. ja 16. juunil 1930. a.) (Autor.)

vanaaegne termoskoop, mis on leiutatud Aleksandria Heroni poolt (joon. 86). Kui päikesekiired langevad kerale, siis õhk selle ülemises osas paisub, rõhub veele ja surub selle kõverat toru mööda välja; vesi hakkab tilkuma toru otsa juures olevasse lehtrisse, millest ta edasi jookseb alumisse kasti. Külma ilmaga aga, vastupidi, õhu rõhk keraskeras väheneb ja vesi surutakse alumisest kastist välisõhu poolt sirget toru mööda kerasse.



Joonis 86. Heroni termoskoop.

See riist on aga tundlik ka õhurõhu muutustele: kui välisrõhk nõrgeneb, siis keraskeras olev õhk paisub oma suurema rõhu tõttu ja surub osa vett kõverat toru mööda välja lehtrisse; välisrõhu suurenemisel aga osa vett surutakse kastist kerasse. Temperatuurivahe iga kraad kutsub esile keraskeras oleva õhu ruumalal muutuse, mis on võrdne muutusega, mille kutsub esile $\frac{760}{273}$, s. o. umbes $2\frac{1}{2}$ -mm-ne vahe elavhõbe-baromeetri samba kõrguses. Moskvas ulatuvad baromeetri võnkumised 20 ja enama mm-ni; sellele vastab 8°C Heroni termoskoobis, tähendab, võib niisugust õhurõhu vähenemist kergesti pidada temperatuuri tõusuks 8° võrra.

Te näete, et vanaaegne termoskoop pole mitte vähemal määral baromeeter. Oli kord aeg, kus meil müüdi vesibaromeetreid, mis samal ajal olid ka termomeetriteks; seda siiski ei aimanud ostjad ega arvatavasti ka nende leiutaja.

Milleks on vaja lambiklaasi?

Vähe on neid, kes teavad, missuguse pika tee on lambiklaas läbi käinud, enne kui ta omandas praeguse kuju. Paljusid tuhandeid aastaid kasutasid inimesed valgustamiseks leeki, ilma et nad oleksid seejuures tarvitanud klaasi. Läks tarvis Leonardo da Vinci (1452—1519) geeniust, et teha lambile see tähtis täiendus. Kuid Leonardo da Vinci ümbritses leegi mitte klaas-, vaid metallitoruga; möödus veel kolm sajandit, enne kui tuldi mõttele asendada metalltoru läbipaistva klaassilindriga. Nagu näete, on lambiklaas leiutis, mille kallal on töötanud kümned inimpõlvad.

Milles siis seisneb ta ülesanne?

Vaevalt küll leiab igaüks õiget vastust sellele nii loomulikule küsimusele. Kaitsta leeki tuule eest on ainult klaasi kõrvaline ülesanne. Klaasi peamine toime aga on leegi *h e l e d u s e* suurendamine, põlemisprotsessi kiirendamine. Klaasi osa on sama, mis ahju- või vabrikukorstnal; ta suurendab õhu juurdevoolu leegile, ta suurendab „tõmmet“.

Selgitame seda. Õhusammas klaasi sees soojeneb leegi mõjul palju kiiremini kui lampi ümbritsev õhk. Soojenenud ja seetõttu kergenenud õhk surutakse üles raskema, külmema, läbi lambipea sissetungiva õhu poolt. Niiviisi tekib pidev õhuvool alt üles, vool, mis põlemisel tekki-

nud gaasid viib järjest ära ja toob värsket õhku juurde. Mida kõrgem on klaas, seda suurem on vahe soojendatud ja jaheda õhu tiheduses, seda hoogsamalt voolab värsket õhku juurde ja, järelikult, seda enam kiireneb põlemine. Siin toimub sama, mis kõrgetes vabrikukorstnates. Seepärast ongi need korstnad nii kõrged.

On huvitav, et juba Leonardo da Vincil oli selge ettekujutus neist nähtustest. Tema käsikirjades leiame järgmise märkuse: „Kus on tuli, seal tekib selle ümber õhuvool: see vool hoiab tuld alal ja tugevdab teda.“

Mispärast leek ei kustu iseenesest?

Kui hästi süveneda põlemisprotsessi, siis kerkib tahtmatult küsimus: mispärast leek ei kustu iseenesest? On ju põlemise saadused — süsihappegaas ja veeaur — mitte põlevad, mittevõimelised toetama põlemist. Järelikult on leek põlemise algusest peale ümbritsetud mittepõlevate ainetega, mis takistavad värsket õhku juurdevoolu; ilma õhuta ei saa põlemine jätkuda ja leek peab kustuma.

Mispärast seda aga ei toimu? Mispärast põlemine jätkub niikaua, kuni on olemas veel põletusainet? Ainult seepärast, et gaasid paisuvad soojenemisel ja järelikult muutuvad kergemaks. Ainult seepärast ei jää soojenenud põlemisaadused tekkimiskohale, leegi vahe- tusse lähedusse, vaid surutakse värsket õhku poolt üles. Kui Archimedese seadus ei kehtiks gaaside kohta (või puuduks raskustung), siis iga leek, põledes lühikest aega, kustuks iseenesest.

On ju kerge veenduda selles, kui hävitavalt mõjuvad leegisse selle põlemisaadused. Ebateadlikult kasutate

teie seda ise tule kustutamisel lambis. Kuidas te kustutate petrooleumilampi? Puhute sellesse ülalt, seega ajate alla leegi juurde selle mittepõlevad põlemissaadused: leek kustub värske õhu juurdevoolu lakkamise tõttu.

Puuduv peatükk Jules Verne'i romaanis.

Jules Verne jutustab üksikasjaliselt, kuidas kolm julget meest viitsid aega mürsus, mis kihutas Kuu poole. Ometi ei räägi ta sellest, kuidas täitis Michel Ardan oma kokaülesandeid selles erakordses olukorras. Vist arvas kirjanik, et keetmine lendavas mürsus ei paku midagi kirjeldamisväärset. Kui nii, siis ta eksis. Asi seisneb selles, et lendavas mürsus kõik esemed muutuvad kaalutuks⁵¹. Jules Verne'il jäi see asjaolu kahe silma vahele. Kuid peate tunnistama, et keetmine kaalutus kõõgis on asi, mis väärib kirjeldamist; tuleb ainult kahetseda, et „Reis Kuule“ andekas autor ei juhtinud oma tähelepanu sellele huvitavale teemale. Katsun kuidas oskan täiendada romaani puuduva peatükiga, et anda lugejale teatavat kujutlust sellest, kuidas võiks efektseks oleks võinud kujuneda see peatükk Jules Verne'i enda sulest.

Selle pala lugemisel peab lugeja kogu aeg meeles pidama, et mürsu sees pole raskust: kõik kehad on selles kaalutud.

⁵¹ Selle huvitava asjaolu üksikasjaline arutlus on toodud „Huvitava füüsika“ esimeses raamatus, aga ka minu raamatutes „Planeetidevahelised reisud“, „Tähtedele raketis“ ja „Raketiga Kuule“. (Autor.) (Viimased 3 raamatut vene keeles.)

Hommikueine kaalutus köögis.

„Mu sõbrad, me pole ju veel hommikueinet võtnud,“ ütles Michel Ardan oma reisukaaslastele planeetidevahelisel teekonnal. „Sellest, et oleme kaotanud oma kaalu kahurimürsus, ei tule veel järeldada, et oleme kaotanud ka söögiisu. Ma võtan enda peale, mu sõbrad, valmistada kaalutu hommikueine, mis kahtlemata koosneb kõige kergemaist roogadest, mis kunagi maa peal on valmistatud.“

Ja sõpradelt vastust ootamata hakkas prantslane toitu valmistama.

„Meie veepudel näib olevat tühi,“ urises Ardan omaette, püüdes suurt pudelit avada. „Ega's sa mind valeteele vii: ma ju tean, mispärast sa nii kerge oled... Nii, kork on välja tõmmatud. Suvatse valada kastrulisse oma kaalutu sisu!“

Aga kuidas ta ka pudelit kallutas, vesi ei joosnud välja.

„Ära näe vaeva, armas Ardan,“ tuli abiks Nicole. „Saa aru, et meie mürsus, kus pole raskust, ei saa vesi voolata. Sa pead ta pudelist välja raputama, nagu oleks vesi paks siirup.“

Pikemalt mõtlemata pörutas Ardan kämbлага vastu kummulipööratud pudeli põhja. Uus ootamatus: pudeli suule tekkis äkki rusikasuurune veemull.

„Mis on saanud meie veest?“ hämmastus Ardan. „See üllatus, tunnistan, on täiesti liig! Seletage mulle, mu õpetatud sõbrad, mis on siin toimunud?“

„See on tilk, armas Ardan, lihtne veetilk. Maailmas, kus puudub raskus, võivad tilgad olla kuitahes suured... Meenuta, et vedelik ometi raskuse mõjul võtab anu- mate kuju, voolab jugadena jne. Siin puudub aga raskus,

vedelikku mõjuvad ainult ta sisemised molekulaartungid ja nende tungide mõjul võtab vedelik kera kuju nagu kuulsas Plateau katses."

"Mul pole midagi tegemist selle Plateau ja tema katsetega! Ma pean puljongi jaoks vee keema ajama ja vannun, et mingid molekulaartungid mind siin ei peata!" tähendas prantslane ägedalt.

Ta hakkas vihaselt vett raputama õhus hõljuva kastruli kohal, aga nähtavasti kõik oli vandeseltsis tema vastu. Suured veemullid, jõudes kastrulisse, vajusid kiiresti laiali selle pinda mööda. Sellega asi veel ei lõppenud: kastruli seest läks vesi selle välimisele pinnale, jooksis siin laiali ja varsti oli kastrul kattunud paksu veekorraga. Sellisel kujul vett keeta polnud mingit võimalust.

"Vaat, kus huvitav katse, mis näitab kohesioonitungide tugevust," ütles vihasele Ardanile rahulik Nicol. "Sa ära erutu: siin on ju tegemist kindla keha tavalise määrgamisega vedeliku poolt; ainult et raskustung ei takista siin selle nähtuse avaldumist täiel määral."

"Ja väga kahju, et ei takista!" vastas Ardan. "Kas siin on tegemist määrgamise või millegi muuga, mul on äga tarvis vett omada kastruli sees, aga mitte selle ümber. Vaat, kus uudised! Ükski kokk maailmas pole nõus keetma puljongit säärastes tingimustes!"

"Sa võid kerge vaevaga takistada määrgamist, kui see sulle tüli teeb," lisas rahustavalt mister Barbican. "Mee-nuta, et vesi ei märga kehi, mis on kaetud isegi väga õhukese õlikorraga. Kata oma kastrul väljastpoolt õliga, ja sa hoiad vee selle sees."

"Bravo! Seda ma nimetan alles tõeliseks õpetatuseks," rõõmustas Ardan, täitnud nõuande. Siis asus ta vee soojendamisele gaasipõleti leegil.

Kõik eranditult töötas Ardani vastu. Isegi gaasi-põleti — ka see hakkas tujutsema: põlenud pool minutit nägusa leegiga, kustus see seletamatul põhjusel.

Ardan askeldas põleti ümber, jandas kannatlikult leegiga, aga kogu ta vaev ei andnud tulemusi: leek keeldus põlemast.

„Barbican! Nicol! Kas tõepoolest pole siis vahendit sundida seda kangekaelset leeki põlema nõnda, nagu seda nõuavad teie füüsika seadused ja gaasikompaniide eeskirjad?“ pöördus paluvalt sõprade poole araks jäänud prantslane.

„Siin pole ju midagi erakordset ega ka ootamatut,“ seletas Nicol. „See leek põleb nimelt nõnda, nagu seda nõuavad füüsika seadused. Aga mis puutub gaasikompaniidesse, siis arvan, et need jääksid kõik pankrotti, kui poleks raskust. Põlemisel, nagu sa tead, tekivad süsihappegaas ja veeaur, s. o. ained, mis ei põle. Tavaliselt ei jää need põlemissaadused leegi juurde: olles soojad ja järelilikult kergemad, surutakse nad eemale juurdevoolava värskes õhu poolt. Siin aga puudub raskus ja seepärast jäävad need ained tekkimiskohale, ümbritsevad leegi ja takistavad värskes õhu juurdevoolu. Seepärast põlebki leek siin nii sumedalt ja kustub kiiresti. On ju tulekustutajate toime rajatud nimelt sellele, et leek ümbritsetakse mittepõleva gaasiga.“

„Tähendab, sinu järgi,“ ütles prantslane vahele, „kui Maa peal puuduks raskus, siis poleks ka tarvidust tule-tõrjemeeskondade järele: tulikahju kustuks iseendast, lämbuks iseenda hingeaurus?“

„Täiesti õige. Aga vahepeal, et olla abiks asjale, läida põleti uuesti ja hakakem puhuma leegile. Ma usun, et meil õnnestub luua kunstlik tõmme ja sundida leeki põlema „maa moodi“.“

Nii ka tehti. Ardan läitis põleti uuesti ja asus toiduvalmistamisele, jälgides mitte just kahjurõõmuta, kuidas Nicol ja Barbican vaheldumisi puhusid tulle, et sellele oleks pidev värske õhu juurdevool. Oma hingepõhjas süüdistas prantslane oma sõpru ja nende teadust kogu selles segaduses.

„Teie, alal hoides tõmmet, täidate teataval määral vabrikukorstna ülesannet,“ vadistas Ardan. „Mul on teist, õpetatud sõbrad, väga kahju, aga kui me tahame hommikueineks saada midagi sooja, siis peame alistuma teie füüsika käskudele.“

Vähepeal möödus veerand tundi, pool tundi, tund — aga vesi kastrulis ei mõelnudki keema hakata.

„Tuleb end varustada kannatusega, armas Ardan. Tead, harilik, kaaluga vesi soojeneb kiiresti — mispärast? Ainult seepärast, et temas toimub kihtide segunemine: soojenenud alumised kihid kui kergemad surutakse külmade kihtide poolt üles ja tulemuseks on, et kogu vedelik omandab kiiresti kõrgema temperatuuri. Kas oled kunagi juhtunud soojendama vett mitte alt, vaid ülalt? Siis ei toimu segunemist, sest soojendatud ülemised kihid jäävad paigale. Vee soojusjuhtivus on aga tühine; ülemisi kihte on võimalik viia keemiseni, samal ajal kui all vees võivad olla sulamata jäätükid. Kaalutus maailmas on aga ükskõik, kuskohalt vett soojendada: ringvoolu kastrulis tekkida ei saa ja vesi peab soojenema väga aeglaselt. Kui soovid kiirendada soojendamist, tuleb sul kogu aeg vett segada.“

Nicol hoiatas Ardani, et see ei laseks vee temperatuuril tõusta 100 kraadini, vaid piirduks veidi madalamaga. 100⁰-lisel temperatuuril tekib palju auru ja et selle erikaal on niisama suur kui veel (mõlemal null), siis seguneb vesi auruga ja tekib ühtlane vaht.

Pahandav ootamatus juhtus hernestega. Kui Ardan, teinud lahti kotikese, seda kergelt raputas, tõusid herne-terad õhku ja hakkasid kajutis peatumatult liikuma, pör-gates vastu seinu ja sealt tagasi. Need hõljuvad herne-terad oleksid teinud peaaegu palju paha: Nicol hingas ühe neist kogemata sisse ja hakkas nii läkastama, et pidi peaaegu lämbuma. Et pääseda säärasest ohust ja puhastada õhk, asusid meie sõbrad lendavaid herneteri innukalt püüdma selle võrguga, mille Ardan oli ette-nägelikult kaasa võtnud liblikate püüdmiseks Kuul.

Polnud kerge valmistada toitu sellistes tingimustes. Ardanil oli õigus kinnitades, et siin oleks üles öelnud vilunuimigi kokk. Küllaltki tuli jännata ka biifsteeki praadimisel: kogu aeg tuli liha kahvliga kinni hoida; vastasel korral oleksid või tihedad aurud ta kastrulist välja tõstnud ja pooleldi praetud liha oleks tõusnud „üles“, kui on lubatud tarvitada seda sõna seal, kus polnud ei „üles“ ega „alla“.

Imelikku pilti kujutas endast ka lõunastamine ise selles raskuseta maailmas. Sõbrad rippusid õhus väga mitmesugustes poosides, millel muide ei puudunud maalilisuus, ja pörkasid igal hetkel peadega üksteise vastu. Istuda muidugi polnud vaja. Sellised asjad, nagu toolid, diivanid, pingid on täiesti kasutatud maailmas, kus puudub raskus. Ka laud oleks olnud siin täiesti liigne, kui mitte poleks arvestatud Ardani tungivat soovi einestada „laua taga“.

Vaevaline oli puljongi keetmine, veel vaevalisemaks osutus aga selle söömine. Kuidagi ei õnnestunud valada kaalutut puljongi tassidesse. Selle katse eest oleks Ardan peaaegu maksnud kogu hommikuse vaevaga; unustanud, et puljong on kaalutu, ta koputas meelepahaga ümberpööratud kastruli põhjale, et sellest välja

ajada kangekaelset puljongit. Tulemuseks oli, et kastrulist lendas välja suur kerakujuline tilk — puljong sferoidsel kujul. Ardan pidi ilmutama žonglööri osavust, et sellise vaevaga keedetud puljong uuesti kinni püüda ja kastrulisse paigutada. Katse kasutada lusikaid jäi tulemuseeta: puljong märgas kogu lusika kuni sõrmedeni ja kattis selle pideva kihina. Et takistada märgumist, määrati lusikad võiga kokku, aga ka sellest polnud kasu: lusikal tekkis puljongist kera ja polnud mingit võimalust viia see kaalutu pill suhu.

Lõppude lõpuks leidis Nicol lahenduse: tehti vaha-paberist torud ja nende abil imeti puljong suhu. Samasugusel viisil tuli meie sõpradel kogu reisi vältel juua vett, veini ja üldse igasuguseid vedelikke ⁵².

Mispärast vesi kustutab tuld?

Säärasele lihtsale küsimusele ei osata igakord vastata ja ma loodan, et lugeja ei pane pahaks, kui seletan lühidalt, milles nimelt seisneb vee tulekustutusvõime.

⁵² Selle raamatu eelnenud trükkide paljud lugejad on pöördunud minu poole kirjadega, milles nad väljendasid oma kahtlust selle kohta, kuidas on võimalik juua kaalutus keskkonnas ka vastnäidatud viisil: õhk on ju lendavas mürsus kaalutu ja ei avalda järelkult rõhumist, rõhumise puudumisel aga ei saa juua, imedes vedelikku. Imelikul kombel avaldasid selle vastuväite mõned arvustajad ka ajakirjanduses. Kuid on ju täiesti selge, et antud tingimustel pole õhu kaalutus seotud rõhumise puudumisega: õhk avaldab rõhumist kinnises ruumis sugugi mitte seepärast, et ta kaalub, vaid seepärast, et ta kui gaas püüab piiramatult paisuda. L a h t i s e s ruumis Maakera pinnal on paisumist takistavaks seinaks r a s k u s; see harjumuslik seos viiski minu kriitikud eksitusse. Kinnises ruumis ei avalda gaas mingit rõhumist ainult siis, kui ta temperatuur on absoluutne null (umbes -273°), millist temperatuuri aga vagun-mürsus muidugi polnud.

Esiteks, kokkupuutumisel kuuma esemega vesi muutub auruks, võttes seejuures põlevalt kehalt palju soojust; selleks et muuta 100⁰-list vett auruks, läheb tarvis enam kui viis korda rohkem soojust kui külma vee soojendamiseks 100⁰-ni.

Teiseks on aur, mis siin tekib, oma ruumalalt sadasid kordi suurem auru-tekitanud veest; ümbritsedes põlevat keha, surub aur kõrvale õhu, ilma milleta ei saa olla põlemist.

Selleks et suurendada vee tulekustutusvõimet, lisatakse veele... püssirohtu! See paistab imelikuna, aga siiski on see täiesti arusaadav: püssirohi põleb kiiresti, andes palju mittepõlevaid gaase, mis ümbritsedes põlevaid kehi takistavad põlemist.

Kuidas kustutatakse tuld tulega?

Te olete vist kuulnud, et parim, mõnikord isegi ainus vahend võitluseks metsa- või stepitulekahjudega on metsa või stepi põlemasüütamine vastasküljest. Uus tuli, minnes vastu mätratsevale tulemererele ja hävitades tuld võtvat ainet, jätab tule toiduta; kohtudes mõlemad tuleseinad kustuvad silmapilkselt, nagu oleks üks teist neelanud.

Paljud on muidugi lugenud Cooperi romaanis „Preeria“ kirjeldust sellest, kuidas kasutatakse seda tulekustutusvõtet steppide tulekahjudel Ameerikas. Kas saab unustada seda dramaatilist hetke, kui vana trapper päästis tulesurmast reisijad, kes olid jäänud tulekahju kätte? Siin on see koht „Preeriast“.

„Vanamees muutus äkki otsustavaks.

„On jõudnud aeg tegutseda,“ ütles ta.

„Liialt hilja taipasite, vilets vana!“ hüüdis Middleton.
„Tuli on meist veerand miili kaugusel ja tuul toob ta
meile lähemale kohutava kiirusega!“

„Nii! Tuli! Mina teda väga ei karda. Noh, tublid
mehed, aitab! Pange käed külge sellele kuivanud rohule
ja paljastage maa.“



Joonis 87. Stepitulekahju kustutamine tulega.

Väga lühikese aja jooksul oli puhastatud rohust maa-
tükk, kakskümmend jalga läbimõõdus. Trapper viis nai-
sed selle väikese maatüki ühele äärele, käskides katta
vaipadega oma rõivad, mis kergesti tuld võiksid võtta.
Teostanud need ettevaatusabinõud, läks vana trapper
teisele poole, kus stiihia ümbritses reisijaid kõrge, oht-
liku rõngana, ja võtnud näputäie kõige kuivemat rohtu,
pani selle püssirohupannile ja süütas põlema. Kergesti
tuldvõttev aine süttis kohe. Siis heitis vanamees lee-
gitseva rohu kõrgesse puhmastikku ja eemaldudes ringi

keskkohta, hakkas kannatlikult ootama oma töö tulemusi.

Hävitav stiihia tormas ahnelt uue toidu kallale ja hetke pärast hakkas leek lakkuma rohtu.

„Noh,“ ütles vanamees, „nüüd te näete, kuidas tuli hävitab tuld.“

„Kas tõesti pole see ohtlik?“ hüüdis imestunud Middleton. „Kas te sellega ei too vaenlast lähemale, selle asemel et teda eemaldada?“

Tuli, järjest suurenedes, hakkas levima kolme külge, neljandal küljel jäi ta toidu vähesuse tõttu väiksemaks. Sedamööda, kuidas tuli suurenes ja märatses üha tugevamalt, puhastas ta enda ees maa rohust, jättes järele ainult mustendava suitseva pinnase, palju paljama kui siis, kui rohi oleks maha niidetud. Pagulaste olukord oleks veel ohtlikumaks muutunud, kui nende poolt puhastatud pind poleks suurenenud sedamööda, kuidas tuli neid hakkas ümbritsema teistest külgedest. Paari minuti pärast hakkas tuli taganema igas suunas, jättes inimesed suitsupilve mähituna, kuid täiesti ohutuna tulemere ees, mis jätkas oma pöörast kihutamist ettepoole.

Inimesed vaatasid trapperi poolt tarvituselevõetud lihtsale vahendile sellise imetlusega, mis sarnanes sellega, millega Ferdinandi õukondlased omal ajal olevat vaadelnud Kolumbuse võtet muna püsti seisma panna.“

See metsa- ja stepitulekahjude kustutamise viis pole siiski nii lihtne, nagu ta esimesel pilgul paistab. Ainult väga vilunud isik võib kasutada vastutuldu tulekahju kustutamiseks; muidu võib häda isegi suurenedada.

Te taipate, millist oskust läheb siin tarvis, kui esitate endale küsimuse: mispärast trapperi poolt süüdatud tuli läks tulekahjule vastu, mitte aga vastupidi? Puhus ju tuul tulekahju poolt ja ajas tule reisijatele peale! Näib,

nagu oleks trapperi poolt tekitatud tuli pidanud levima mitte tulekahju poole, vaid tagasi, stepi poole. Kui nii oleks juhtunud, siis oleksid reisijad olnud ümbritsetud tulerõngaga ja oleksid paratamatult hukkunud.

Milles siis seisnes trapperi saladus?

Lihtsa füüsikalise seaduse tundmises. Kuigi tuul puhus põlevalt stepilt reisijate poole, oli tule ees vastupidine õhuvool — suunatud tule poole. Tõepoolest: õhk, soojenedes tulemere kohal, muutub kergemaks ja surutakse igalt poolt stepist tuleva värskelt õhu poolt alt üles. Tulepiiri läheduses tekib seepärast õhutamme vastu tuld. Vastutuli tuleb süüdata sel hetkel, mil tulekahju on lähenenud juba sel määral, et on tunda õhutõmmet. Seepärast trapper ei kiirustanud oma tööga, vaid ootas rahulikult õiget momenti. Oleks ainult tarvitsenud süüdata rohi veidi varem — enne, kui õhutõmme vastu tuld tunda andis — ja tuli oleks levinud vastupidises suunas, muutes inimeste olukorra väljapääsmatuks. Aga ka hilinemine poleks olnud vähem saatuslik: tuli oleks tulnud liiga lähedale.

Kas saab vett keeta keeva veega?

Võtke väike pudel, valage sellesse vett ja paigutage see tulel seisvasse, puhast vett sisaldavasse kastrulisse nõnda, et pudel ei puutuks kokku kastruli põhjaga; teil tuleb muidugi pudel riputada traadist silmusesse. Kui vesi kastrulis hakkab keema, siis näib, nagu hakkaks vesi ka pudelis keema. Kuid võite oodata, kui kaua soovite, vee keemahakkamist pudelis te ära ei oota: vesi pudelis läheb väga ja vägagi kuumaks, aga keema ta siiski ei hakka. Keev vesi ei osutu küllalt kuumaks, et vett pudelis keema ajada.

Tulemus on veidi ootamatu, kuigi oleks pidanud seda ette nägema. Selleks et vett viia keemiseni, ei piisa tema soojendamisest 100⁰-ni: tuleb talle anda veel üsna palju nn. keemissoojust. Puhas vesi keeb temperatuuril 100⁰ C; kõrgemale sellest temperatuurist tavalistel tingimustel vee temperatuur ei tõuse, kui palju te teda ka soojendaksite. Tähendab, soojusallikas, mille abil soojendatakse vett pudelis, omab temperatuuri 100⁰; seetõttu võib siis ka vesi pudelis soojeneda 100⁰-ni. Kui on kätte jõudnud see temperatuuride võrdsus, siis edasist soojuse üleminekut veelt kastrulis veele pudelis ei toimu. Seega, soojendades niisugusel viisil vett pudelis, me ei saa talle anda keemissoojust, ilma milleta vesi ei muutu auruks (iga 100⁰-ni soojendatud gramm vett nõuab veel üle 500 kalori, et muutuda auruks). Seepärast vesi pudelis, vaatamata soojendamisele, ei hakkagi keema.

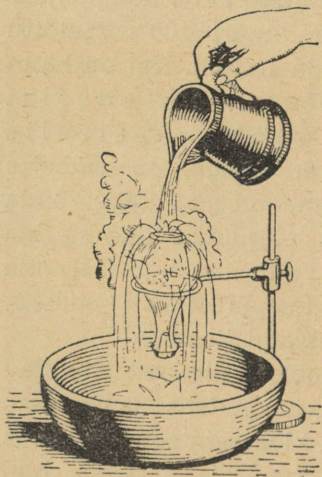
Võib tekkida küsimus: mille poolest siis kastrulis olev vesi erineb veest pudelis? On ju pudelis sama vesi, ainult eraldatud ülejäänud veest klaasseintega; miks siis pudelis oleva veega ei toimu sama, mis kastrulis olevaga?

Seepärast, et klaasvaheseinad ei luba pudelis oleval veel osa võtta neist vooludest, millede tagajärjel seguneb vesi kastrulis. Iga veeposa kastrulis võib vahetult kokku puutuda selle kuumendatud põhjaga, vesi pudelis aga võib kokku puutuda ainult keeva veega.

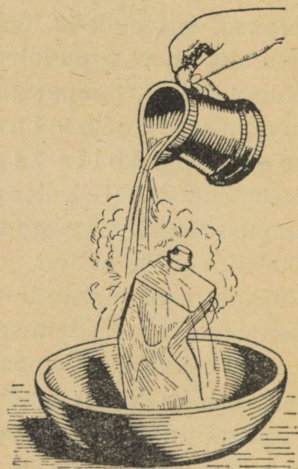
Järelikult, puhta keeva veega ei saa vett keema ajada. On aga tarvis raputada kastrulisse ainult mõni peotäis soola, ja asi muutub otsekohe. Soolane vesi ei kee mitte 100⁰-lisel temperatuuril, vaid veidi kõrgemal ja järelikult võib ta viia keemiseni puhta vee klaaspudelis.

Kas võib vett keeta lumega?

„Kui juba keev vesi selleks ei kõlba, mis siis veel lumest rääkida,“ vastab mõni lugeja. Ärge rutake vastu-sega, vaid tehke parem katse sama pudelikesega, mis teil äsja oli tarvitusel.



Joonis 88. Vee keema hakka-mine külma veega ülevalata-vas kolvis.



Joonis 89. Plekktoosi jahuta-mise ootamatu tulemus.

Täitke see pooleni veega ja paigutage ta keeva soolasesse vette. Kui vesi pudelis hakkab keema, võtke ta kastrulist ja sulgege ta juba varem valmis-pandud tiheda korgiga. Nüüd pöörake pudel ümber ja oodake, kuni keemine lõpeb. Selle ära oodanud, niisu-tage pudelit keeva veega. Vesi pudelis ei hakka keema. Pange pudelipõhjale aga veidi lund või lihtsalt kallake see üle külma veega, nagu on näidatud joonisel 88, —

ja te näete, et vesi pudelis hakkab keema . . . See, millega ei tulnud toime keev vesi, seda tegi lumi!

Asi on seda mõistatuslikum, et pudel puutumisel ei paista väga kuum olevat, vaid ainult soe. Aga te nägite oma silmadega, et vesi pudelis kees!

Lahendus on selles, et lumi jahutas pudeli seinu; selle tagajärjel tihenes aur pudelis veetilkadeks. Ja et õhk oli pudelist välja surutud juba keemise ajal, siis on nüüd vesi hoopis madalama rõhu all. On aga teada, et alandatud rõhu alla keeb vedelik madalamal temperatuuril. Seega on meil pudelis küll keev vesi, aga mitte kuum keev vesi.

Kui pudelikese seinad on väga õhukesed, siis võib auru kiire tihenemine temas esile kutsuda midagi plahvatusetaolist; välisrõhk, leidmata pudeli seest küllaldast vasturõhku, võib pudeli katki suruda (muuseas näete, et sõna „plahvatus“ pole siin kohane). Seepärast on parem võtta katse jaoks ümmargune pudel (kumera põhjaga kolb), et õhk rõhuks võlvikujulisele pinnale.

Ohutum on katset korraldada plekkanumaga, mida tarvitatakse petrooleumi, õli ja muu jaoks. Ajanud niisuguses anum as veidi vett keema, suletakse anum tihedalt korgiga ja niisutatakse külma veega. Kohe muljub välisõhu rõhumine anuma kokku, sest aur anum as tiheneb veeks. Plekkanum lüüakse välisõhu rõhumise tõttu mõlki nagu raske vasara löögi all (joon. 89).

„Supp baromeetrist“.

Oma raamatus „Seiklused välismaal“ jutustab ameerika kirjanik Mark Twain ühest juhtumist oma reisel Alpidesse — muidugi väljamõeldud juhtumist.

„Meie ebameeldivused olid lõppenud; inimesed võisid puhata, aga minul avanes lõpuks võimalus juhtida tähelepanu õppereisu teaduslikule küljele. Kõigepealt tahtsin baromeetri abil määrata koha kõrgust, kus me asusime, aga kahjuks ei andnud see mingeid tulemusi. Teaduslike raamatute lugemisest teadsin, et koha kõrguse määramisel tuleb keeta kas termomeeter või baromeeter.



Joonis 90. Mark Twain'i „teaduslikud katsetused“.

Milline kahest, seda ma täpselt ei teadnud, seepärast otsustasin keeta mõlemad. Ja siiski ma ei saanud mingeid tulemusi. Läbi vaadates mõlemaid riistu nägin, et nad olid täiesti rikutud; baromeetrist oli järele jäänud ainult vaskosuti, aga termomeetri keraskolendas tükk elavhõbedat...

Ma otsisin välja teise baromeetri; see oli täiesti uus ja väga hea. Keetsin teda pool tundi potis oasupiga, mida keetis kokk. Tulemus oli ootamatu: riist lakkas täiesti töötamast, supil aga oli nii tugev baromeetri kõrvalmaik, et peakokk — väga tark inimene — muutis

supi nime roogade nimistus. Uus roog pälvis üldise tunnustuse, nii et mina andsin käsu valmistada iga päev baromeetrisuppi. Muidugi, baromeeter oli mokas, mul aga polnud sellest eriti kahju. Et baromeeter ei võimaldanud mul määrata koha kõrgust, siis polnud mul teda enam tarvis."

Kõrvale jättes naljad, püüame vastata küsimusele: mida siis tõepoolest „tuli keeta“: kas termomeetrit või baromeetrit?

Termomeetrit, ja nimelt järgmisel põhjusel. Eelmisest katsest me nägime, et mida madalam on rõhk veel, seda madalam on vee keemistemperatuur. Et märke tõustes õhurõhk väheneb, siis peab sellega ka alanema vee keemistemperatuur. Ja tõepoolest, vaatlused näitavad järgmisi puhta vee keemistemperatuure vastavalt õhurõhkudele:

Keemistemperatuur.	Õhurõhk.
101 ^o	787,7 mm
100 ^o	760 „
98 ^o	707 „
96 ^o	657,5 „
94 ^o	611 „
92 ^o	567 „
90 ^o	525,5 „
88 ^o	487 „
86 ^o	450 „

Bernis (Šveits), kus keskmine õhurõhk on 713 mm, keeb vesi lahtistes anumates juba temperatuuril 97,5^o, Montblanc'i tipul, kus baromeeter näitab 424 mm, on keeva vee temperatuur ainult 84,5^o. Tõustes ühe kilomeetri võrra kõrgemale vee keemistemperatuur alaneb 3^o C võrra. Tähendab, kui mõõta vee keemistemperatuuri (Mark Twaini järgi: kui „keeta termomeetrit“),

siis vastavatest tabelitest saame kätte koha kõrguse. Selleks on muidugi tarvis omada vastavaid tabeleid, millised Mark Twain „lihtsalt“ unustas.

Mainitud otstarbeks kasutatavad riistad, nn. hüpsotermomeetrid, pole vähem hõlpsad kaasavõtmiseks kui metallbaromeetrid ja nad annavad hoopis täpsemaid tulemusi. Äsja ilmunud seda laadi riist, mida tarvatakse õhurõhu mõõtmiseks šahtides, annab tulemusi, mis on kakskümmend korda täpsemad metallbaromeetri omadest.

Endastmõistetavalt võib ka baromeetrit kasutada kõrguse määramiseks, sest ta näitab õhurõhku ilma iga-suguse „keetmiseta“: mida kõrgemale tõuseme, seda madalam on õhurõhk. Aga ka siin on tingimata vaja kas tabeleid, mis näitavad, kuidas muutub õhurõhk vastavalt kõrgusele, või peab tundma vastavat valemit. Kõik see oli nagu segamini läinud humoristi peas ja õhutas teda „keetma suppi baromeetrist“.

Kas keev vesi on alati kuum?

Vahva käskjalg Ben-Suff, keda lugeja kahtlemata tundma õppis Jules Verne'i romaanis „Hector Servadaque“, oli kindlal arvamusel, et keev vesi on igal pool ja alati ühtviisi kuum. Tõenäoliselt oleks ta sellele arvamusele jäänud eluajaks, kui mitte juhus poleks ta koos komandör Servadaque'iga heitnud... komeedile. See tujukas taevakeha, põrgates kokku Maaga, lõikas meie planeedi küljest just selle koha, kus viibisid mõlemad kangelased, ja viis selle endaga kaasa oma kaugele teekonnale mööda ellipsit. Ja siin veendus tentsik esmakordselt, et keev vesi pole igalpool ühtviisi

kuum. Selle avastuse tegi ta ootamatult, valmistades hommikueinet.

„Ben-Suff valas vee kastrulisse, pani selle pliidile ja jäi ootama, millal vesi hakkab keema, et siis keeta mune, mis talle paistsid tühjad olevat, nii kerged olid nad.

Vähem kui kahe minuti jooksul hakkas vesi keema.

„Kurat võtku! Kuidas tuli küll soojendab!“ hüüdis Ben-Suff.

„Mitte tuli ei soojenda paremini,“ vastas Servadaque mõtlikult, „vaid vesi hakkab kiiremini keema.“

Ja võtnud seinalt Celsiuse termomeetri, pani ta selle keeva vette.

Kraadiklaas näitas ainult kuuskümmend kuus kraadi.

„Ohoo!“ hüüdis ohvitser. „Vesi keeb kuuekümmne kuue kraadi juures saja asemel!“

„Niisiis, kapten?“ ...

„Niisiis, Ben-Suff, soovitan sul hoida mune keevas vees veerand tundi.“

„Nad saavad kõvad!“

„Ei, sõber, nad saavad vaevalt keenuks.“

Mainitud nähtuse põhjuseks oli ilmselt õhukihi kõrguse vähenemine. Õhusammas maapinnal oli ligikaudu kolm korda vähenenud ja selle tagajärg oli, et vesi hakkas vähenenud rõhu all keema juba 66⁰-lisel temperatuuril 100⁰ asemel. Samalaadne nähtus esineks mäel, mille kõrgus oleks 11 00 m. Ja kui kaptenil oleks olnud baromeeter, see oleks seda rõhu vähenemist näidanud.“

Meie ei hakka oma kangelaste vaatlusi kahtlustama: nad kinnitavad, et vesi kees 66⁰ juures ja me arvestame seda kui tõsiasja. Kuid on üsna küsitav, et nad end

hästi tundsid selles hõrendatud atmosfääris, milles nad viibisid.

„Servadaque'i“ autor tähendab üsna õigesti, et samasugune nähtus esineks kõrgusel 11 000 m: siin peab vesi tõepoolest, nagu näitavad arvutused⁵³, keema 66⁰-lisel temperatuuril. Seejuures peab aga õhurõhk olema 190 mm (elavhõbedasamba järgi), s. o. $\frac{1}{4}$ normaalsest rõhust. Õhus, mis on hõrendatud sellise astmeni, on hingamine peaaegu võimatu! On ju jutt juba kõrgustest, mis asetsevad stratosfääris! Me teame, et lendurid, kes jõudsid ilma maskita nii kõrgele, kaotasid meelemärguse õhupuudusest, kuna aga Servadaque ja tema käskjalg tundsid end rahuldavalt. Oli hea, et Servadaque'il polnud käepärast baromeetrit: muidu oleks romaani kirjutaja pidanud sundima riista näitama teissugust arvu, kui seda nõuab füüsika seadus.

Kui meie kangelased oleksid kujutletava komeedi asemel sattunud näiteks Marsile, kus õhurõhk ei ületa 60—70 mm, siis oleks tulnud neil juua veel jahedamat keeva vett — ainult 45⁰-list!

Vastupidi, väga kuumas keeva vett võib saada sügavate šahtide põhjas, kus õhurõhk on palju suurem kui Maa pinnal. 300 meetri sügavuses šahtis keeb vesi temperatuuril 101⁰, sügavuses 600 m — 102⁰ juures.

Väga suure rõhu all keeb ka aurumasina katlas olev vesi. Näiteks 14-Atm-se rõhu all keeb vesi temperatuuril 200⁰! Vastupidi, õhupumba kupli all võib vett sundida tormiliselt keema juba toatemperatuuril, saades seejuures 20⁰-list „keeva“ vett.

⁵³ Tõepoolest, kui, nagu varem öeldud (lk. 199), vee keemistemperatuur langeb 3⁰ võrra tõusmisel ühe kilomeetri võrra, siis 66⁰-lise keemistemperatuuri saamiseks tuleb tõusta 34:3 = umbes 11 km.

Kuum jää.

Praegu oli juttu jahedast keevast veest. On aga olemas veel imelikum asi: kuum jää. Me oleme harjunud mõtlema, et vesi tahkes olekus ei saa olelda temperatuuril, mis on kõrgem nullist. Uurimised aga näitavad, et asi pole nii: väga kõrge rõhu all vesi kõvastub ja jääb tahkesse olekusse temperatuuril, mis on nullist tunduvalt kõrgem. Üldse võib eksisteerida mitut sorti jääd. See jää, mida saadakse koletu rõhuga — 20 600 atmosfääri, võib tahkes olekus olla temperatuuril 76° C. Ta põletaks meil sõrme, kui me teda puudutaksime. Aga temaga kokku puutuda on võimatu: ta tekib võimsa pressi surve all, parimast terasest tehtud paksuseinalises nõus. Näha või kätte võtta teda pole võimalik. Kuuma jää omadusi saadakse teada kaudsel teel.

On huvitav, et kuum jää on tihedam tavalisest, ta on isegi tihedam veest: ta erikaal on 1,05. Ta upuks vees, kuna tavaline jää ujub vee peal.

Külmus söest.

Saada söest mitte kuumust, vaid vastupidi, külmust, ei ole midagi teostamatut: see toimub iga päev nn. kuiva jää vabrikutes. Selline vabrik on olemas ka NSV Liidus, mitte kaugel Moskvast (Fiilis). Donetsi basseini süsi põletatakse siin kateldes, tekkiv suits aga puhastatakse, kusjuures selles esinev süsihappegaas kõrvaldatakse leelise lahusega. Soojendamise teel lahusest saadud puhas süsihappegaas viiakse järgneva jahutamise ja 70-Atm-se rõhu abil vedelasse olekusse. See on see vedel süsihape, mida paksuseinalistes silindrites saade-

takse laiali karastavate jookide vabrikuisse ja kasutatakse tööstuslikeks otstarveteks. Ta on küllalt külm, et külmutada pinnast, nagu seda tehti Moskva metroo ehitamisel; paljudeks otstarveteks aga läheb tarvis tahket süsihapet, seda, mida nimetatakse *kuivaks jääks*.

Kuiv jää, s. t. tahke süsihape saadakse vedelast süsihapest kiire aurustamise teel madaldatud rõhu all. Kuiva jää tükid meenutavad välimuselt rohkem kokkupressitud lund kui jääd ja üldse on see mitmes suhtes erinev tahkest veest. Süsihappejää on raskem tavalisest jääst ja upub vees. Hoolimata selle väga madalast temperatuurist (-78°) pole sõrmedel külma tunda, kui tükk võtta ettevaatlikult: kokkupuutel käega tekkinud süsihappegaas kaitseb seda külma eest. Ainult kuiva jää tükki kokku pigistades riskime sõrmede külmumise-ga.

Nimetus „kuiv jää“ rõhutab väga õigesti selle jää peamist füüsikalist iseärasust. Ta pole tõepoolest kunagi märg ega niisuta midagi enda ümber. Soojuse mõjul läheb ta otse üle gaasilisse olekusse ilma vahepealse veeldumiseta: vedelas olekus süsihape ühe-Atm-se rõhu all olelda ei saa. See kuiva jää iseärasus koos tema madala temperatuuriga teeb tast asendamatu jahutaja praktilisteks tarveteks. Toiduained, mida hoitakse alal süsihappejää abil, ei niisku, ühtlasi hoitakse neid riknemise eest veel sel teel, et tekkiv süsihappegaas on keskkond, milles ei saa elada mikroorganismid; seepärast ei teki toiduainel hallitust ega baktereid. Samuti ei saa putukad ja närijad elada selles atmosfääris. Lõpuks on süsihape kindel tulekaitsevahend: paar tükki kuiva jääd, heidetuna põlevasse bensiini, kustutavad kohe tule. Kõik see töötab kuivale jääle tulevikus kõige laiemat rakendust tööstuses ja ka koduses elus.



Kaheksas peatükk.

Magnetism, elekter.

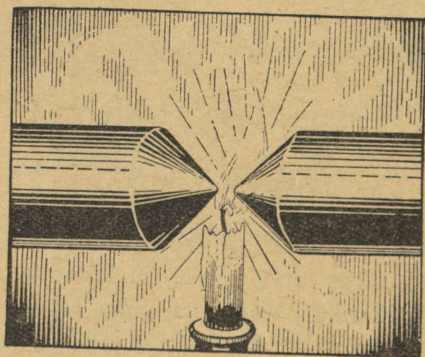
„Armastav kivi“.

Sellise poeetilise nime andsid hiinlased loomulikule magnetile. Armastav kivi (tšu-ši), ütlevad hiinlased, tõmbab külge rauda nagu hell ema oma lapsi. On tähelepanuväärne, et prantslastel, kes elutsevad vana maailma teisel äärel, leiame sarnase nime magnetile: prantsuskeelne sõna „aimant“ tähendab „magnet“ ja ka „armastaja“.

Selle „armastuse“ jõud on loomulikel magnetitel väike ja seepärast kõlab väga naiivselt magneti kreekakeelne nimetus — „Herkulese kivi“. Kui vana Hellase elanikud olid juba nii vaimustatud loomuliku magneti külgetõmbetungi tagasihoidlikust suurusest, mis nad siis ütlesid, kui nad näeksid tänapäeva metallurgiatehases magneteid, mis suudavad tõsta mitmetonniseid kamakaid. Tõsi küll, need pole loomulikud magnetid, vaid elektromagnetid, s. t. rauamassid, mis on magnetiseeritud elektrivooluga, mis juhitakse rauda ümbritsevasse mähisesse. Mõlemal juhul aga

mõjub oma olemuselt üks ja seesama jõud — magnetism.

Ei maksa arvata, et magnet mõjub ainult rauda. On olemas hulk teisigi kehi, millesse tugev magnet avaldab oma mõju, kuigi see mõju pole nii suur kui raua puhul. Metalle niklit, koobaldit, manganit, plaatinat, hõbedat ja alumiiniumi tõmbab magnet nõrgalt külge. Veel



Joonis 91. Kүүnla leek elektromagneti pooluste vahel.

tähelepanuväärsem omadus on nn. diamagnetilistel kehadel, näit. tsingil, tinal, väävlil, vismutil: neid kehi tõukab tugev magnet eemale!

Ka vedelikesse ja gaasidesse avaldab magnet kas külgetõmbavat või eemaletõukavat mõju, tõsi küll, äärmiselt nõrgalt; magnet peab olema väga tugev, et avaldada mõju mainitud kehasse. Puhas hapnik on näiteks paramagnetiline, s. o. teda tõmbab magnet külge; kui täita hapnikuga seebimull ja paigutada see tugeva elektromagneti pooluste vahele, siis on näha, et seebimull venib pooluste vahel tunduvalt pikemaks. Seda tee-

vad nähtamatud magnetitungid. Ka leek muudab oma tavalist kuju tugeva magneti pooluste vahel; see tõestab ka leegi tundlikkust magnetitungide suhtes (joon. 91).

Ülesanne kompassist.

Me oleme harjunud mõtlema, et kompassinõel on pöördunud ühe otsaga põhja ja teisega lõunasse. Meile paistab seepärast järgmine küsimus täiesti mõttetuna:

Kus kohal Maakeral näitavad kompassinõela mõlemad otsad põhjasuunda?

Ja veel mõttetumalt kõlab küsimus:

Kus kohal Maakeral näitavad kompassinõela mõlemad otsad lõunasuunda?

Te olete valmis väitma, et selliseid kohti ei leidu meie planeedil ja ei võigi leiduda. Aga siiski on need kohad olemas.

Meenutage, et Maa magnetipoolused ei ühti geograafiliste poolustega, ja te tõenäoliselt aimate, millistest kohtadest meie planeedil on ülesandes juttu. Kuhupoole näitab geograafilisele lõunapoolusele asetatud kompassinõel? Selle nõela üks ots on pööratud lähema magnetipooluse poole, teine ots vastaspoolele. Kuhupoole me geograafiliselt lõunapooluselt ka liiguksime, ikkagi tuleb meil minna põhja poole; teist suunda, lähtudes geograafilisest lõunapoolusest, ei saa olla, ümberringi on põhi. Tähendab, sinna paigutatud kompassinõela mõlemad otsad on suunatud põhja poole.

Samuti on geograafilisele põhjapoolusele asetatud kompassinõela mõlemad otsad suunatud lõunasse.

Magneti tungjooned.

Huvitavat pilti kujutab joonis 92, mis on tehtud foto-ülesvõtte järgi: käel, mis on pandud elektromagneti poolustele, seisavad jämedate naelte kimbud püsti nagu kõvad juuksed. Käsi ise aga ei tunne vähimatki sellest magneti mõjust: nähtamatud niidid läbivad käe, ilma et nad millegagi tunda annaksid oma olemasolu. Raud-



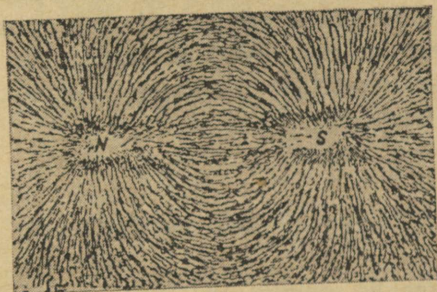
Joonis 92. Magnetitungid läbivad käe.

naelad aga alistuvad kuulekalt magnetitungidele ja asetuvad kindlas korras, näidates meile magnetitungide suundi, kõveraid ühelt pooluselt teisele.

Inimesel puudub magnetimeel; seepärast võime iga magnetit ümbritsevate tungide olemasolu ainult aimata ⁵⁴.

⁵⁴ On huvitav kujutleda, mida tunnetaksime, kui meil oleks vahetu magnetimeel. Kreidl'il õnnestus vähkidele n. ö. külge pookida midagi magnetimeele-taolist. Ta täheldas, et noored vähid topivad endile kõrva väikesi kivikesi; need kivikesed mõjuvad oma raskusega tundlikule karvakesele, mis on vähi tasakaaluelundi peamiseks osaks. Samasuguseid otoliitideks nimetatavaid kivikesi on ka inimese kõrvas põhilise kuulmiselundi läheduses. Mõjudes püstsuunas näitavad need kivikesed raskus-

Siiski pole raske kaudselt näidata nende tungjoonte asetust. Kõige parem on seda teha rauapuru abil. Puistake rauapuru õhukese ühtlase kihina siledale kartongitükile või klaasplaadile; asetage kartongi või klaasplaadi alla tavaline magnet ja raputage rauapuru kergete löökidega. Magnetitungid m õ j u v a d läbi klaasi ja papi; järelikult magneti mõjul rauapuru magnetiseerub; raputamisel eralduvad rauapuru osakesed hetkeks plaadilt ja võivad



Joonis 93. Rauapuru asetuse magnetipooluseid katval papil (foto järgi).

magnetitungide mõjul võtta asendi, mille oleks võtnud antud punktis magnetnõel, s. o. pikuti magneti tungjoonega. Tulemuseks on rauapuru asetumine ridadesse, mis näitavad nähtamatute tungjoonte asetust.

tungi suunda. Kreidl pani vähkide alla, ilma et nad oleksid seda näinud, kivikeste asemele rauapuru. Magneti lähendamisel vähile asetuse viimane tasapinda, mis oli risti raskustungi ja magnetitungi resultandiga.

„Viimasel ajal on õnnestunud korraldada vastavaid katseid muudetud kujul isegi inimesega. Köler kleepis väikesed raudosakesed kõrva trumminaha külge; tänu sellele kõrv kuulis magnetitungi võnkumisi häälena.“ (Prof. O. Wiener.)

Asetame magnetile plaadi rauapuruga ja raputame seda. Me saame pildi, mis on näidatud joonisel 93. Magnetit tungjooned kujutavad kõverjoonte keerulist süsteemi. On näha, kuidas nad kiirtena lähtuvad magneti mõlemast poolusest, kuidas rauapuru osakesed ühinedes moodustavad lühemaid ja pikemaid kaari pooluste vahel. Rauapuru demonstreerib siin silmanähtavalt seda, mida mõttes kujutab endale ette füüsik ja mis ümbritseb nähtamatult iga magnetit. Mida lähemale poolusele, seda tihedamad ja selgemad on jooned; vastuoksa, kaugenedes poolustest nad muutuvad hõredamateks ja kaotavad selguse, demonstreerides näitlikult magnetitungide nõrgenemist kaugusega.

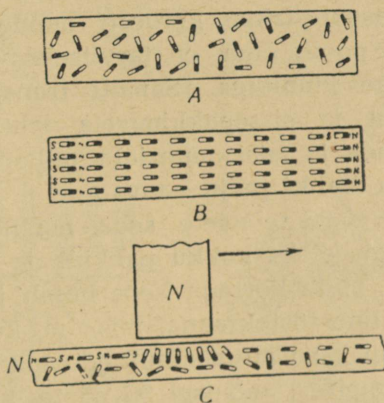
Kuidas magnetiseerub teras?

Enne kui vastata sellele küsimusele, mida lugejad tihti esitavad, tuleb meil selgitada, mille poolest erineb magnet magnetiseerimata terasetükist. Raua kõik aatomid, milledest koosneb magnetiseeritud või magnetiseerimata teras, kujutavad endast väikesi magneteid. Magnetiseerimata terases on need väikesed magnetid asetunud korraldust, nii et ühe magneti mõju hävitab teise vastupidiselt asetatud magneti mõju (joon. 94, A). Vastupidiselt, magnetis on elementaarmagnetid asetatud korrapäraselt, ühenimelistega poolustega ühele ja samale poole (joon. 95, B).

Mis siis toimub terasetükis, kui teda hõõruda magnetiga? Magnet oma külgetõmbetungiga pöörab terasetüki kõikide elementaarmagnetite ühenimelised poolused ühele ja samale poole. Joonis 95, C demonstreerib seda näitlikult: elementaarmagnetid pöörduvad algul oma

lõunapoolustega magneti põhjapooluse poole ja siis, kui magnet edasi viiakse, asetuvad elementaarmagnetid piki liikumissuunda, lõunapoolustega terasetüki keskjoone poole.

Siit on kerge mõista, kuidas tuleb magnetiga toimida terase magnetiseerimisel: terasetüki ühele otsale tuleb panna magneti mingi poolus ja sellega üsna tugevasti



Joonis 94. A — aatommagnetite asetus magnetiseerimata terasetükis. B — sama magnetiseeritud terases. C — magnetipooluse mõju magnetiseeritavasse terasesse.

surudes tõmmata magnetiseeritava terasetüki pinda mööda. See on üks lihtsamaid ja vanimaid magnetiseerimisvõtteid; ta kõlbab aga ainult nõrkade väikeste magnetite valmistamiseks. Tugevaid magneteid saadakse elektrivoolu abil.

Need, kes tunnevad huvi magnetite valmistamise üksikasjade vastu, võivad leida kasulikke näpunäiteid B. A. Vvedenski raamatus „Jäävad magnetid ja nende valmistamine“ (Giz, 1922).

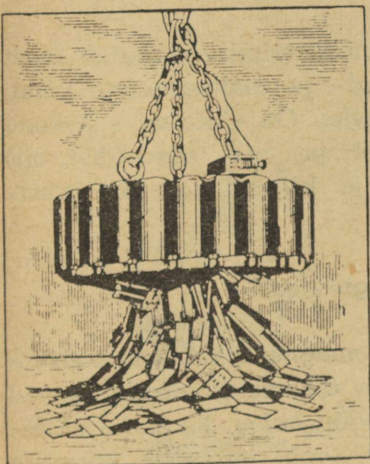
Hiiglaslikud elektromagnetid.

Metallurgiatehastes võib kohata elektromagnetilisi tõstekraanasid, milledega saab toimetada tohutuid raskusi ühest kohast teise. Sellised kraanad osutavad hindamatuid teeneid raudmasside tõstmisel ja edasikandmisel terasevalamis- ja teistes seda laadi tehastes. Kümneid tonne kaaluvad massiivsed raudkamakad ja masinate osad transporditakse kergesti nende magnetiliste tõstekraanade poolt, ilma et tarvitseks neid esemeid kraanade külge kinnitada. Samuti transpordivad nad ilma kastideta ja sissepakkimiseta lehtrauda, traati, naelu, vanarauda ja teisi materjale, millede vedu teisel viisil nõuaks küllaltki palju vaeva.

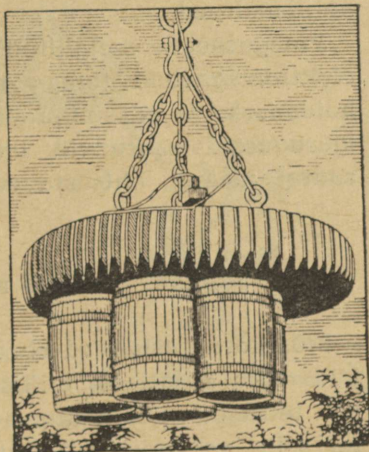
Joonistel 95 ja 96 te näete seda magneti kasulikku tööd. Kui tülikas oleks kokku pakkida ja vedada raudplaatide kuhja, mida korraga koos hoiab ja üle kannab vägev magnetiline tõstekraana, mis on kujutatud joonisel 95; siin on kasu mitte ainult jõu kokkuhoius, vaid ka töö lihtsustamises. Joonisel 96 näete, kuidas magnetiline tõstekraana veab isegi vaatidesse sissepakitud raudnaelu, tõstes neid vaate kuus tükki korraga! Uhes metallurgiatehases on äsja töösse rakendatud neli magnetilist tõstekraanat, milledest igaüks võib korraga tõsta 10 rööbast; kraanad asendavad kakssada töölist. Pole tarvis hoolitseda nende raskuste kinnitamise eest kraanade külge, pole karta, et raskus alla kukub ja kedagi surnuks muljub: seni, kuni on voolu elektromagnetite mähistes, ei kuku kübetki maha. Nähtamatud magnetitungid on kindlamad kui tugevad poldid ja ketid.

Kui aga vool mähises millegipärast katkeb, on avarii vältimatu. Selliseid juhtumeid on varem esinenud. „Uhes Ameerika tehases,“ loeme tehnikaajakirjast, „tõs-

tis elektromagnet raudpolte vagunist ja laskis need ahju. Akki juhtus midagi elektri jaamas Niagara kose juures, mis andis voolu. Vool katkes, rauamass vabanes elektromagnetilt ja langes kogu oma raskusega töölisele pähe. Selleks et ära hoida selliste õnnetusjuhtumite kordumist, aga ka et kokku hoida elektrienergiat, varustatakse elektromagnetid eriliste seadeldistega. Pärast seda, kui



Joonis 95. Elektromagnetiline tõstekraana rauatükke edasi kandmas.



Joonis 96. Elektromagnetiline tõstekraana naeltega täidetud vaate edasi kandmas.

magnet on tõstnud ülekantava koorma, laskuvad magneti külgedelt alla terasest hoidjad, mis hoiavad raskust ülal, nii et transpordi ajal voolu pole tarvis."

Joonistel 95 ja 96 kujutatud elektromagnetite läbimõõt ulatub kuni $1\frac{1}{2}$ meetrini; iga magnet on võimeline tõstma kuni 16 tonni (kaubavaguni raskus). Niisugune magnet transpordib ööpäeva jooksul rohkem kui 600 tonni.

On olemas elektromagneteid, millede tõstevõime on 75 tonni, s. o. veduri raskus!

Vaadates sellist elektromagnetite tööd, vilksatab mõnelgi lugejal mõte: kui hõlpus on elektromagneti abil transportida hõõguvaid, valamisvormist võetud raudesemeid! Kahjuks on see võimalik ainult teatava temperatuurini, sest hõõguv raud ei magnetiseeru. Kuumendatuna kuni 800⁰-ni, kaotab magnet oma magnetiomadused.

Praegusaegne metallitöötlemise tehnika kasutab laialt elektromagneteid teras-, raud- ja malmesemete kinnihoidmiseks ja edasinihutamiseks. On ehitatud sadakond igasuguseid padruneid, laudu ja teisi seadeldisi, mis suurel määral lihtsustavad ja kiirendavad töötlemist.

Trikid magnetiga.

Mõnikord kasutavad elektromagnetit ka taskukunstnikud; võib kujutleda, milliseid efektseid katseid saavad nad teostada selle nähtamatu jõu abiga. Raamatu „Elekter selle rakendustes“ autor toob järgmise jutustuse ühelt prantsuse taskukunstnikult Alžiiris esitatud etendusest. Harimatutele kuulajatele mõjus trikk kui tõeline nõiakunst.

„Laval,“ jutustab taskukunstnik, „asetseb mitte just suur rautatud kast pidemega kaanel. Ma kutsun pealtvaatajaist mõne tugevama. Vastuseks kutsele astus välja keskmist kasvu, kuid tugeva kehaehitusega araablane, päris araabia Herkules. Ta astub ette kindlalt ja ennastusaldavalt ja peatub minu juures üleolevalt naeratades.

„Kas olete väga tugev?“ küsisin, vaadates teda pealaest jalatallani.

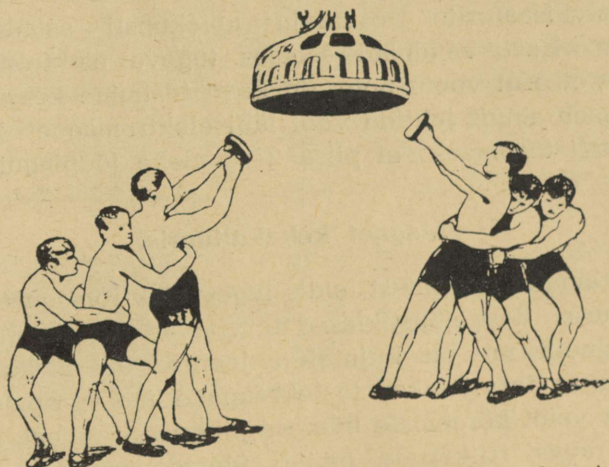
„Jah,“ vastas ta hooletult.

„Kas olete kindel selles, et alati püsite tugevana?“

„Olen täiesti kindel.“

„Te eksite: ühe silmapilgu jooksul ma võin teilt võtta jõu ja te muutute nõrgaks kui väike laps.“

Araablane naeratas kahtlustavalt märgiks, et ta minu sõnu ei usu.



Joonis 97. Tugeva magneti kasutamine kehakultuuris.

„Tulge siia, tõstke üles see kast!“ ütlesin.

Araablane kummardus, tõstis kasti üles ja küsis kõrgilt:

„Ja muud?“

„Oodake veidi,“ kostsin.

Siis, tehes tõsise näo, tegin käskiva liigutuse kätega ja sõnasin pidulikult:

„Teie olete nüüd nõrgem naisest. Katsuge uuesti kasti tõsta.“

Jõumees, vähimalgi määral kartmata minu nõiasõnu, haaras jälle kastist kinni, seekord avaldas aga kast tõsist vastupanu ja hoolimata meelegeitlikest pingutus-
test jäi paigale, nagu oleks ta maa külge kinni kasva-
nud. Araablane tegi pingutusi, milledest oleks piisanud
suure raskuse tõstmiseks, aga kõik oli asjata. Väsinud,
puhkides ja põledes häbist, ta lõpuks loobus. Nüüd hak-
kab ta uskuma nõiakunsti jõusse."

„Tsiivilisaatorite“ esindaja nõiakunsti saladus oli
lihtne. Kasti raudpõhi asetseb tugeva elektromagneti
poolusel. Kui voolu pole, on kasti tõstmine kerge, kuid
tarvitseb ainult juhtida vool läbi elektromagneti mähise
ja kasti tõstmiseks ei piisa 2—3 mehe jõupingutustest.

Magnet kehakultuuris.

Ootamatut rakendust leidis tugev elektromagnet keha-
kultuuris. Raskejõustiklased tarvitavad treeningul elekt-
romagnetit, mis on kujutatud joonisel 97. Elektromag-
net, mida tarvitatakse tõstekraanade jaoks, riputatakse
lakke, veidi kõrgemale inimese pikkusest. Atleet, hoides
käes rauast triikrauda, püüab ületada magneti külge-
tõmbetungi. Vastavalt voolu tugevusele, mida regulee-
rib treener, on magneti külgetõmme erinev ja võib nii
suureks minna, et atleeti, kes ei soovi käest lasta triik-
rauda, ähvardab õhusrippumine, kui seltsimehed koon-
datud jõuga ei aita tal kohal püsida.

Magnet põllumajanduses.

Veel huvitavam on see kasulik töö, mida teeb magnet
põllumajanduses, aidates põllumehel eraldada kultuur-
taimede seemneid umbrohuseemneist. Umbrohud oma-

vad karvaseid seemneid, mis jäävad möödaminevate loomade karvade külge ja levivad seetõttu kaugele emataimest. Seda umbrohuseemnete iseärasust, mis on arenenud olelusvõitluses miljonite aastate jooksul, kasutab põllumajanduslik tehnika selleks, et magnetite abil kõrvaldada umbrohu karvased seemned kasulike taimede, nagu lina, ristikkeina ja lutserni siledaist seemneist. Kui puhastamata seemnete segu segada peenikese rauapuruga, siis jäävad rauakübemed karvaste umbrohuseemnete külge, kuna kultuurtaimede siledad seemned jäävad vabaks rauapurust. Selline segu, sattununa tugeva elektromagneti mõju alla, jaguneb automaatselt puhtaiks seemneiks ja umbrohust lisandiks: magnet kõrvaldab segust kõik need seemned, mis on kattunud rauapuruga.

Säärane „magnetiline separaator“ lina-, ristikkeina- ja lutserniseemnete puhastamiseks ehitati hiljuti NSV Liidus Põllumajanduse Mehhaniseerimise ja Elektrifitseerimise Instituudi poolt. Masina läbilaskevõime ühes tunnis on pool tonni.

Magnetiline lennumasin.

Selle raamatu algul ma mainisin prantsuse kirjaniku Cyrano de Bergerac'i huvitavat raamatut „Kuu- ja Päikesepealse riigi ajalugu“. Muuseas kirjeldatakse seal huvitavat lennumasinat, mille ehitus on rajatud magneti külgetõmbetungile ja millel üks jutustuse tegelane lendas Kuule. Esitan selle koha teosest sõna-sõnalt:

„Minu käsul ehitati kerge rauast sõiduk. Asunud sellesse ja võtnud selles mugavalt istet, hakkasin enda kohal üles viskama magnetkera. Raudsõiduk tõusis otse-

kohe õhku. Iga kord, kui hakkasin lähenema kohale, kuhu mind tõmbas kera, viskasin selle uuesti üles. Isegi siis, kui tõstsin lihtsalt kera käes üles, tõusis sõiduk kohe, püüdes läheneda kerale. Pärast mitmekordseid kera ülesviskamisi ja sõiduki tõusmisi ma lähenesin kohale, kust algas minu kukkumine Kuule. Ja et ma sel hetkel hoidsin magnetkera kõvasti käes, siis tõmbus sõiduk kera külge ega eemaldunud minust. Et kukkumisel ennast mitte surnuks lüüa, hakkasin heitma kera nii, et selle külgetõmbetung aeglustaks sõiduki kukkumist. Kui olin veel ainult kahe-kolmesaja sülla kaugusel Kuu pinnast, hakkasin heitma kera täisnurgi kukkumise suunaga; tegin seda niikaua, kuni sõiduk jõudis üsna pinna lähedale. Siis hüppasin sõidukist ja laskusin sujuvalt liivale.“

Keegi, nende hulgas muidugi ka autor ja lugejad, ei kahtle kirjeldatud lennumasina täielikus kõlbmatuses. Arvan aga, et paljud ei oska seletada, milles tegelikult seisab selle projekti teostamatus: kas selles, et on võimatu heita magnetit, olles ise raudses sõidukis, või selles, et sõiduk ei tõmbu magneti poole, või milleski muus?

Ei, magnetit võib üles visata ja ta tõmbaks sõidukit ka külge, kui ta on küllalt tugev, aga siiski ei nihkuks lennumasin sugugi üles.

Kas olete juhtunud viskama rasket keha lootsikult kaldale? Kahtlemata olete seejuures tähele pannud, et lootsik ise liigub kaldast eemale. Teie lihased, andes visatavale kehale tõuke ühes suunas, lükkavad teie keha (ja koos sellega ka lootsikut) tagasi vastassuunas. Siin ilmneb see seadus mõjust ja vastumõjust, millest meil juba mõnigi kord juttu on olnud. Magnetit heitmisel toimub sama lugu: sõitja, visates magnetkera üles

{suure jõupingutusega, sest kera tõmmatakse külge raudsõiduki poolt), lükkab paratamatult kogu sõidukit allapoole. Kui siis kera ja sõiduk külgetõmbe mõjul jälle lähenevad, tulevad nad ainult tagasi esialgsele kohale. Järelikult on selge, et kui sõiduk isegi midagi ei kaaluks, siis kera heitmisega pannakse ta võnkuma mingi keskmise asukoha suhtes; sõidukit edasi liikuma panna pole sellisel viisil võimalik.

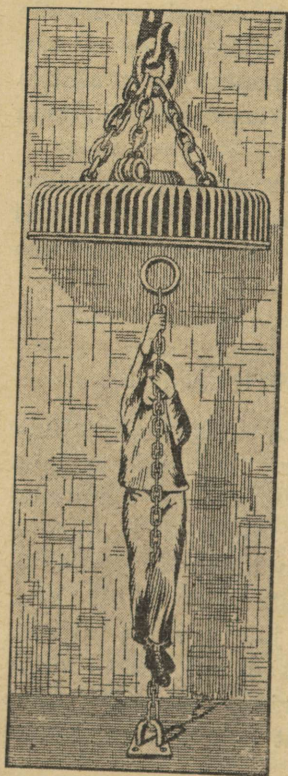
Cyrano ajal (XVII sajandi keskel) polnud ülalmainitud seadus veel avaldatud; seepärast on kaheldav, kas prantsuse satiirik oleks võinud ise selgitada oma projekti alusetust.

Nagu „Muhamedi puusärk“.

Huvitav juhtum esines kord tööl elektromagnetilise tõstekraanaga. Üks töolistest märkas, et elektromagnet oli külge tõmmanud raske raudkera, mis oli kinnitatud põranda külge lühikese ketiga, nii et kera ei saanud magnetiga kokku puutuda: kera ja magneti vahele jäi käelaiune vahemik. Tekkis ebatavaline pilt: kett, mis seisab püsti! Elektromagneti jõud osutus niivõrd suureks, et kett jäi püstasendisse isegi siis, kui ta külge riputas ennast tööline⁵⁵. Lähedal viibiv fotograaf ruttas jäädvustama plaadil seda huvitavat hetke; meie toome

⁵⁵ See räägib elektromagneti väga suurest jõust, sest magnetite külgetõmbetung väheneb suurel määral, kui kaugus magneti pooluse ja külgetõmmatava keha vahel suureneb. Hobuserauakujuline magnet, mille külgetõmbetung on 100 g, kui keha magnetiga vahetult kokku puutub, vähendab oma tõstevõimet kaks korda, kui keha ja magneti vahele panna paberileht. Seepärast ei kaetagi magneti pooluste otsi värviga, kuigi see kaitseks magnetit rooste eest.

siin selle pildi inimesest, kes ripub õhus legendaarse Muhamedi puusärgi taoliselt (joon. 98).



Joonis 98. Ülessirutuv raudahel koormisega.

tõmmatud. Hoida puusärki tasakaalus on praktiliselt nii-

Muuseas mõnda Muhamedi puusärgist. Õigeuskliku muhameedlased on veendunud, et puusärk „prohveti“ jäänustega asetseb õhus, rippudes surnukambris lae ja põranda vahel ilma mingi toetuseta.

Kas on see võimalik?

„Räägitakse,“ kirjutas Euler oma „Kirjades mitmesugustest füüsikalistest materiatest“, „nagu hoiaks Muhamedi puusärki õhus mingi magneti tõstejõud; see paistab olevat võimalik, sest on olemas magneeteid, millede tõstejõud ulatub 100 naelani“⁵⁶.

Selline seletus on alusetu; mainitud viisil (s. o. kasutades magneti külgetõmbetungi) oleks saavutatud tasakaal ainult üheks hetkeks, kuid oleks piisanud vähimastki tõukest, vähimastki õhupuhangust, et seda tasakaalu rikkuda ja siis oleks puusärk kas maha kukkunud või vastu lage

⁵⁶ Kirjutatud 1774. a., kui elektromagneteid veel ei tuntud.

sama võimatu kui asetada koonus oma tipule, kuigi viimane oleks teoreetiliselt võimalik.

Muide, Muhamedi puusärgi nähtust võib täielikult teostada ka magnetite abil, kasutades aga magnetite vastastikuse külgetõmbe asemel nende vastastikust tõukumist. (Seda, et magnetid mitte ainult teineteist ei tõmba, vaid ka eemale tõukavad, unustavad tihti isegi inimesed, kes äsja on füüsikakursuse läbi võtnud. Kui ma juhtusin näitama magnetite vastastikust tõukumist Leningradi Huvitava Teaduse Paviljonis, siis kutsus see igakord esile imestushüüdeid.) Nagu teada, tõukuvad samanimelised magnetipoolused. Kaks magnetiseeritud prussi, asetatuna nõnda, et nende samanimelised poolused oleksid teineteise vastas, tõukavad teineteist eemale; valides ülemise prussi jaoks vastava raskuse, võib saavutada seda, et ülemine pruss hõljub alumise kohal püsivas tasakaalus. Tuleb ainult hoolitseda selle eest, et hoidjad mittemagnetilisest aineist, näiteks klaasist, ei lubaks ülemisel prussil asetuda rõhtasendisse. Seda laadi seisundis võiks õhus hõljuda ka legendaarne Muhamedi puusärk.

Lõpuks, taolist nähtust on võimalik tekitada ka magneti külgetõmbefunctiooni abil, kui püüda seda teha liikuva keha puhul. Säärasele mõttele on rajatud hõõrdumiseta elektromagnetilise raudtee (vt. joon. 99) tähelepanuväärne projekt, mis on esitatud Nõukogude füüsiku prof. B. P. Veinbergi poolt. Projekt on sedavõrd õpetlik, et igaühel, kes tunneb huvi füüsika vastu, oleks kasulik sellega tutvuda.

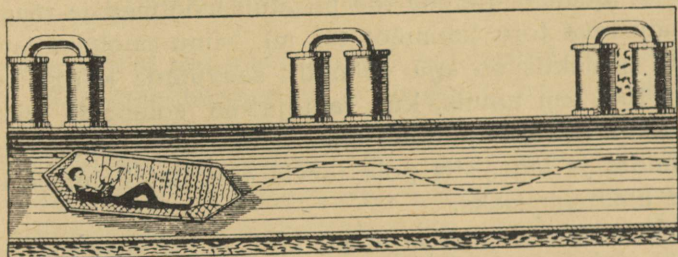
Elektromagnetiline transport.

Raudteel, mida soovitab ehitada B. P. Veinberg, on vagunid täiesti kaaluta; nende kaal on tasakaalustatud elektromagnetite külgetõmbega. Teie pole see-tõttu imestunud, kui teada saate, et vagunid, vastavalt projektile, ei liigu rööbastel, ei uju vees, isegi ei liugle mööda õhku, vaid lendavad ilma mingi toetuseta, mitte millegi vastu puutudes, ainult rippudes magneti nähtamatutes vägevates tungjoontes. Neil pole vähimatki hõõrdumist ja järelikult, kord liikuma panduna, jätkavad nad inertsil põhjal seda liikumist tohutu kiirusega, vajamata veduri tööd.

See mõte teostatakse järgmiselt. Vagunid liiguvad vasktoru sees, millest hõõrdumise kõrvaldamiseks on õhk välja pumbatud. Hõõrdumist vastu põhja pole, sest vagunid ei puutu seintega kokku. Nad ripuvad õhutühjas ruumis, hoituna ülal elektromagnetite poolt. Selleks on torule mööda kogu teed kindlale kaugusele üksteisest kinnitatud väga tugevad elektromagnetid. Nad tõmbavad raudvagnit külge ja takistavad sellega liikuvate vagunite kukkumist. Elektromagnetite jõud on arvestatud nõnda, et raudvagn, mis kihutab torus, kogu aja püsib „lae“ ja põranda vahel, puutumata kokku ei ühe ega teisega. Elektromagnetid tõmbavad nende all liikuvat vagunit ülespoole, vaguni kokkupõrget laega aga takistab raskustung, mis tõmbab vagunit allapoole; hetk enne kokkupuutumist põrandaga tõmmatakse vagun jälle ülespoole järgmise elektromagnetite poolt... Nõnda, kogu aja ülalhoituna elektromagnetite poolt, kihutab vagun edasi lainelist teed mööda tühjas ruumis ilma põrgeteta — nagu planeet maailma-ruumis.

Mida kujutavad endast vagunid? Need on sigarikujulised silindrid, kõrgusega 90 cm ja umbes $2\frac{1}{2}$ m pikkused. Vagun on muidugi hermeetiliselt suletud, ta ju liigub õhuta ruumis, ja on varustatud nagu allveepaat õhupuhastusseadeldisega.

Vagunite teesaatmise viis erineb samuti täielikult kõigest sellest, mis on rakendatud senini: seda võib võrrelda ainult kahurikuuli väljalasuga. Ja tõepoolest, vagunid „lastakse välja“ sõna tõsisel mõttes, ainult et



Joonis 99. Hõõrdumiseta liikuv vagun. Prof. B. P. Veinbergi poolt projekteeritud tee.

„kahur“ on siin elektromagnetiline. Lähtejaama ehitus rajaneb spiraalselt mähitud pooli (solenoidi) omadusele tõmmata endasse raudvarras, kui temas liigub elektrivool; sissetõmbamine toimub nii jõuliselt, et varras pooli küllaldase pikkuse ja küllaldase voolutugevuse puhul saavutab väga suure kiiruse. Uuel elektromagnetilisel raudteel ongi see tung vaguneid paigalt ärälükavaks tungiks. Et toru-tunnelis hõõrdumist pole, siis vagunite kiirus ei vähene ja vagunid liiguvad inertsil põhjal suure kiirusega seni, kuni sihtjaama solenoid neid ei peata.

Siin on toodud projekti autori poolt paar üksikasja: „Katsetel, mis ma korraldasin aastatel 1911—1913 Tomski Tehnoloogiainstituudi füüsikalaboratooriumis, oli kasutusele võetud vasktoru (läbimõõduga 32 cm), mille ülemises osas olid elektromagnetid, nende all alusel aga väike vagun — tükk raudtoru ratastega ees ja taga ning eriliselt ehitatud „ninaga“, millega vagun seismajäämisel pörkas vastu liivaga täidetud koti külge kinnitatud lauda. Väike vagun kaalus 10 kg. Vagunile oli võimalik anda umbes 6-km-ne tunni kiirus. Seda kiirust ei lubanud ületada toa piiratud mõõtmed ja rõngast moodustava toru läbimõõt ($6\frac{1}{2}$ m). Minu poolt väljatöötatud projektis on aga võimalik saavutada kiirusi kuni 800—1000 km tunnis, kui saatejaama solenoidi pikkus on 3 km. Et torus puudub õhk, samuti hõõrdumine vastu põrandat ja lage, siis pole tarvis energiat kulutada kiiruse alalhoidmiseks.

Sellise raudtee ehitus läheb küll palju maksma, eriti vasktoru. See tasub end aga ära liikluse odavusega (mõni tuhandik kuni üks-kaks sajandikku kopikat km kohta). See odavus on tingitud sellest, et pole kulusid kiiruse alalhoidmiseks, samuti pole kulusid masinistide, konduktorite jt. palkamiseks. Kahe toruga raudtee läbilaskevõime on ühes suunas ööpäevas 15 000 reisijat ja 10 000 tonni kaupa.“

Professor B. P. Veinbergi idee leidis muudetud kujul praktilist teostamist Moskva postkontoris väikeste pakside transportimiseks kontori ühest ruumist teise. Selle katsetee pikkus on 120 m; liikumise kiirus on 30 m sekundis. Samasugune elektromagnetiline transport ehitatakse ka Leningradi avalikku raamatukogusse lugejate poolt tellitud raamatute kohaletoimetamiseks.

Võitlus marslaste ja Maa elanike vahel.

Vana-Rooma looduseuurija Plinius esitab tema ajal väga levinud jutustuse magnetkaljust mere kaldal kusa-gil Indias, millel olevat võime erakordselt tugevasti külge tõmmata igasuguseid raudesemeid. Häda mere-mehele, kes julges läheneda oma laevaga sellele kal-jule. Kalju tõmbab laevast välja kõik naelad, kruvid ja raudkinnitused ning selle tagajärjel laev laguneb üksi-kuteks laudadeks. Hiljem leidis see jutustus tee 1001 öö muinasjuttudesse.

Muidugi pole see midagi muud kui legend. Me teame nüüd, et magnetmägesid, s. o. mägesid, mis on rikkad magnetrauamaagi poolest, on tõepoolest olemas, — meenutame kuulsat Magnetimäge, mille läheduses tõu-sevad taeva poole Magnitogorski kõrgahjud. Aga siiski on selliste mägede külgetõmbetung äärmiselt väike, peaaegu märkamatu. Selliseid mägesid ja kaljusid, mil-ledest kirjutas Plinius, pole kunagi maapinnal olnud.

Kui praegu ehitatakse laevu ilma raud- ja terasosa-deta, tehakse seda mitte kartusest magnetmägede ees, vaid selleks, et paremini uurida Maa magnetismi. Meil Glavsevmorput'is (Põhja Merete Peavalitsus) projekteeritakse sellist laeva, millesse ei mõju magnetitugid; laeva kõigis kinnitustes, mootoris, ankrutes on teras ja raud asendatud vase, pronksi, alumiiniumi ja teiste mitteraudmetallidega.

Teaduslike romaanide kirjutaja Kurt Lasswitz kasutas Pliniuse legendi ideed, et ehitada ähvardavat sõjariista, mida tarvitasid Lasswitz'i romaanis „Kahel planeedil“ Marsilt tulnud sõjamehed võitluses Maa elanikega. Olles varustatud sellise magnetilise (õigemini elektro-

magnetilise) relvaga, marslased relvitustasid Maa elanikud veel enne, kui need jõudsid lahingut alata.

Kirjanik kirjeldab seda episoodi lahingust Marsi ja Maa elanike vahel järgmiselt:

„Ratsanike hiilgavad read tormasid tagasihoidmatult edasi. Ja näis, et ennastsalgava sõjaväe otsustavus oleks nagu sundinud vaenlast (s. t. marslasi — J. P.) taganema, sest nende õhulaevade keskel tekkis uuesti liikumine. Nad tõusid õhku, nagu kavatseksid lahkuda.

Kuid üheaegselt sellega laskus ülalt alla mingi tume laialilaotunud mass, mis alles nüüd ilmus välja kohale. Lehviva katte taoliselt laienes see mass, ümbritsetuna igalt poolt õhulaevadega, kiiresti üle kogu välja. Ratsanike esimene viirg jõudis juba selle alla ja otsekohe laotus see imelik seadeldis üle kogu rügemendi. Selle mõju oli ootamatu ja imeväärne! Lahinguväljalt kostis läbitungiv hädakisa. Maas vedesid kägeras hobused ja ratsanikud, õhk aga oli täitunud piikide, mõõkade ja karabiinide tiheda pilvega; kõik need relvad lendasid kärina ja mürinaga üles seadeldise poole, mille külge nad ka jäid.

Seadeldis liikus veidi eemale ja laskis siis maa peale oma raudse lõikuse. Veel kaks korda tuli see seadeldis tagasi ja igakord ta lausa niitis kogu väljalt relvastuse. Polnud ühtki kätt, millel oleks jätkunud jõudu kinni hoida piiki või mõõka.

See seadeldis oli marslaste uus leiutus: ta tõmbas vastupandamatu jõuga enda külge kõik, mis oli tehtud rauast või terasest. Selle õhus hõljuva magnetiga tõmbasid marslased oma vaenlaste käest relvad, tegemata neile vähimatki kahju.

Õhumagnet kandus edasi ja lähenes nüüd jalaväele. Asjatult püüdsid sõdurid kramplikult mõlema käega omi

püsse kinni hoida, vastupandamatu jõud tõmbas need nende käest; paljud, kes ei lasknud relvi käest, tõsteti koos nendega õhku. Mõne minuti jooksul oli esimene rügement relvitustatud. Siis asus seadeldis linnas marsivate rügementide kannule ja tegi needki sama saatuse osalisteks.

Ka suurtükiväge tabas sama saatus.“

Kell ja magnetism.

Eelmise artikli lugemisel kerkib loomulikult küsimus: kas pole võimalik leida kaitset magnetitungide mõju eest, varjata ennast nende eest mingi nende poolt läbitamatu tõkke taha?

See on täiesti võimalik ja marslaste fantastiline leiutis poleks mingit kahju teinud, kui õigel ajal oleks tarvitusele võetud vastavad abinõud.

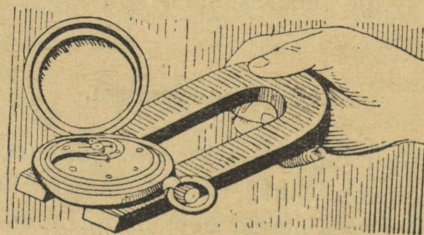
Kui imelik see ka on, kuid aine, mis magnetitunge läbi ei lase, on seesama raud, mis nii kergesti magnetiseerub! Raudrõnga sees ei kaldu kompassinõel kõrvale väljaspool rõngast asetseva magneti mõjul.

Rauast kapsel kaitseb taskukella terasmehhanismi magnetitungide mõju eest. Kui paneksite kuldkella tugeva hobuserauakujulise magneti poolustele, siis kõik, mis kellamehhanismis on terasest, magnetiseeruks, eelkõige õhuke juuksejämedune vedru balanssiiri juures⁵⁷, ja kell jääks seisma. Kui te ka magneti kõrvaldate, kell ei hakka enam käima, sest mehhanismi terasosad jäävad magnetiseerituks ja kell nõuab põhjalikku

⁵⁷ Kui see vedru pole ainult tehtud erisulamist invarist, metallist, mis ei magnetiseeru, kuigi selle sulami koostisse kuuluvad raud ja nikkel.

remonti ning paljude osade asendamist uutega. Seejärel ei tohi säärast katset teha kuldkellaga — see läheks liiga kalliks maksma.

Seevastu kellaga, mille mehhanism on tihedalt suletud raud- või teraskapslisse, võite julgesti teha selle katse; magnetitugid ei tungi läbi raua ja terase. Te võite



Joonis 100.

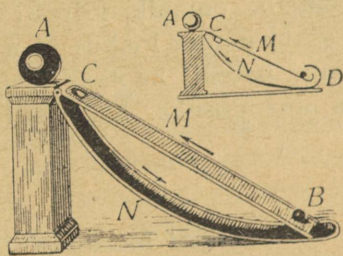
säärase kella viia tugevaima dünamo mähise lähedusse, kella käik ei muutu vähimalgi määral. Elektrotehnikuile on sääraseid odavad raudkellad otse ideaalsed, kuna kuld- või hõbekellad kiiresti riknevad magnetite mõjul.

Magnetiline „igavene“ jõumasin.

„Igavese“ jõumasina leiutamise katsete ajaloos pole magnet just viimast osa etendanud. Leiutajad-hädavare-
sed on püüdnud magnetit igati ära kasutada selleks, et ehitada mehhanismi, mis käiks iseendast igavesti. Toome ühe sellise „mehhanismi“ projekti (see projekt on kirjeldatud Chesteri piiskopi, inglase John Wilkens'i poolt XVII sajandil).

Sambal (joon. 101) asetseb tugev magnet *A*. Sambale toetub kaks kaldrenni *M* ja *N* üksteise all, seejuures on

ülemisel rennil M ülal väike ava C , alumine renn on painutatud. Kui — nii arutles leiutaja — panna ülemisse renni väike kera, siis hakkab see magneti A külgetõmbe tõttu veerema alt üles; jõudes aga avani C , kukub ta siin läbi selle alumisele rennile, veereb seda mööda alla, tõuseb kõveruse D kaudu veidi üles ja langetub ülemisele rennile M ; kera veereb seda renni mööda uuesti üles, kukub jälle läbi ava, veereb uuesti alla ja satub uuesti ülemisse renni, et siis jälle alata oma liikumist. Sel viisil hakkab kera peatumatult liikuma, teostades „igavest“ liikumist.



Joonis 101. Näivalt igavene jõumasin.

Milles siis seisneb selle leiutise mõttetus?

Seda pole raske näidata. Mispärast arvab leiutaja, et kera, jõudnud renni N alumisse otsa, omab veel küllalt kiirust, et tõusta kõveruse D kaudu? Nõnda oleks, kui kera veereks ainult raskustungi mõjul, siis ta oleks liikunud kiirenevalt. Siin aga on kera kahe tungi, raskustungi ja magneti külgetõmbetungi mõju all. Viimane tung on nii suur, et tõstab kera asendist B C -ni. See pärast kera veerebki renni N mööda alla mitte kiirenevalt, vaid aeglustuvalt ja kui ta jõuabki renni alumisse otsa, siis igatahes pole tal niipalju energiat, et tõusta mööda kõverust D üles.

Kirjeldatud projekt kerkis hiljem uuesti üles mitu korda igasugustes teisendites. Uks selline projekt, kui imelikuna see ka paistab, oli isegi Saksamaal a. 1878 patenteeritud, s. o. kolmkümmend aastat pärast energia jäävuse seaduse avastamist! Leiutaja oskas oma „igavese magnetilise jõumasina“ mõttetut põhiideed sellisel viisil maskeerida, et viis eksitusse patente väljaandva tehnilise komisjoni. Kuigi, vastavalt põhikirjale, ei tohi välja anda patente leiutiste peale, millede idee on vastuolus loodusseadustega, teostati antud korral formaalne patenteerimine. Tõenäoliselt pettus ainsa seda laadi patendi õnnelik omanik kiiresti oma sünnitises, sest juba kahe aasta pärast loobus ta maksude maksmisest ja kurioosne patent kaotas kehtivuse: „leiutis“ muutus üldiseks omanduseks. Kuid teda ei vaja keegi.

Muuseumi ülesanne.

Muuseumiasjanduse praktikas esineb sageli vajadus lugeda vanaaegseid rulle, mis on nii vanad ja lagunenud, et murduvad ja rebenevad kõige ettevaatlikumalgi katsel eraldada käsikirja üht lehte teisest. Kuidas eraldada selliseid lehti?

NSV Liidu Teaduste Akadeemia juures on olemas dokumentide taastamise laboratoorium, mille ülesandeks on lahendada seda laadi ülesandeid. Esitatud juhul saab laboratoorium raskustest üle, kasutades elektrit: rull elektriseeritakse; rulli naaberlehed, saanud ühenimelised laengud, tõukavad teineteist eemale ja eralduvad. Sellist kohevile aetud rulli on vilunud kätel juba võrdlemisi kerge lahti rullida ja kleepida paksule paberile.

Veel kujutletavast igavesest jõumasinast.

Suure populaarsuse osaliseks meie igavese jõumasina leiutajate keskel on saanud viimasel ajal dünamo ja elektrimootori ühendamise idee. Igal aastal saan pea-aegu pool tosinat selliseid projekte: kõikide projektide olu on järgmine: tuleb elektrimootor ja dünamomasin ühendada transmissiooniga, voolujuhtmed dünamolt aga viia elektrimootorile. Kui dünamole anda esialgne impulss, siis vool, mis saadakse dünamos, paneb käima elektrimootori; mootor omakorda paneb käima dünamo, sest need mõlemad masinad on ühendatud transmissiooniga. Nagu arvavad leiutajad, panevad need masinad vaheldumisi teineteist käima ja see liikumine ei lõpe enne, kui masinad on ära kulunud.

See idee näib leiutajaile väga ahvatlevana; kuid siiski need, kes püüdsid seda teostada, pidid oma suureks imetuseks nentima, et sellistel tingimustel ei tööta kumbki masin. Midagi muud ei saanudki oodata sellest projektist. Isegi sel korral, kui mõlema masina kasutegur oleks sada protsenti, võiks teostuda ülalkirjeldatud masinate koostöö ainult hõõrdumise täieliku puudumise puhul. Mainitud masinate ühendus (nende „agregaat“, tehnika keeles) moodustab oma olemuselt ühe masina, mis nüüd iseennast peab käima panema. Hõõrdumise puudumisel see agregaat — nagu ka mistahes seib — liiguks igavesti, sellest aga poleks mingit kasu: tuleb ainult „agregaadilt“ nõuda välist tööd ja ta jääb kohe seisma. Meil oleks siis küll „igavene liikumine“, aga mitte igavene jõumasin. Hõõrdumise olemasolu puhul aga agregaat ei liiguks sugugi.

On imelik, et inimestel, keda meelitab see idee, ei tule pähe selle sama mõtte lihtne teostamine: ühendada

transmissiooniga kaks seibi ja üks neist panna pöörlema. Kui arutada nõnda, nagu seda tehti eelmises ülesandes kahest liidetud masinast, siis peab esimene seib pöörlema panema teise seibi, teine omakorda esimese. Võib läbi saada ka ühe seibiga: paneme ta pöörlema, tema parem pool tõmbab pöörlemises kaasa pahema poole, pahem pool omakorda jälle parema poole. Kahel viimasel juhul on mõttetus silmanähtav ja seepärast seda laadi projektid ei innustagi kedagi. Olemuselt on aga kolme kirjeldatud „igavese jõumasina“ aluseks üks ja seesama vale alus.

Peaaegu igavene jõumasin.

Matemaatikule ei paku mõiste „peaaegu igavene“ midagi meelitavat. Liikumine võib olla kas igavene või mitte-igavene; „peaaegu igavene“ tähendab oma olemuselt midagi „mitte-igavest“.

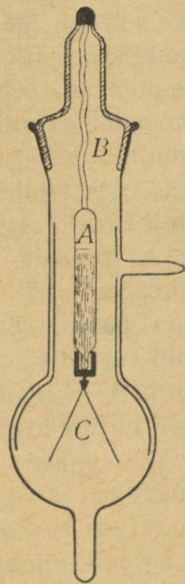
Praktilise elu seisukohalt pole aga asi nii. Paljud võivad olla oleksid täiesti rahuldatud, kui neil õnnestuks saada oma käsutusse mitte täiesti igavese jõumasina, kuid „peaaegu igavese“, mis on võimeline liikuma näiteks 1000 aastat. Inimese eluiga on üürrike ja 1000 aastat on talle sama, mis igavik. Praktilise mõistusega inimesed vaataksid probleemile kui juba lahendatule ja neil kaoks põhjus veel edaspidi selle üle pead murda.

Niisuguseid inimesi võib rõõmustada teatega, et 1000-aastane jõumasin on juba leiutatud; igaühel on võimalus teatavate kuludega omandada sellist jõumasinat. Selle leiutise peale pole keegi patenti võtnud ja siin pole ka tegemist mingi saladusega. Prof. Strutt'i poolt 1903. a. väljamõeldud, tavaliselt „raadikumikellaks“

nimetatava riista ehitus pole keeruline (joon. 102). Klaasanumas, millest õhk on kõrvaldatud, on kvartsi- niidi *B* (kvarts ei juhi elektrit) külge kinnitatud väike klaastoru *A*, mis sisaldab mõni tuhandik grammi raadiumisoola. Toru otsa on riputatud, nagu

elektroskoobis, kaks kuldlehe- kest. Nagu teada, kiirgab raadium kolme liiki kiiri: alfa-, beeta- ja gamma-kiiri. Antud juhul mängivad peamist osa kergesti läbi klaasi minevad beeta-kiired, mis pole muud, kui negatiivselt laetud osakeste (elektronide) vool. Raadiumi poolt igas suunas väljapaisatud osakesed viivad kaasa negatiivsed laengud ja sellepärast toru raadiumiga elektriseerub järk-järgult positiivselt. See positiivne laeng läheb üle kuldlehekestele, mille tagajärjel lehekesed tõukavad teineteist eemale. Tõukumisel puutuvad lehekesed kokku klaas- anuma seintega ja kaotavad seetõttu oma laengu (seinte vastavatele kohtadele on kleebitud lehtmetsall, mida mööda elekter lahku) ja tulevad algasendisse tagasi.

Varsti koguneb uus laeng, lehekesed lähevad uuesti laiali, annavad jälle ära oma laengu, tulevad jälle algasendisse, et uuesti elektriseeruda. Iga kahe-kolme minuti jooksul toimub kellamehhanismi täpsusega üks lehekeste võnge, sellest ka nimetus „raadiumikell“. See



Joonis 102. Raadiumikell peaaegu „igavese ülestõmbega“ 1600 aasta peale.

kestab aastaid, kümneid aastaid, sadasid aastaid, seni, kuni kestab raadiumi kiirgus. Lugeja näeb, et tema ees pole küll mitte „igavene“, aga siiski tasuta jõumasin.

Kui kaua kestab raadiumi kiirgus?

On kindlaks tehtud, et juba 1650 aasta pärast raadiumi kiirgus nõrgeneb kaks korda. Seepärast käib raadiumikell seisma jäämata mitte vähem kui 1000 aastat, vähendades järk-järgult võngete sagedust elektrilaengu nõrgenemise tagajärjel. Kui selline kell oleks ehitatud Venemaa tekkimise ajal, siis oleks ta veel praegugi käinud!

Kas oleks võimalik seda tasuta jõumasinat kasutada praktilisteks otstarveteks? Kahjuks mitte. Selle jõumasina võimsus, s. o. töö ühe sekundi jooksul on nii tühine, et selle töö arvel ei saa mingit mehhanismi käima panna. Et saavutada enam-vähem käegakatsutavaid tulemusi, tuleb tarvitusele võtta suuremad raadiumihulgad. Kui aga tuletame meelde, et raadium on väga haruldane ja kallis element, siis oleme nõus sellega, et seda laadi tasuta jõumasin osutuks liiga laastavaks.

Tohutud energiahulgad peituvad aatomi sügavuses, nn. aatomituumas. Selle energia ärakasutamise probleemi lahendus annab meie käsutusse ammutamatuid energiahulki.

Kui vana on Maa?

Radioaktiivsete elementide lagunemise seaduste uurimine andis teadlaste kätte kindla vahendi Maa vanuse määramiseks.

Mis on radioaktiivne lagunemine? See on spontaanne (s. o. välistest põhjustest olenematu) ühe aatomi

muundumine teiseks. On tähelepanuväärne, et seda muundumist ei mõjasta mingi väline põhjus. Temperatuuri alanemine või kõrgenemine, rõhu suurenemine või vähenemine jms. ei avalda vähimatki mõju sellesse protsessi⁵⁸. Elemendid uraan ja toorium, mida sisaldavad üksikud mineraalid, on järjest üksteisesse üleminevate radioaktiivsete elementide ridade algliikmeiks. Nende muunduste lõpp-produktiks on: uraanireale — uraantina, tooriumireale — tooriumtina. Need mõlemad tinaliigid erinevad veidi tavalisest tinast oma aatomkaaludega: tavalise tina aatom on vesiniku aatomist raskem umbes 207 korda, uraantina — 206 ja tooriumtina — 208 korda. Tähendab, eraldada üht liiki teisest on täiesti võimalik.

Mainitud muundumistega kaasneb nn. alfa-kiirte kiirgamine lagunevate aatomite poolt. See kiirgus on laetud materiaaosakeste — heeliumiaatomite vool. Heelium on kerge gaas, mis praegu etendab tähtsat osa õhulaevade ehitamisel. Need heeliumiaatomid, omades tekkimise momendil tohutut kiirust, kaotavad selle, samuti läheb kaotsi nende elektrilaeng ja mineraalis tekib harilik heelium. Sellega on seletatav heeliumi olemasolu kõikides radioaktiivsetes mineraalides.

Pärast öeldut pole raske mõista selle tähelepanuväärse meetodi olu, millega määratakse mineraalide ja järelkult ka neid sisaldavate lademetete vanus. Oli juba märgitud, et mingid asjaolud ei mõju radioaktiivse protsessi temposse. Igasugustel tingimustel laguneb ühe aasta jooksul lähteelemendist kindel arv aatomeid, s. o. ühest uraani või tooriumi grammist tekib ühe aasta jooksul teatav kindel hulk heeliumi. Näiteks 1 g uraani

⁵⁸ Selleks oleks vaja temperatuuri kümneid miljardeid kraade.

tekitab aastas heeliumi umbes üks kümmemiljondik osa ühest kuupsentimeetrist. Teiste sõnadega, mineraalis koguneb 1 cm³ heeliumi iga grammi uraani kohta 10 miljoni aasta jooksul. Selline on käik sellel looduslikul kellal, mida endast kujutavad radioaktiivsed ained looduseuurijale.

Radioaktiivsete mineraalide analüüsiga on näidatud, et mõnedes neist leidub heeliumi kuni 50 cm³ iga grammi uraani kohta. Siit järeldub, et uraani lagunemine on kestnud mitte vähem kui $50 \times 10\,000\,000$, s. o. 500 miljonit aastat. Ja see on kõige tagasihoidlikum hinnang, sest miljonite aastate jooksul on kindlasti osa heeliumi lendunud ja seda pole arvestatud.

Kirjeldatud arvutus mineraali vanuse määramiseks laseb ennast kontrollida teise meetodiga, mis on rajatud mineraalis leiduva uraan- ja tooriumtina hulkade määramisele. Ühest grammist uraanist tekib ühe aasta jooksul üks 6000 miljondik grammi tina. Jagades mineraalis leiduva uraantina grammide arvu mainitud murruga, teiste sõnadega, korrutades seda grammide arvu 6 000 000 000-ga, me leiame mineraali vanuse. See meetod on kindlam eelmisest, sest tina ei lendu ja on seepärast arvestatav täies ulatuses. Tulemusi võib võrrelda nende andmetega, mida saadakse tooriumi lagunemisel (toorium laguneb neli korda aeglasemalt kui uraan).

Mida andis meile see meetod? Ta näitas, et kõige vanemais prekambriumi lademetes (need ei sisalda veel elava looduse jäänuseid) leitud radioaktiivsete mineraalide vanus ulatub 1500 miljoni aastani. Aga ookeanid, millede põhjas need lademed tekkisid, on muidugi veel vanemad. Nimetatud arv kujutab endast seepärast

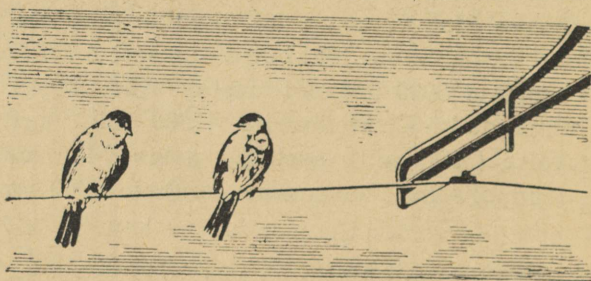
ookeanide vanuse alumist piiri. Geoloogia õpetab, et see ajavahemik, mis on möödunud ookeanide tekkimise algusest, moodustab meie planeedi ajaloost suurema osa. Tähendab, radioaktiivsete mineraalide analüüs tõendab, et meie Maa vanus on v ä h e m a l t 1500 miljonit aastat.

Võib minna ka kaugemale. Kui oletada, ja see on väga tõenäoline, et kogu tinatagavara maakoore välismises osas on tekkinud uraani ja tooriumi lagunemisest, siis saadakse Maa vanusele ka ülemine piir. Me saame siis teada, et maakoore tekkimise algusest on möödunud mitte enam kui 3000 miljonit aastat. Kõrvutades mõlemad hinnangud — minimaalse (1500 milj. aastat) ja maksimaalse (3000 milj. aastat), saame Maa vanusele kõige tõenäolisema suurusena umbes 2000 miljonit aastat.

Kaks tuhat miljonit aastat on peadpööriv aeg, võrreldes mitte ainult inimese eluea, vaid ka kogu inimsoo ajalooga. Siiski pole see arv suur, kui seda võrrelda meie Päikese ja teiste kinnistähtede vanusega, mida hinnatakse astronoomide poolt mitte tuhandete miljonite, vaid miljonite miljonite aastatega. Möödus palju miljardeid aastaid, enne kui mõni teine täht liikus nii ligidalt meie siis veel üksildasest Päikesest mööda, et Päikesel võis tekkida hõõguva aine tohtu tõusulaine. See värtnataoline ürgaine pilv ulatus kaugele emakehast ja siis, lahtirebenenuna sellest, lagunes üksikuiks keradeks, sünnitades planeetide pere. Võib-olla nii algas meie planeedi ajalugu, mis kestab juba umbes 2000 miljonit aastat ...

Linnud juhtmel.

Kõik teavad, kui ohtlik on inimesel kokku puutuda trammi või kõrgepingeliini juhtmetega, kui viimastes on vool. See kokkupuutumine ei ole surmav mitte ainult inimesele, vaid isegi suurematele loomadele. On teada paljusid juhtumeid, kus hobused, lehmad said surma seeläbi, et neid riivas mahakukkunud juhe.



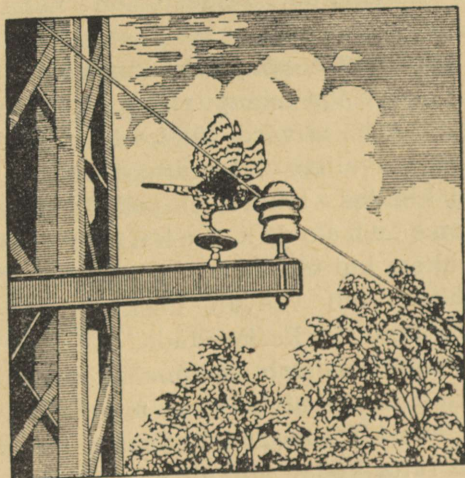
Joonis 103. Linnud peatuvad karistamatult elektri juhtmel. Mis pärast?

Kuidas aga siis seletada, et linnud peatuvad rahulikult ja täiesti karistamatult juhtmetel? Selliseid pilte võib linnades tihti näha.

Selleks et oleks selge tugeva voolu ohutuse põhjus lindudele, tuleb silmas pidada järgmist: juhtmel istuva linnu keha on nagu vooluahela haru, mille takistus, võrreldes teise haru (juhtme lühike osa linnu jalgade vahel) takistusega, on väga suur. Seepärast ongi voolu tugevus selles harus (linnu kehas) tühine ja ohutu. Kui aga lind, istudes juhtmel, puutub kokku postiga oma tiiva, saba või noka kaudu või ükskõik, mis viisil loob

ühenduse maaga, siis tapab vool, mis tema kaudu tungib maasse, ta silmapilkselt. Seda sageli täheldataksegi.

Lindudel on tavaks, võtnud istet kõrgepingeliini toendil, hakata oma nokka puhastama vastu voolukandvat juhet. Et toend pole isoleeritud, siis maandatud linnu kokkupuutumine juhet läbiva vooluga lõpeb linnu surmaga. Kuivõrd arvukad on sellised juhud, võib näha



Joonis 104. Lindudele määratud isoleeritud õrs kõrgepingeliini toendil.

kasvõi sellest, et on tarvitusele võetud erivahendid, et kaitsta linde ohu eest. Selleks ehitati kõrgepingeliini konsoolidele isoleeritud õrred, millel lind võis mitte ainult istuda, vaid ka oma nokka karistamatult vastu juhet puhastada (joon. 104). Teistel juhtudel tehakse kardetavad kohad eriseadeldiste abil linnule juurdepääsematuks.

Välgu valgusel.

Kas olete juhtunud äikese ajal vaatlema linnatänavat elavat pilti lühikestel välgusähvatustel. Te olete muidugi täheldanud seejuures üht imelikku iseärasust: tänav, mis praegu veel oli täis liiklemist, paistab säärasel hetkedel otsekui tardunud olevat. Hobused on seisma jäänud pinevates poosides, hoides jalgu õhus; sõidukid on samuti liikumatud: selgesti on näha ratta iga kodarat...

Näiliku liikumatuse põhjuseks on välgu kaduvväike kestus. Välg, nagu iga teinegi elektrisäde, kestab äärmiselt lühikest aega, niivõrd lühikest, et seda ajavahemikku ei saa tavaliste vahenditega mõõta. Kaudsete võtetega on kindlaks tehtud, et välg kestab vähem kui üks kümnetuhandik sekundit, äärmisel korral mitte rohkem kui üks tuhandik sekundit. Sellise lühikese aja vältel võib vaevalt miski silmale nähtavalt edasi liikuda. Pole siis ka imestada, et tänav täis mitmesugust liiklemist paistab välgusähvatusel tardununa: meie märkame ju siis ainult neid muudatusi, mis kestavad vähem ühest kümnetuhandikust sekundist! Kiiresti liikuva auto ratta kodar nihkub edasi selles ajavahemikus millimeetri kaduvväikese osa võrra; silmale on see sama, mis täielik liikumatus. Mulje tugevneb veelgi selle tõttu, et nägemisaisting kestab edasi palju pikemat aega kui välgu kestus.

Mis maksab välg?

Sel kaugel ajal, mil välke saatsid jumalad, oleks selline küsimus olnud puhtal kujul „pühaduse teotamine“. Aga meie kainel tänapäeval, mil elektrienergia on muu-

tunud kaubaks, mida mõõdetakse ja hinnatakse nagu igat teistki kaupa, pole see küsimus kaugeltki mõttetu. Ülesanne seisneb selles, et arvutada seda elektrienergia hulka, mis läheb tarvis välguks, ja määrata, kui palju see maksab — kasvõi elektervalgustuse hindade järgi.

Siin arvutus. Uusimate andmete järgi on välgu pinge 1000 miljonit volti. Voolutugevust hinnatakse seejuures 20 tuhandele amprile (märgime mööda minnes, et voolutugevust määratakse terasvarda magnetiseerumise astme põhjal, mis tekib, kui varda mähist läbib vool, mis on tekitatud välgulöögist piksevardasse). Võimsuse vattides saame, kui korrutame voltide arvu amprite arvuga; siinjuures tuleb arvesse võtta, et välgu ajal pinge langeb nullini; seepärast võetakse võimsuse arvutamisel keskmine pinge, teiste sõnadega — pool esialgsest pingest.

$$\text{Saame: välgu võimsus} = \frac{1\,000\,000\,000 \times 20\,000}{2} = \\ = 10\,000\,000\,000\,000 \text{ vatti ehk } 10 \text{ miljardit kilovatti.}$$

Saanud niisuguse aukartustäratava nulliderea, on loomulik oodata, et ka välgu rahaline väärtus on tohutult suur. Siiski, kui arvutada energiahulka hektovatt-tundides, siis saame juba palju tagasihoidlikuma arvu. Väikkestab mitte kauem kui üks tuhandik sekundit; tähendab, hektovatt-tundide arvu saamiseks tuleb ülaltoodud arv jagada 360 000 000-ga ja et Leningradis üks hektovatt-tund maksab 2,2 kopikat, siis välgu hind võrdub

$$\frac{10\,000\,000\,000\,000 \times 2,2}{360\,000\,000} \approx 60\,000 \text{ kop.} = 600 \text{ rubla.}$$

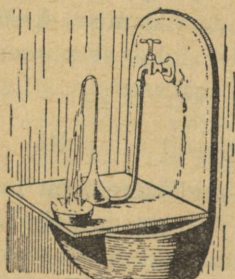
Tulemus on hämmastav: väik, mille energia on umbes sada korda suurem raskekahuri mürsu energiast, maksab elektrijaamade tariifide järgi ainult 600 rubla!

On huvitav, kui kaugele nüüdisaegne elektrotehnika

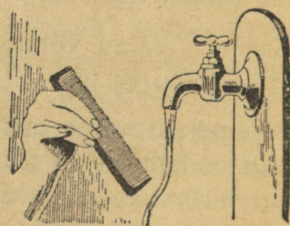
on juba jõudnud kunstliku välgu teostamise alal. Laboratooriumides on juba saavutatud pinge kuni 10 miljonit volti ja sädeme pikkus kuni 10 m. See ja teine on ainult paarsada korda väiksemad kui loomuliku välgu puhul.

Äikesevihm toas.

On kerge kodus ehitada väikest purskkaevu kummitorust, mille üks ots pannakse kõrgemasse kohta asetatud ämbrisse või lihtsalt veevärgi kraani külge. Toru väljalaskeava peab olema väga väike, et veejuga jaguneks peenikesteks osadeks; lihtsam on seda teostada,



Joonis 105. Äikesevihm miniatuuris.



Joonis 106. Elektriseeritud kammi lähendamisel kaldub veejuga kõrvale.

kui pista toru otsa pliiatsijupp, millest on kõrvaldatud grafiit. Purskkaevu hõlpsamaks käsitlemiseks kinnitatakse toru vaba ots lehtrisse, nagu on näidatud joonisel 105.

Korraldanud nõnda, et juga oleks pool meetrit kõrge ja suunatud püsti üles, lähendage purskkaevule villase

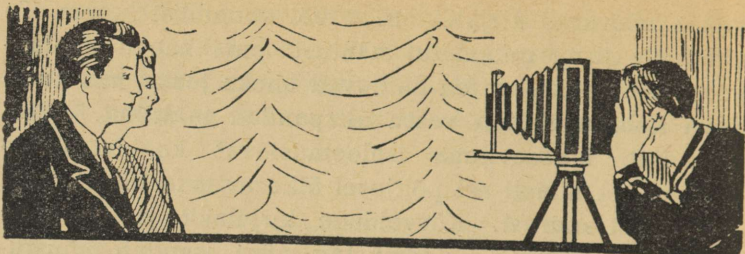
lapiga hõõrutud kirjalaki tükk või eboniidist kamm. Te täheldate üsna ootamatut nähtust: purskkaevu allalangeva osa üksikud nired ühinevad üheks joaks, mis kuulda kohinaga lööb vastu allapandud taldrikut. Häälmee nutab äikesevihma iseloomustavat kohinat. Pole kahtlust, et nimelt sel põhjusel äikesevihma tilgad omavad sellist suurust. Kõrvaldage kirjalakk ja otsekohe pihustub juga ning iseloomustav müra asendub pihustunud joa kohinaga.

Võhikute ees võite kirjalaki pulgaga tegelda kui „nõiakepigaga“.

Elektrilaengu niivõrd ootamatu mõju purskkaevusse leiab seletuse selles, et veetilgad elektriseeruvad induktiooni tõttu, seejuures tilkade need osad, mis on pööratud laengu poole, elektriseeruvad positiivselt, laengust ärapööratud tilkade osad — negatiivselt; seega on isenimeliselt laetud tilkade osad väga lähedal teineteisele ja tõmbavad üksteist külge. Tilgad ühinevad.

Elektrilaengu mõju veejoasse võib avastada ka lihtsamalt; tarvitseb ainult lähendada läbi juuste tõmmatud eboniidist kamm peenele, kraanist väljavoolavale veejoale: juga muutub jämedamaks ja kaldub tunduvalt kõrvale (joon. 106). Selle nähtuse seletus on keerulisem eelmisest; seletus on seotud pindpinevuse muutumisega elektrilaengu mõjul.

Muuseas tähendame, et kergusega, millega tekib elektrilaeng hõõrdumisel, seletub ka transmissioonirihmade elektriseerumine hõõrdumisel vastu seibe. Tekkinud elektrisädemed võivad mõnedes tehastes tekitada tõsisist tulekahjuohtu. Selleks et seda vältida, kaetakse transmissioonirihmad õhukese hõbedakihihiga: õhuke hõbedakiht teeb rihma elektrit juhtivaks ja takistab seega laengute kogunemist.



Üheksas peatükk.

Valguse peegeldumine ja murdumine. Nägemine.

Viiekordne foto.

Üheks fotografeerimiskunsti kurioosumiks on foto, millel fotografeeritav on kujutatud viies vaates. Siia juurdelisatud joonisel 107, mis on tehtud sellise foto järgi, võib näha neid vaateid. Sellised fotod omavad kahtlemata eeliseid tavaliste fotode ees, sest nad annavad täielikuma kujutluse pildistatava karakterseist omadustest: on ju teada, kuidas fotograafid püüavad anda ülesvõetava isiku näo kõige paremas pöördes; siin aga saadakse nägu korraga mitmes vaates, mille hulgast kõige karaktersema valimiseks on juba rohkem võimalusi.

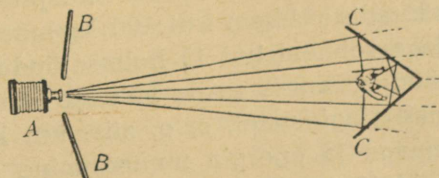
Kuidas saadakse need fotod? Muidugi peeglite abil (joon. 108). Fotografeeritav võtab istet seljaga aparaadi A ja näoga püsti asetatud nurkpeegli C poole. Nurkpeegli nurk on üks viiendik 360° -st, s. o. 72° . Nii-sugune nurkpeegel annab neli kujutist, millest igaüks on eri viisil pööratud aparaadi poole. Apparaat fotogra-

feerib need kujutised koos pildistatava objektiga, kusjuures peeglid ise (ilma raamideta) muidugi pildile ei tule. Et peeglites aparraati poleks näha, varjatakse ta kahe ekraaniga (BB), mille vahel on pilu objektiiviga jaoks.



Joonis. 107. Ühe isiku viiekordne foto.

Kujutiste arv oleneb nurkpeegli nurgast: mida väiksem on nurk, seda suurem on kujutiste arv. Nurga $\frac{360^\circ}{4} = 90^\circ$ puhul saadakse 4 kujutist, nurga $\frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$



Joonis 108. Viiekordse foto saamise viis. Pildistatav asetseb peeglite CC vahel.

puhul kuus kujutist, nurga $\frac{360^{\circ}}{8} = 45^{\circ}$ puhul kaheksa kujutist jne. Kui kujutisi on liiga palju, siis on nad ähmased ja nõrgad; seepärast piirduetaksegi harilikult viie ülesvõttega.

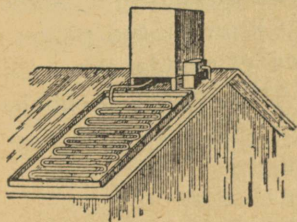
Päikesemootorid ja -soojendajad.

Väga ahvatlev on mõte ära kasutada päikesekiirte energiat vee soojendamiseks aurumasina katlas. Esitame lihtsa arvutuse. On täpselt määratud see päikeseenergia hulk, mida saab meie planeedi pinna iga 1 cm^2 ühe minuti jooksul, kui pind asetseb väljaspool atmosfääri ja on risti päikesekiirtega. See soojushulk on nähtavasti muutumatu; seepärast seda nimetataksegi „solaarkonstandiks“. Solaarkonstandi suurus on umbes 2 cal ühe ruutsentimeetri ja minuti kohta. See soojusenorm, mida Maa korrapäraselt saab Päikeselt, ei jõua nii suurena maapinnani: umbes pool kalorit neeldub atmosfääris. Võib arvestada, et maapinna ruutsentimeeter, mis on risti kiirtega, saab igas minutis umbes $1,4 \text{ cal}$. Üleminekul ruutmeetrile saame $14\,000 \text{ cal}$ ehk 14 kilo-kalorit ühes minutis, sekundis aga umbes $\frac{1}{4} \text{ kcal}$. Et 1 kilo-kalori soojuse täielikul muundumisel mehhaaniliseks tööks saadakse $427 \text{ kilogramm-meetrit}$ tööd, siis päikesekiired, langedes risti $1\text{-ruutmeetrilisele}$ pinnale, võiksid anda igas sekundis rohkem kui 100 kg-meetrit energiat, teiste sõnadega rohkem kui $1\frac{1}{2}$ hobusejõudu.

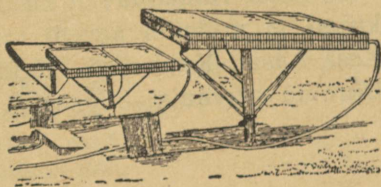
Niipalju tööd võiksimme saada Päikese kiirgusenergiast kõige paremail tingimustel, s. o. siis, kui kiired langevad risti pinnaga ja energia muundumine on sajabrot-sendiline. Kuid tänini teostatud katsed päikeseenergiat ära kasutada liikumisenergia saamiseks on veel kaugel

sellistest ideaalsetest tingimustest. Nende kasutegur ei tõuse üle 5—6%.

Hõlpsam on kasutada päikeseenergiat mitte mehhaanilise töö saamiseks, vaid soojendamiseks. Kalifornias töötab tööstuslik Päikese Vee-eelsoojendajate Kompanii, mis varustab tarbijaid päikesekiiri koondavate katusele paigutatavate soojendamisriistadega: vesi, mis on soojendatud nende riistadega, leiab kasutamist koduses majapidamises. See kompanii võistleb gaasi- ja teiste ühingutega.



Joonis 109. Päikesekiirte mõjul töötav soojendaja katusel (Kalifornias).



Joonis 110. Päikesekiirte mõjul töötav keeduaparaat Samarkandis (Trofimovi süsteem).

Kuskil ei pühendata praegu päikeseseadmetele (helio-tehnikale) niipalju tähelepanu kui NSV Liidus. Meil on olemas Uleliiduline Eriline Helioinstituut (Samarkandis), kes teostab laiaulatuslikku uurimistööd. Taškendis töötab päikeseaun, mida kasutab päevas 70 inimest. Taškendis on ehitatud ka, nagu teatavad ajalehed, helioseade Gosplani (Riiklik Plaanikomisjon) eriteadlaste maja katusele. Siin on püstitatud 20 päikesekatelt, mis mahutavad 200 pange vett ja varustavad kogu maja sooja veega. Heliotehnikute sõnade järgi soojendab Päike katlaid vahetpidamata 7—8 kuud aastas. Ulejää-

nud 4—5 kuud soojendab Päike ainult selgetel päevadel. Suurepäraseid tulemusi andsid väävli sulatamise katsed päikesekiirtega (väävli sulamistemperatuur on 120° C); on kavatsusel ehitada väävli sulatamistehas, mis hakkab kasutama päikesekiirte energiat. Mainigem veel päikeseenergiaga töötavaid veemagestajaid, mida tarvitatakse Kaspia ja Araali mere kaldail, veetõstmiseadmeid, mis peavad asendama algelisi Kesk-Aasia pumpi; päikesekuivatisi puuviljade ja kala jaoks, kööki, milles kõik road valmistatakse päikeseenergiaga jt. Kõik see ei ammuta veel kaugeltki neid mitmesuguseid rakendusid, mida võimaldavad kunstlikult kinnipüütud päikese kiired ja millel seisab veel ees etendada suurt osa Kesk-Aasia, Kaukaasia, Krimmi, Alam-Volga ja Lõuna-Ukraina rahvamajanduses ⁵⁹.

Unistus nõiamütsist.

Hall muinasaeg pärandas meile legendi imepärasest mütsist, mis teeb nähtamatuks igäihe, kes selle pähe paneb. Puškin, kes oma „Ruslanis ja Ludmillas“ elustas muinasaja legende, andis sellisest nõiamütsist klassikalise kirjelduse:

„Ja isemeelses ärevuses
kord tuli näitsikule mõte
müts Tšernomorilt prooviks võtta.
Ludmilla mütsi pähe pani,
kord kulmudele, siis kord otse,
siis kõrva peale, tagurpidi...

⁵⁹ Üksikasju võib leida S. M. Gorlenko artiklis „Päikeseenergia kasutamine“, mis on trükitud „Astronoomia Kalendris“ 1935. a. (vene keeles).

Mis nüüd? Oh vana-aja ime!
Ludmilla peeglist ära kadus;
kuid pööras mütsi — tema ette
Ludmilla endisena asus.
Ta keeras ümber — jälle pole,
kui võttis peast — nii peeglis oli.
Kui tore! Hea, võlur, hea!
Ei nüüd ma ohtu kartma pea!...“

Võime muutuda nähtamatuks oli vangistatud Ludmillale ainsaks kaitsevahendiks. Nähtamatuse kindla kaitse all kadus ta, hoolimata vahtide teravatest pilkudest. Nähtamatu vangis olemasolust aimati ainult tema toimingu järel:

„Ju igal pool ja igal ajal
ta lühiaegseid jälgi nähti:
küll kadus kullatud puuvilju
nii mühavate okste pealt,
küll leidus allikavee tilku
kord niidusse tallatud teelt —
siis oli lossis kindlast' teada,
et vürstitar kas sööb või joob...
Kui muutus vaevalt valgemaks,
Ludmilla kose juurde läks,
et pesta ennast kose joas.
Ka Karla ise hommiktunnil
kord märkas oma lossitoast,
kuis nähtamatu käe sunnil
vett sulpsatas ja pritsis joast.“

Juba ammu on teostatud paljud ahvatlevad muinasaja unistused; hulk muinasjutulisi nõidusi on muutunud teaduse omandiks. Puuritakse läbi mägesid, püütakse kinni välgud, lennatakse lennukitega... Kas pole võimalik leiutada ka „nõiamütsi“, s. o. leida vahend, mis teeb inimese täielikult nähtamatuks? Sellest meie nüüd vestlemegi.

Nähtamatu inimene.

Romaanis „Nähtamatu inimene“ (on olemas ka kinofilm) püüab inglise kirjanik Wells veenda oma lugejaid, et nähtamatuks muutumine on täiesti teostatav. Romaanikangelane (autor kujutab teda kui „geniaalseimat füüsikut“, keda maailm kunagi on näinud) avastas inimese keha nähtamatuks tegeva vahendi. Oma tuttavale arstile räägib ta avastuse alustest järgmist:

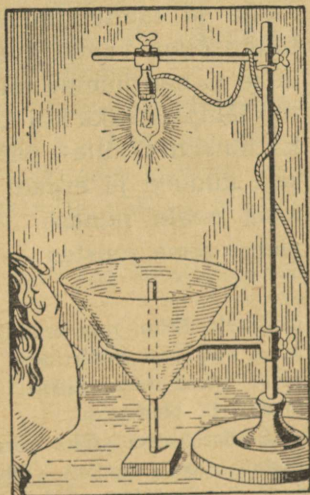
„Nähtavus oleneb nähtavate kehade mõjust valgusele. Teie teate, et kehad kas neelavad, peegeldavad või muravad valgust. Kui keha ei neela, ei peegelda ega murra valgust, pole ta nähtav. Sa näed näiteks läbipaistmatut punast kasti seepärast, et kasti värvus neelab teatava osa valgust ja peegeldab (hajutab) ülejäänud kiired. Kui kast ei neelaks valgust üldse, vaid peegeldaks kõik kiired tagasi, paistaks ta läikiva valge kastina, paistaks hõbedasena. Briljantkast neelaks vähe kiiri, kogu ta pind peegeldaks samuti vähe valgust; ainult kohati, servadel toimub valguse peegeldumine ja murdumine, andes säravate kujutiste pildi, midagi valgusskeleti taolist. Klaaskast läigiks vähem, oleks halvemini nähtav kui briljantkast, sest temas oleks vähem peegeldumisi ja murdumisi. Kui panna tükk tavalist klaasi vette, veel parem aga, mingisse vedelikku, mille erikaal on vee erikaalust suurem, kaob ta peaaegu täielikult, sest valgus, sattudes veest klaasi, murdub ja peegeldub vähe. Klaas muutub niisama nähtamatuks kui süsihappe- või vesinikujuga õhus.“

„Jah,“ ütles Camp (arst), „kõik see on väga lihtne ja praegusel ajal tuttav igale koolijütsile.“

„Aga veel üks fakt, mis on samuti tuttav igale koolijütsile. Kui klaasi hõõruda pulbriks, siis ta nähtavus

õhus suureneb, ta muutub läbipaistmatuks valgeks pulbriks. See tuleneb sellest, et pulbriks hõõrumine suurendab tahkude arvu, millelt toimub valguse peegeldumine ja murdumine. Plaadil on ainult kaks tahku, pulbris aga peegeldub ja murdub valgus iga kübeme juures, mille ta läbib ja pulbrist läheb läbi väga vähe valgust. Kui aga pulbriks hõõrutud klaas panna vette, kaob ta kohe. Klaaspulbril ja veel on peaaegu võrdsed murdumisnäitajad, niisiis toimub valguse üleminekul veest klaasi vähe peegeldumisi ja murdumisi.

Pannes klaasi mingisse vedelikku, mille murdumisnäitaja on niisama suur kui klaasil, teete klaasi nähtamatuks: iga läbipaistev keha muutub nähtamatuks, kui ta asetada keskkonda, mille murdumisnäitaja on niisama suur kui sellel kehal. Ei nõua palju mõtlemist veendumiseks selles, et klaasi võib teha nähtamatuks õhus: tuleb ainult korraldada asi nõnda, et klaasi murdumisnäitaja oleks niisama suur kui õhul, sest valguse üleminekul õhust klaasi ei toimuks siis ei peegeldumisi ega murdumisi⁶⁰."



Joonis 111. Nähtamatu klaaspulk.

⁶⁰ Täiesti läbipaistva keha täieliku nähtamatuse võime saavutada, kui katame keha seintega, mis hajutavad valgust rangelt

„Jah, jah,“ ütleb Camp, „inimene pole aga klaas.“

„Ei, ta on läbipaistvam.“

„Rumalus!“

„Ja seda ütleb loodusteadlane! Kas tõepoolest olete kümne aasta jooksul füüsika täiesti unustanud? Näiteks paber koosneb läbipaistvaist kiududest, ta on valge ja läbitungimatu samal põhjusel, mispärast klaaspulbergi on valge ja läbitungimatu. Immutage valge paber õliga, täitke õliga vahed kiudude vahel, et valguse peegeldumine ja murdumine toimuks ainult pinnal, ja paber muutub läbipaistvaks kui klaas. Kuid mitte ainult paber, vaid ka lõuendi-, villa-, puidukiud, meie luud, lihased, juuksed, küüned ja ergud! Ühe sõnaga, kogu inimese organism peale punase olluse tema veres ja tumeda pigmendi tema juustes — kõik koosneb läbipaistvast värvi-

ühtlaselt. Silm, mis vaatab läbi väikese külgava sisse, saab siis keha kõikidest punktidest täpselt niisama palju valgust kui selle keha puudumise korral: mingid heledad täpid või varjud ei avasta ta olemasolu.

Sellist katset võiks korraldada järgmiselt. Lehter, läbimõõdult umbes pool meetrit, tehtud valgest kartongist, paigutatakse, nagu joonisel 111 näidatud, mõningale kaugusele 25-küünlalisest elektrilambist. Lehtrisse on pistetud alt klaaspulk, kuid võimalikult püsti. Vähima kõrvalekaldumise puhul püstasendist paistab pulk tumedana telje osas ja heledana äärtel või jälle vastupidi — heledana telje osas ja tumedana äärtel. Mõlemad valgustuspildid lähevad üle üksteisesse pulga asendi vähimalgi muutumisel. Rea katsetega võib saavutada pulga ühtlase valgustuse ja siis ka o b ta silmale täiesti ära, kui vaadata läbi kitsa (mitte laiema kui 1 cm) külgpilu. Katse sellise korralduse puhul saavutatakse pulga täielik nähtamatus, hoolimata sellest, et pulga murdumisnäitaja tublisti erineb õhu murdumisnäitajast. Teine võte, mis lubab teha keha, näiteks tükk lihvitud klaasi, nähtamatuks, seisneb selles, et keha paigutatakse kasti, mis on seestpoolt kaetud läikiva värviga.

tust koest: vaata siis kui vähene teeb meid nähtavaks teineteisele!”

Nende arutluste põhjenduseks võib olla fakt, et karvadega katmata albiinod (loomad, kelle koed ei sisalda värvaineid) on suurel määral läbipaistvad. Zooloog, kes leidis 1934. a. suvel Detskoje Seloos ühe valge albiinokonna isendi, kirjeldab seda järgmiselt: „Õhukesed naha- ja lihaskoed lasevad valgust läbi: on näha siseelundeid, skeletti . . . Albiinokonnal on läbi kõhunaha hästi näha südame ja soolte kokkutõmbumist.“

Wells'i romaani kangelane leidis võtte, mis võimaldas teha läbipaistvaks inimese organismi koed ja isegi organismi värvained (pigmentid). Ta rakendas eduga oma leiutist enda kehal. Katse õnnestus hiilgavalt, ta muutus täiesti nähtamatuks.

Selle nähtamatu inimese edasisest saatusest kirjutab autor kohe.

Nähtamatu inimese võim.

Romaani „Nähtamatu inimene“ autor tõestab erakordse teravmeelsuse ja järjekindlusega, et inimene, kes on muutunud nähtamatuks, omandab sellega ka peaaegu piiramatu võimu. Ta võib nägematult tungida mistahes ruumi ja karistamatult omandada mistahes esemeid; tänu oma nähtamatusele on ta kinnipüüdmatu, ta võitleb edukalt terve relvastatud meeste salgaga. Ähvardades kõiki nähtavaid inimesi paratamatu raske karistusega, hoiab selline nähtamatu inimene oma võimuses kogu linna. Olles ise tabamatu ja haavamatu, võib ta samal ajal kahju teha kõigile teistele inimestele; kuidas nad ka püüavad end kaitsta, varem või hiljem tabab ta neid ja hävitab. Selline erakordne seisund teiste inimeste seas

annab selle romaani kangelasele võimaluse pöörduda linna hirmutatud elanike poole käsuga, mille sisu näiteks võib olla järgmine:

„Linn pole praegu enam kuninganna valitsuse all! Ütelge seda polkovnikule, politseile ja kõigile; linn on minu valitsuse all! Täna on esimene aasta esimene päev — uuest ajastust. Nähtamatuse ajastust! Mina olen Nähtamatu Esimene. Algul saab minu valitsus olema armuline. Esimesel päeval saab olema ainult üks hukkamine, näitena: nimelt hukatakse inimene, kelle nimi on Camp. Veel täna läheb ta surma. Lukustagu end, varjaku ta end, ümbritsegu ta end vahtidega, rõivastugu soomusrüüsse — surm, nähtamatu surm läheneb talle! Võtku ta tarvitusele kaitsevahendid — see avaldab mõju minu rahvasse. Surm läheneb talle! Ära anna talle abi, mu rahvas, muidu ootab ka sind surm.“

Algul nähtamatu inimene võidutseb. Ainult suurima vaevaga õnnestub hirmutatud elanikkonnal toime tulla nähtamatu vaenlasega, kes ihkab valitsejaks saada.

Läbipaistvad preparaadid.

Kas on need füüsikalised arutlused õiged, millel põhineb see fantastiline romaan? Tingimata. Iga läbipaistev keha muutub läbipaistvas keskkonnas nähtamatuks, kui juba murdumisnäitajate vahe on väiksem kui 0,05. Kümne aasta möödumisel pärast romaani „Nähtamatu inimene“ ilmumist õnnestus anatoomil prof. V. Spalteholz'il teostada romaani idee tegelikkuses, tõi küll, mitte elavatel organismidel, vaid surnud preparaatides. Nüüd võib paljudes muuseumides näha keha üksikute osade, isegi tervete loomade läbipaistvaid preparaate.

Läbipaistvate preparaatide valmistamise viis, mille töötas läbi (1911. a.) prof. Spalteholz, seisneb lühidalt järgmises: pärast teatavat töötlemist, pleegitamist ja pesemist immutatakse preparaat salitsüülhappe metüül- eetriaga (see on värvitu, suure valgust murdva võimega vedelik). Sel viisil valmistatud roti, kala, inimese keha või mt. preparaat asetatakse sama vedelikuga anumasse ⁶¹.

Arusaadavalt ei püüta seejuures saavutada preparaatide täielikku läbipaistvust, sest niisugusel korral oleksid nad täiesti nähtamatud ja nii ka kasutud anatoomile. Soovi korral võib aga ka seda saavutada.

Muidugi oleme veel kaugel Wells'i utopiast elava s t inimesest, kes on nii läbipaistev, et teda pole võimalik näha. Kaugel seepärast, et esiteks tuleb veel avastada viis immutada elava organismi koed läbipaistvaks tegeva vedelikuga nõnda, et seejuures ei kannataks organismi talitlused. Teiseks, prof. Spalteholz'i preparaadid on küll läbipaistvad, aga mitte nähtamatud; nende preparaatide koed on nähtamatud ainult seni, kuni nad asetsevad vastavalt valgust murdvais vedelikes. Õhus muutuvad nad nähtamatuteks ainult siis, kui nende murdumisnäitaja saab võrdseks õhu murdumisnäitajaga, aga seda meie veel teostada ei oska.

Kuid oletame, et aja jooksul õnnestub meil teostada nii üks kui teine ja sellega ka kirjaniku unistus. Kas

⁶¹ Teadmiseks neile minu lugejaile-naturalistidele, kes sooviksid ise valmistada läbipaistvaid preparaate, nimetan brošüüri, mis annab tarvilikke praktilisi näpunäiteid: Prof. D. K. Tretjakov, „Spalteholz'i läbipaistvad preparaadid“, 1914 (vene keeles). Brošüür ilmus Benderõi linnas ja seda võib praegu leida ainult raamatukogudest (ennerevolutsioonilise ajakirja „Kooliõppekäigud ja koolimuuseum“ väljaannete seas).

saame siis nähtamatuid sõdijaid, nähtamatuid pataljone, kes ootamatult ilmuvad vaenlase selja taha ja tekitavad paanikat kogu armees oma mõistmatute, üleloomulike toimingutega?

Romaanis on kõik ette nähtud ja läbi mõeldud sellise põhjalikkusega, et tahes-tahtmata hakkad uskuma kirjeldatud sündmustesse. Paistab, et nähtamatu inimene muutub tõepoolest vägevaimaks surelike hulgas...

See pole aga nii..

On üks väike asi, mis jäi „Nähtamatu inimese“ teravmeelsel autoril kahe silma vahele.

See on järgmine küsimus.

Kas nähtamatu saab näha?

Kui Wells oleks endale esitanud selle küsimuse enne oma romaani kirjutamist, siis „Nähtamatu inimese“ imestusväärne lugu poleks kunagi ilmunud...

Tõepoolest, selles punktis varisevad kokku nähtamatu inimese võimu kõik illusioonid. N ä h t a m a t u i n i m e n e p e a b o l e m a p i m e !

Mispärast on romaani kangelane nähtamatu? Sellepärast, et kõik tema keha osad, muuhulgas ka silmad, muutusid läbipaistvaiks ja organismi murdumisnäitaja muutus võrdseks õhu murdumisnäitajaga. Meenutagem silmade ülesannet: silmalääts, klaaskeha ja silma teised osad murravad kiiri nõnda, et võrkkestale tekib välisesemete kujutis. Kui aga valguse murdumine silmas ja õhus on ühesugune, siis sellega kõrvaldub ka ainus põhjus, mis murdumise esile kutsub: üleminekul ühest keskkonnast teise, millede m u r d m i s v õ i m e d o n v ö r d s e d, kiired oma suunda ei muuda ja seepärast ei saa ka koonduda ühte punkti. Kiired läbivad nähtamatu inimese

silma sirgjooneliselt, murdumata ja ka peatumata, sest puudub pigment⁶², järelikult, nad ei kutsu teadvuses esile mingit kujutlust.

Seega, nähtamatu inimene ei näe midagi. Kõik tema paremused on talle kasutud. Hirmuäratav võimule pretendeerija hulguks ringi kobamisi, paluks armuandeid, mida aga keegi talle anda ei saa, sest ta on nähtamatu. Selle asemel, et olla vägevaimaks surelike hulgas, on ta abitu sant, kes on määratud viletsale vege- teerimisele...⁶³.

Tänapäeva allveepaadi jõud peitub samuti tema nähtamatuses, selles, et ta relvastatud terashiiglasele märkamalt juurde hiilib ja selle pihta välja laseb oma hävitava torpeedo. On aga ainult tarvis tabava lasuga vigastada tema silm — periskoop — ja ta muutub abi-

⁶² Selleks et loomadel esile kutsuda mingit aistingut, peavad valguskiired looma silmas toimetama mingeid, kuigi kõige väiksemaid muudatusi, s. o. tegema teatava töö. Selleks aga peab mingi silma osa kiiri peatama. Täiesti läbipaistev silm muidugi kiiri peatada ei saa, sest muidu poleks ta läbipaistev. Kõik loomad, kes end kaitsevad oma läbipaistvusega, omavad mitte täiesti läbipaistvaid silmi. „Vahetult merepinna lähedal,“ kirjutab tuntud okeanograaf Murray, „on loomad läbipaistvad ja värvitud; kui neid võrguga välja tõmmata, siis võib neid eraldada ainult väikeste mustade silmade järgi; nende veri on vaba hemoglobiinist (värvainest) ja täiesti läbipaistev.“

⁶³ Võib-olla, et kirjanik tegi selle olulise väärsammu täiesti teadlikult. On ju teada, millist kirjanduslikku võtet kasutab tavaliselt Wells oma fantastilistes teostes: ta katab publiku eest oma fantastilise ehituse peadefekti kinni realistlike üksikasjade küllusega. Oma fantastiliste romaanide eessõnas kirjutab ta: „On maagiline kunsttükk sooritatud, tuleb näidata kõike muud tõenäolise ja tavalisena. Tuleb loota mitte loogiliste argumentide jõule, vaid kunsti poolt loodud illusioonile.“

tuks: „pimedus“ röövib talt võimaluse kasutada oma nähtamatuse paremusi.

Niisiis, „nõiamütsi“ otsinguis ei saa minna seda teed, mida näitab Wells; see tee, isegi sel korral, kui ta edule viib, ei lähenda meid sihile.

Kaitsevärvus.

On veel üks teine tee, mis viib „nõiamütsi“ ülesande lahendamisele. See seisneb kehade värvimises vastava värviga, mis teeb nad märkamatuks silmale. Seda teed kasutab loodus alatiselt: varustades oma loomingu t kaitsevärvusega, kasutab ta suurimas ulatuses seda lihtsat võtet, et kaitsta oma olendeid vaenlaste eest ja kergendada nende rasket olelusvõitlust.

Seda, mida sõjaväelased nimetavad kaitsevärvi, nimetavad zooloogid Darwini aegadest alates kaitsevärvuseks. Sellise kaitse näiteid võib tuua loomariigist tuhandeid; meie kohtame neid sõna otseses mõttes igal sammul. Loomad, kes elutsevad kõrves, omavad enamikus iseloomustavat kollakat „kõrvevärvust“; te leiata selle värvuse lõvil, linnul, sisalikul, ämblikul, ussil, ühe sõnaga, kõigil kõrvefauna esindajatel. Vastupidi, põhjamaiste lumelagendike loomad, olgu see ohtlik jääkaru või vagune kaur, on varustatud looduse poolt valge värvusega, mis teeb nad märkamatuks valge lume taustal. Liblikad ja röövikud, kes elutsevad puukoorel, omavad vastavat värvust, mis imeväärse täpsusega jäljendab puukoore värvust.

Iga putukakoguja teab, kuivõrd raske on putukaid leida „kaitsevärvuse“ tõttu, millega on loodus neid varustanud. Katsuge tabada rohelist heinaritsikat, kes

siristab niidul teie jalgade juures — te ei saa teda eraldada rohelisest taustast, millesse ta kaob jäljetult.

Sama kehtib ka vee-elanike kohta. Kõik mereelanikud, kes elutsevad pruunide vetikate keskel, omavad pruuni kaitsevärvust, mis teeb nad silmale märkamatuks. Punavetikate võtmes on peamiseks kaitsevärvuseks punane. Hõbedane kalasoomuse värvus on samuti kaitsevärvus. See värvus kaitseb kalu ka nende lindude eest, kes neid varitsevad ülalt, ja mere röövlomade eest, kes seda teevad alt: veepind paistab peeglina mitte ainult vaatlemisel ülalt, vaid veel enam vaatlemisel alt, vee seest (täielik peegeldumine) ja selle läikiv-metalse taustaga langebki ühte hõbedane kalasoomus. Aga meduusid ja teised läbipaistvad vee-elanikud, nagu ussid, vähilaadsed, limused, salbid, valisid oma kaitsevärvuseks täieliku värvituse ja läbipaistvuse, mis teeb nad nähtamatuks neid ümbritsevas värvitus ja läbipaistvas stiihias.

Looduse „võtted“ ületavad ses suunas kaugelt inimese leidlikkuse. Paljud loomad omavad võimet muuta oma kaitsevärvuse varjundit vastavalt neid ümbritseva keskkonna muudatustele. Hõbevalge kärp (hermeliin), olles nähtamatu lume taustal, kaotaks oma kaitsevärvuse paremused, kui ta lume sulamisel ei muudaks oma naha värvust; igal kevadel saab valge loomake uue, rusket värvi kasuka, mis on ka lumest vabanenud pinnase värvus, aga talve tulekul läheb ta uuesti halliks, omandades aegamööda lumivalge talveülikonna.

Kaitsevärv.

Inimesed võtsid leidlikult looduselt üle kasuliku oskuse teha oma keha märkamatuks, ühte sulada

ümbritseva taustaga. Möödunud aegade hiilgavate mundrite kirjud värvid, mis andsid lahingupiltidele maalilisuse, on läinud igaveseks minevikku: neid tõrjus välja tuntud ühevärviline kaitsevärvi vorm. Hall sõjaväesinel sai võidu väljaõmmeldud mundri üle ja tuleviku lahinguväljadel pole näha ühtki eredat laiku. Praegusaegsete sõjalaevade terashall värv on ka kaitsevärvi, mis teeb laevad vähe eralduvaiks mere taustast.

Siia kuulub ka nn. taktikaline kamuflaaž: üksikute esemete, nagu kindlustuste, kahurite, tankide ja laevade sõjaline maskeerimine, kunstlik udu ja selletaolised võtted vaenlase eksitamiseks. Laager maskeeritakse eriliste võrkudega, millede silmustesse on kinnitatud rohukimbud; sõdijad kannavad mantleid niinekoore kimpudega, mis on värvitud rohu värvi jne.

Laialt rakendatakse kaitsevärvi ja maskeerimist nüüdisaegses sõjalennuasjanduses.

Lennuk, mis on värvitud pruuniks, tumeroheliseks ja violetseks (vastavalt maapinna värvusele), muutub vaatlemisel ülalt lennukilt vähe erinevaks maapinna taustast.

Lennuki alumiste pindade maskeerimine vaateleja eest maapinnalt toimub nende värvimisega taeva tausta vastavate värvustega: helesinisega, heleroosaga ja valgega. Need värvid kantakse lennuki pinnale väikeste laikudega. 750 m kõrgusel sulavad need värvid kokku ühiseks vähenähtavaks taustaks. 3000 m kõrgusel muutuvad sellise maskeeringuga lennukid nähtamatuks. Oisteks lendudeks määratud pommilennukid värvitakse mustaks.

Igas olukorras kõlblikuks kaitsevärvi on peegelpind, mis peegeldab ümbritsevat fooni. Niisuguse pinnaga keha omandab automaatselt ümbruskonna kirja ja värvuse; suuremalt kauguselt sellist keha avastada

on täiesti võimatu. Esimeses Maailmasõjas kasutasid sakslased seda võtet tsepeliinide juures: paljude tsepeliinide pind oli alumiiniumiläikeline, mis peegeldas taevast ja pilvi; niisugust tsepeliini lennul avastada on väga raske, kui teda ei reeda mootori mürin.

Selliselt teostatakse looduses ja sõjatehnikas rahvajuttude unistused „nõiamütsist“.

Inimese silm vee all.

Kujutage ette, et teil on võimalus jääda vee alla kui kauaks soovite ja sellejuures on teie silmad avatud. Kas saaksite seal näha?

Et vesi on läbipaistev, ei näi olevat mingit takistust vee all nägemiseks niisama hästi kui õhus.

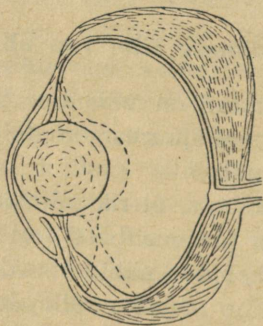
Tuletage siiski meelde „nähtamatu inimese“ pimedust, kes polnud võimeline nägema sellepärast, et ta silma ja õhu murdumisnäitajad on ühesuurused. Vee all oleme umbes samas olukorras kui Wells'i „Nähtamatu inimene“ õhus. Asi muutub selgemaks, kui võtame abiks arvud. Vee murdumisnäitaja on 1,34. Aga inimese silma läbipaistvate osade murdumisnäitajad:

sarvkile ja klaaskeha	1,34
silmaläätse	1,43
vesikeha	1,34

Siit on näha, et silmaläätse murdumisnäitaja on ainult $\frac{1}{10}$ võrra suurem vee murdumisnäitajast, silma teiste läbipaistvate osade murdumisnäitaja aga võrdub vee murdumisnäitajaga. Selle tagajärjel on kiirte koondumispunkt silmas kaugel võrkkestast taga; võrkkestal aga tekib ähmane kujutis, millest vaid suure vaevaga võib

midagi aru saada. Ainult väga lühinägelikud inimesed näevad vee all enam-vähem normaalselt.

Kui te tahate endale ette kujutada, kuidas teie näete vee all, pange endale silmade ette prillid tugevasti hajutavate (kaksiknõgusate) klaasidega; siis nihkub silmas murdunud kiirte koondumispunkt kaugemale võrkkesta taha ja ümbruskond paistab teile ähmasena ja udusena.



Joonis 112. Kala silma läbilõige. Silmaläätis on kerakujuline ja ei muuda kuju akommodatsioonil. Kuju muutumise asemel muutub silmaläätse asend silmas, nagu on näidatud punktiirjoontega.

Kas inimene ei saaks nägemisel vee all ennast aidata, kasutades tugevaid kumerklaase?

Tavalised klaasid, mida tarvitatakse prillides, pole siin kõlblikud: tavalise klaasi murdumisnäitaja on 1,5, s. o. veidi suurem vee murdumisnäitajast (1,34); niisugused klaasid murravad vee all kiiri väga nõrgalt. Tuleb tarvitusele võtta erilisest klaasisordist klaasid, mille murdmisvõime on iseäranis suur (nn. raskel flintklaasil on murdumisnäitaja lähedane kahele). Selliste prillidega võiksite vee all enam-vähem selgelt näha (eriprillidest sukeldujaile on juttu kaugemal).

Nüüd on selge, miks kala silmalääts on väga kumer; ta on kerakujuline ja ta murdumisnäitaja on suurim kõigist, mida meie tunneme loomade silmadel. Kui seda poleks, siis kaladel, kes peavad elutsema väga suure murdmisvõimega keskkonnas, oleksid silmad täiesti kasutud.

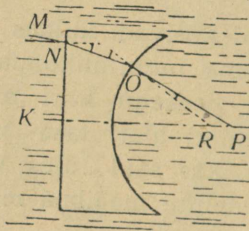
Kuidas näevad tuukrid?

Tõenäoliselt paljud küsivad: kuidas näevad siis tuukrid, kes töötavad oma tuukriülirkondades, vee all, kui nende silmad vees peaaegu kiiri ei murra? On ju tuukrikiivrid varustatud alati tasa- mitte aga kumerklaasidega... Edasi, kas said Jules Verne „Nautiluse“ reisijad imetleda veealuse maailma maastikke läbi oma allveekajuti akna?

Meie ette on kerkinud uus küsimus, millele muide pole raske vastata. Vastus saab selgeks, kui arvesse võtta, et sel puhul, kui oleme vee all ilma tuukrirõivastusega, puutub vesi vahetult kokku meie silmadega; tuukrikiivris (või „Nautiluse“ kajutis) silm on eraldatud veest õhukihi. See muudab asja oluliselt. Valguskiired, tulles veest ja minnes läbi klaasi, satuvad algul õhku ja alles siit silma. Kiired, langedes veest tasaparalleelsele klaasile mistahes nurga all, väljuvad optika seaduste põhjal klaasist oma suunda muutmata; kuid edasi, üleminekul õhust silma, kiired muidugi murduvad ja silm mõjub neil tingimustel täpselt samuti nagu väljaspool vett. Selles peitubki meid hämmastava vastuolu lahendus. Parimaks illustratsiooniks on see, et meie näeme hästi akvaariumis ujuvaid kalu.

Klaasläätсед vee all.

Kas olete teinud järgmist lihtsat katset: asetada kaksikkumer lääts (suurendusklaas) vette ja vaadata läbi selle vette asetatud kehi? Proovige — teid hämmastab ootamatus: suurendusklaas vees peaaegu ei suurenda! Asetage vette „vähendusklaas“ (s. o. kaksiknõgus lääts) ja osutub, et ka see kaotab suurel määral oma „vähendamisvõimet“. Kui katse teha mitte veega, vaid vedeli-



Joonis 113. Sukeldujate prillid koosnevad õõnsatest tasanõgusläätsedest. Murdudes läheb kiir MN mööda teed $MNOP$, kaugenedes läätses langemisristjoonest ja lähenedes sellele (s. o. OR -le) väljaspool lääts. Seepärast mõjub lääts kiiri koondavalt.

kuga, mille murdumisnäitaja on suurem klaasi murdumisnäitajast, siis kaksikkumer lääts vähendab, aga kaksiknõgus lääts suurendab.

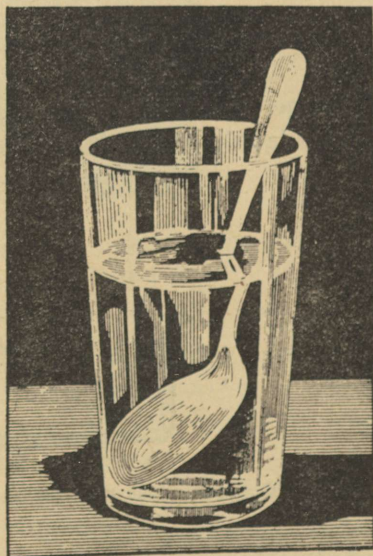
Meenutage ainult valguskiirte murdumisseadusi ja imed ei hämmasta teid enam oma erakordsusega. Kaksikkumer lääts suurendab õhus seepärast, et klaas murdab valgust tugevamalt kui klaasi ümbritsev õhk. Aga klaasi ja vee murdumisvõime vahe on väike: seepärast, kui asetada klaaslääts vette, siis valguskiired, üle minnes veest klaasi, ei murdugi palju. Siin ongi põhjus, mispärast suurendusklaas vees ei suurenda sel määral

kui õhus ja vähendusklaas ei vähenda samal määral kui õhus.

Monobroomnaftaliin murrab kiiri näiteks tugevalt kui klaas, seepärast selles vedelikus suurendusklaasid vähendavad ja vähendusklaasid suurendavad. Selline on ka õõnsate (õigemini õhu-) läätsete toime vee all: nõgusläätsed suurendavad, kumerläätsed vähendavad. Sukeldujate prillid on nimelt niisugused, seest tühjad läätsed (joon. 113).

Vilumatud suplejad.

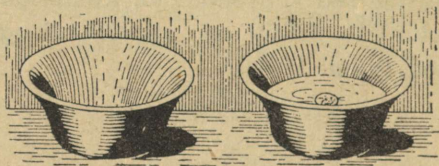
Vilumatuid suplejaid varitseb tihti suur oht ainult seetõttu, et nad ei tunne üht murdumiseaduse huvitavat järeldust: nad ei tea, et valguse murdumine tõstab vette asetatud kehad näiliselt kõrgemale tõelisest asendist. Tiigi, oja, üldse iga veekogu põhi paistab silmale tõstetuna peaaegu ühe kolmandiku võrra oma sügavusest; arvestades seda petlikku madalust, satuvad inimesed tihti ohtlikku olukorda. Eriti tähtis on selle teadmine lastel ja üldse lühikasvulistel inimestel,



Joonis 114. Poolenisti vette asetatud lusika moonutatud kujutis.

kellele see viga sügavuse määramisel võib osutada saatuslikuks.

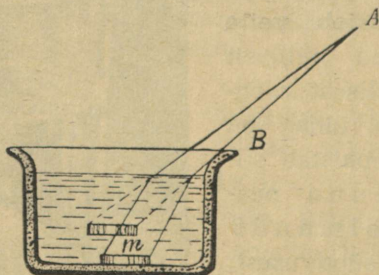
Põhjuseks on valguskiirte murdumine. Sama optikaseadus, mis annab pooleni vette asetatud lusikale murtud kuju, tingib ka põhja näiliku tõusmise (joon. 114).



Joonis 115. Katse kausis oleva mündiga.

Te võite seda nähtust demonstreerida ka enda juures laual.

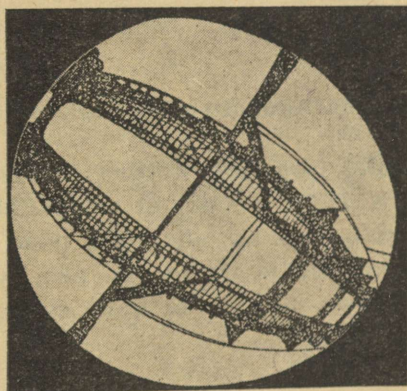
Pange oma sõber laua juurde istuma nõnda, et ta ei näeks lauale pandud kausi põhja. Kausi põhjale pange



Joonis 116. Mispärast paistab münt katses joonisel 115 tõstetuna.

münt, mida muidugi kausi seinad varjavad teie sõbra silmade eest. Nüüd tehke sõbrale ettepanek pead mitte pöörata ja valage kaussi vett. Toimub midagi o o t a m a -

tut: teie külaline hakkab münti nägema! Kõrvaldage vesi kausist pritsiga, ja kausi põhi langeb jälle (joon. 115). Joonis 116 seletab, kuidas see toimub. Põhja osa *m* paistab vaatlejale (kelle silm on pealpool vett punktis *A*) tõstetuna: kiired murduvad ja, minnes veest õhku, satuvad silma; nagu on näidatud joonisel, näeb silm põhja osa *m* nende kiirte pikendusel, s. o.



Joonis 117. Sellisena paistab veelusele vaatlejale üle jõe ehitatud raudteesild (prof. Wood'i foto järgi).

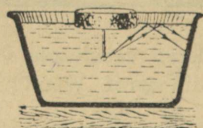
kõrgemal *m*-st. Mida enam kaldu lähevad kiired, seda kõrgemale tõuseb *m*. Sellepärast paistabki tiigi põhja vaatamisel lootsikust, et kõige sügavam koht on otse teie all, aga kaugemal on üha madalam.

Seega tiigi põhi paistab teile nõgusana. Vastupidi, kui teil oleks võimalik vaadata tiigi põhjast üle tiigi ehitatud silda, see paistaks teile kumerana (nagu on kujutatud joonisel 117; selle foto saamisest räägime hiljem). Antud juhul kiired lähevad optiliselt hõreda-

mast keskkonnast (õhust) optiliselt tihedamasse keskkonda (vette), seepärast ongi tulemus vastupidine sellele, mis saadakse kiirte üleminekul veest õhku. Samal põhjusel paistab ka näiteks kalale akvaariumi ees seisvate inimeste viirg mitte sirgena, vaid kaarena, mis oma kumera poolega on pööratud kala poole. Sellest, kuidas näevad kalad või, õigemini, kuidas nad nägema peaksid, kui neil oleksid inimese silmad, vestleme edaspidi üksikasjalisemalt.

Nähtamatu nõöpnõel.

Pistke nõöpnõel tasasesse korgist kettasse ja pange see kork kausis vette ujuma, et nõöpnõel oleks korgi all. Kui kork pole liiga lai, siis võite pead pöörata, kuidas tahate, nõöpnõela te ikkagi ei näe, kuigi näib, et nõöpnõel on küllalt pikk ja et kork ei saaks teda teie eest varjata (joon. 118).



Joonis 118. Katse vees nähtamatu nõöpnõelaga.

Miks kiired nõöpnõelalt ei ulatu meie silmani? Sellepärast, et nendega toimub see, mida füüsikas nimetatakse täielikuks sisepeegelduseks.

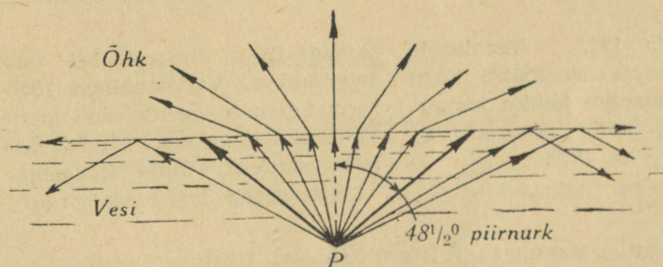
Tuletame meelde, milles see nähtus seisneb.

Joonisel 119 võib jälgida kiirte käiku, kui kiired lähevad veest õhku (üldiselt optiliselt tihedamast keskkonnast optiliselt hõredamasse keskkonda) ja vastupidi.

Kui kiired lähevad õhust vette, siis nad lähenevad langemisristjoonele; näiteks kiir, langedes veele nurga β all, murdub nurga α all, mis on väiksem β -st (joon. 119 I; nooled tuleb aga nüüd suunata vastupidi).



Joonis 119. Valguskiire murdumise eri juhud üleminekul veest õhku. Joonisel II kujutatud juhul, kus valguskiir langeb piirnurga all langemisristjoonele, väljub ta veest, libisedes selle lahtuspinnal. Joonisel III näidatud juhul on peegeldumine täielik.



Joonis 120. Need punktist P lähtuvad kiired, millede langemisnurk on suurem piirnurgast (vee puhul $48\frac{1}{2}$ kraadi), ei pääse veest välja, vaid peegelduvad täielikult.

Mis aga toimub, kui kiir, libisedes veepinda mööda, langeb peaaegu täisnurga all langemisristjoonele? Ta murdub nurga all, mis on väiksem täisnurgast, nimelt nurga all, mis võrdub ainult $48\frac{1}{2}$ kraadiga. Suuremat murdumisnurka kiire üleminekul õhust vette olla ei või, see

(s. o. suurem kui $48\frac{1}{2}^{\circ}$), ei murdu, vaid peegeldub: temaga toimub, nagu räägitakse füüsikas, täielik sisepeegeldumine⁶⁴.

Kui ka kalad õpiksid füüsikat, siis nende füüsika peamiseks osaks oleks õpetus täielikust peegeldumisest, sest see etendab nende veealusel nägemisel esmajärgulist osa.

Väga tõenäoliselt on veealuse nägemise iseärasustega seotud ka see asjaolu, et paljud kalad omavad hõbedast värvust. Zooloogide arvamuse järgi on see värvus kalade kohanemise tulemus nende kohal laotuva veepinna värvusega; vaatamisel alt paistab veepind, nagu me teame, täieliku sisepeegeldumise tõttu peegliina; kuid niisugusel taustal jäävad hõbedase värvusega kalad märkamatuks neid küttivatele vee-röövloomadele.

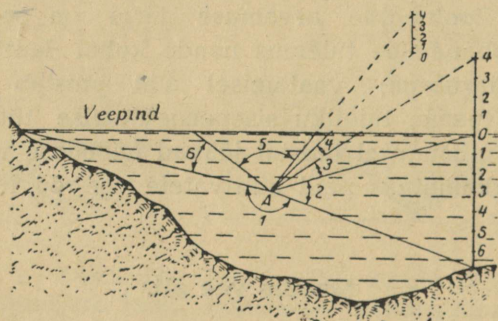
Maailm vee alt.

Paljud ei aimagi, kui võrd ebatavalisena paistaks maailm, kui hakkaksime teda vaatama vee alt: ta peab paistma vaatlejale muutununa ja tundmatuseni moonutatuna.

Kujutlege, et asetsete vees ja vaatate veepinna alt veepealset maailma. Pilv, mis ripub taevas otse teie pea kohal, ei muuda vähemalgi määral oma kuju, sest püstine kiir ei murdu. Kõik teised esemed aga, milledest langevad kiired veepinnale teravnurkade all, paistavad

⁶⁴ Sel juhul nimetatakse peegeldumist täielikuks sellepärast, et peegelduvad kõik langevad kiired, kuna isegi kõige parema peegli (poleeritud magneesiumist või hõbedast) puhul peegeldub ainult osa langevaist kiirtest, ülejäänud kiired neelduvad. Vesi on mainitud tingimustel ideaalseks peegliks.

moonutatutena: nad oleksid nagu kokku surutud ülespoole, seda enam, mida teravam nurga moodustab kiir veepinnaga. See on ka arusaadav: kogu pealvee nähtav maailm peab mahtuma kitsasse veealusesse koonusesse; 180 kraadi peab kokku tõmbuma peaaegu kaks korda — 97 kraadini ja kujutised moonutuvad paratamatult. Esemed, milledest lähtuvad kiired moodustavad veepinnaga 10⁰-lise nurga, surutakse sel määral kokku, et muutuvad peaaegu märkamatuks.



Joonis 123. Kuidas paistab poolenisti vette asetatud sügavusmõõtja veealusele vaatlejale, kelle silm on punktis A. Nurgas 2 on ähmaselt näha mõõtevarda veealust osa. Nurgas 3 on selle peegeldus veepinna siseküljelt. Kõrgemal on näha lühendatult mõõtevarda veest väljaulatuv osa; ta on eraldatud ülejäänud osast vahemikuga. Nurgas 4 peegeldub põhi. Nurgas 5 on näha kogu veepealne maailm, olles kokkusurutud koonusekujulisse torusse. Nurgas 6 on näha põhja peegeldus veepinna alumiselt küljelt. Nurgas 1 on põhja ebaselge kujutis.

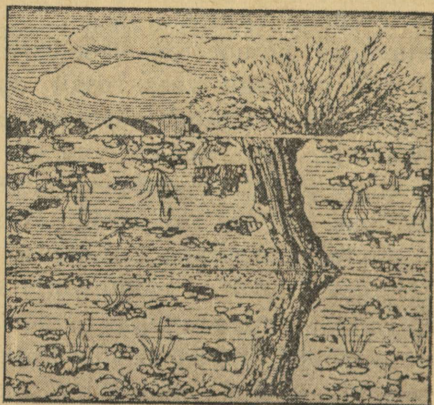
Kõige enam aga hämmastaks teid vee enda pind: vee alt paistaks ta mitte tasasena, vaid koonusekujulise pinnana! Teile paistaks, et asetsete tohutu suure lehtri põhjas; selle lehtri tipunurk on veidi suurem täisnurgast (97⁰). Selle koonuse ülemine äär on ümbritsetud rõngas-

tega vikerkaare värvides, punasega, kollasega, rohelisega, sinisega ja violetsega. Mispärast? Valge päikesekiir koosneb värvilistest kiirtest; igal värvilisel kiirel on eri murdumisnäitaja ja murdumise piirnurk. Tulemuseks on, et vee alt vaadates on iga keha ümbritsetud oreooliga vikerkaare värvidest. Mis on aga siis näha väljaspool koonust, milles on kogu veepealne maailm? Seal laotub läikiv veepind, milles nagu peeglis on näha veealuste esemete kujutisi.

Täiesti ebatavalise kujuga on veealusele vaatlejale need esemed, mis on osalt vees, osalt aga ulatuvad veest välja. Olgu jökke asetatud mõõtevarras (joon. 123). Mida näeb vaatleja, kes asetseb vee all punktis A? Jagame kogu nurga punkti A ümber, s. o. 360° , osadeks ja võtame vaatluse alla iga osa eraldi. Nurgas 1 näeb ta jõe põhja, muidugi ainult siis, kui see on küllaldaselt valgustatud. Nurgas 2 näeb ta mõõtevarda veealust osa moonutamata kujul. Umbes nurgas 3 näeb ta mõõtevarda vetteasetatud osa ümberpööratud kujutist (meenu-tage seda, mis oli öeldud „täielikust peegeldusest“). Veel kõrgemal näeb veealune vaatleja veest väljaulatu-vat osa mõõtevardast, see pole aga veealuse osa pikenduseks, vaid on nihutatud tunduvalt kõrgemale ja on täielikult eraldatud oma alumisest osast. Arusaadav, et vaatlejale ei tule pähe mõte, et see õhus rippuv mõõtevarras võiks olla eelmise varda pikendus! Pealegi paistab mõõtevarras tugevasti kokkusurutuna, ise-äraniis oma alumises osas, kus jaotused on märgatavalt lähenenud. Kaldal üleujutatud puu peaks vee alt vaadates paistma sellisena, nagu on kujutatud joonisel 124.

Kui aga mõõtevarda asemel oleks inimene, siis vee alt vaadates paistaks ta nii, nagu esitab joonis 125. Sellisena peaks paistma kaladele supleja! Kalade silmis meie,

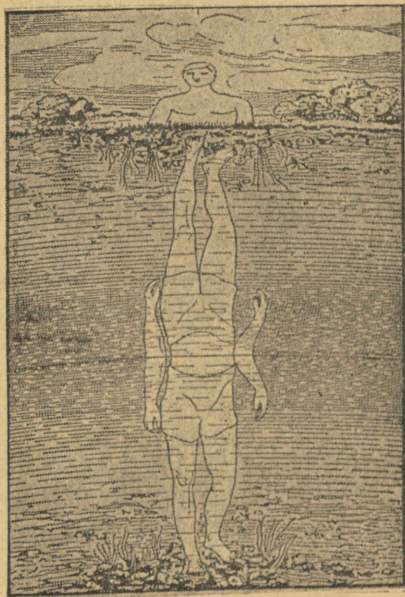
käies madalas vees, jaguneme kaheks, muundume kaheks olevuseks: ülemiseks jalgadeta ja alumiseks peata ja nelja jalaga olendiks! Kaugenemisel veealusest vaatelejast meie keha veepealse osa alumine pool tõmbub üha rohkem kokku; teataval kaugusel kaob meie keha veepealne osa peaaegu täiesti, jääb järele ainult vabalt hõljuv pea...



Joonis 124. Kuidas paistab pooleni üleujutatud puu vee alt vaadates (võrdle joonisega 123).

Kas oleks võimalik vahetult katsetega kontrollida neid ebatavalisi järeldusi? Sukeldudes vee alla me näeksime väga vähe, isegi siis, kui õpiksime hoidma silmi lahti. Esiteks, veepind ei jõua rahuneda selle paari sekundiga, mille jooksul me saame vee all olla ja läbi lainetatava pinna on raske midagi näha. Teiseks, nagu juba varem seletatud, on vee murdumisnäitaja meie silma läbipaistvate osade murdumisnäitajast vähe erinev, selle tagajärjel tekib silma võrkkestale väga ebaselge kuju-

tis; ümbruskond paistab udusena, ähmasena (lk. 262). Vaatlemine tuukrikiivrist, tuukrikellast või veealuse paadi klaasaknast ei annaks samuti soovitavaid tulemusi. Neil juhtudel, nagu juba on seletatud, vaatleja,



Joonis 125. Kuidas paistab veealusele vaatlejale rinnuni vette laskunud supleja (võrdle joonisega 123).

kuigi olles vee all, pole sugugi „veealuse nägemise” tingimustes: kiired, läbides enne silma sattumist klaasi, tulevad uuesti õhku ja järelkult toimub nendega vastupidine murdumine; seejuures kas taastub kiire esialgne suund või kiir saab uue suuna, igatahes aga mitte selle, mis kiirel oleks olnud vees. Seepärast

vaatlused läbi veealuste ruumide akende ei saagi anda õiget ettekujutust „veealuse nägemise“ tingimustest. Muide, polegi vajadust ise vee all olla, et tutvuda sellega, kuidas paistab maailm vee alt vaadatuna. „Veealuse nägemise“ tingimusi võib uurida erilise veega täidetud fotokaamera abil. Objektiivil asemel tarvitatakse seejuures metallplaadisse puuritud ava. On kergesti arusaadav, et kui kogu ruum kaameras ava ja valgustundliku plaadi vahel on täidetud veega, siis välismaailm joonestub plaadile samal kujul, nagu see paistab veealusele vaatlejale. Seda võtet kasutas füüsik prof. Wood; ta sai väga huvitavaid ülesvõtteid, milledest üks on toodud joonisel 117. Mis puutub selle põhjusesse, miks veealusele vaatlejale veepealsed esemed paistavad moonutatuina (raudteesilla sirged jooned on Wood'i ülesvõttel kaared), siis juhtisime sellele asjaolule tähelepanu seal, kus seletasime, et tiigi põhi peab paistma nõgusana (lk. 267).

Kuid on veel teinegi viis tutvuda vahetult sellega, kuidas paistab veealusele vaatlejale välismaailm: vaiksa tiigi vette asetatakse peegel ja, andes peeglile vastava kallaku, vaadatakse selles veepealsete esemete peegelpilti.

Sääraste vaatluste tulemused tõendavad kõigis üksikasjus neid teoreetilisi kaalutlusi, milledest oli ülal juttu.

Seega, läbipaistev veekiht silma ja väljaspool seda kihti asetsevate kehade vahel moonutab nende kehade pilti ja annab kehadele fantastilise kuju. Olend, kes pärast maapealset elu satuks vette, ei tunneks oma tuttavat maailma enam ära — sel määral muutuks see vaatamisel läbipaistva vee sügavustest.

Värvused vete sügavuses.

Väga piltlikult kirjeldab valguse varjundite vaheldust vees ameerika bioloog Beebe, kelle laskumist sügavusse teraskeras — „batüsfääris“ — on varem mainitud (lk. 124).

„Meie laskusime vette. Äkiline üleminek kuldkollasest maailmast roheline oli ootamatu. Pärast seda kui aknad vabanesid vahust ja mullidest, ujutas meid üle roheline valgus; meie näod, balloonid, isegi mustaks värvitud seinad näisid olevat rohelisteks värvitud, kuigi laevapardalt paistis, et laskume tumedasse ultramariini.

Juba vette laskumise algus jätab meie silmad ilma soojadest⁶⁵ (s. o. punastest ja oranžidest) spektrikiirtest. Punast ja oranži poleks nagu kunagi olnud, aga peagi asendused ka kollased toonid rohelistega. Kuigi soojad kiired moodustavad ainult väikese osa nähtavast spektrist, on nende kadumisel 30 ja enama meetri sügavuses tunda ainult külma, pimedust ja surma.

Sel määral, kuidas laskusime, kadusid järk-järgult ka rohelised toonid: 60 meetri sügavuses oli juba raske öelda, kas vesi oli rohekassinine või sinakasroheline.

180 m sügavuses paistis kõik olevat värvitud sügava läbitungiva sinise värviga. Valgustus oli nii nõrk, et oli võimatu lugeda ja kirjutada.

300 m sügavuses katsusin määrata vee värvust — mustjassinine, tume hallikassinine. On imelik, et kui sinine värvus kaob, siis ei asenda seda violetne värvus — viimane värvus nähtavas spektris: ta on nähtavasti

⁶⁵ Siin tarvitatakse sõna „soe“ selles mõttes, milles seda tarvivad kunstnikud värvuste iseloomustamisel; „soojadeks“ nimetavad nad punast ja oranži, et eraldada neid „külmadest“ värvustest, s. o. hele- ja tumesinisest.

juba absorbeeritud. Viimane jälg sinisest varjundist läheb üle ebamääraseks halliks ja see omakorda mustaks. Alates sellest sügavusest on Päike võidetud ja värvused kadunud selle ajani, kuni inimesel õnnestub tungida siia ja valgustada elektrikiirega seda, mis on olnud kahe miljardi aasta jooksul absoluutselt must."

Pimedusest suures sügavuses kirjutab sama uurija ühes teises kohas järgmist:

„Pimedus 750 m sügavuses oli mustem, kui seda on võimalik ette kujutada, ja siiski nüüd (sügavuses umbes 1000 m) paistis ta mustemana mustast. Mulle tundus, et kõik eelnenud ööd ülal maailmas polnud muud midagi, kui hämaruse suhtelised astmed. Ja kunagi enam ei saanud ma tarvitada sõna „must“ täieliku veendumusega“⁶⁶.

Meie silma pimetähn.

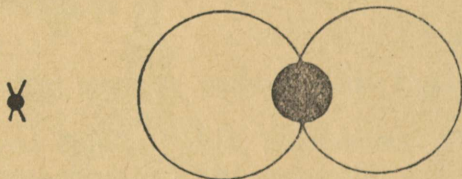
Kui teile öeldakse, et teie vaateväljas on olemas koht, mida te ei näe, ehkki ta on otse teie ees, siis te seda muidugi ei usu. Kas on võimalik, et me kogu elu ajal ei märka oma nägemise sellist tõsist puudust? Olgu siis toodud järgmine lihtne katse, mis võib teid selles veenda.

Hoidke joonis 126 umbes 20 sentimeetri kaugusel oma paremast silmast (pahemat silma kinni hoides) ja vaadake ristikest, mis on paigutatud pahemale; nüüd lähendage joonis silmale: tingimata tuleb hetk, mil suur must ring kahe ringjoone lõikekohal jäljetult kaob! Teie ei näe teda, kuigi ta endiselt asetseb teie vaate-

⁶⁶ Üksikasju meresügavuste värvustest leiate akad. Šuleikini raamatust „Mere füüsika“ (vene keeles).

väljas, kuid mõlemad ringjooned paremal ja pahemal temast on hästi nähtavad!

See katse, mis korraldati esmakordselt 1668. a. (pisut muudetud kujul) kuulsa füüsiku Mariotte'i poolt, lõbus-
tas väga Louis XIV õukondlasi. Mariotte korraldas
katse järgmiselt: ta pani seisma kaks õukondlast teine-
teise vastu kahe meetri kaugusele teineteisest ja palus
neid ühe silmaga vaadata teatud punkti, mis asetses kõr-
val; siis paistis kummalegi neist, et vastasseisjal puu-
dub pea.



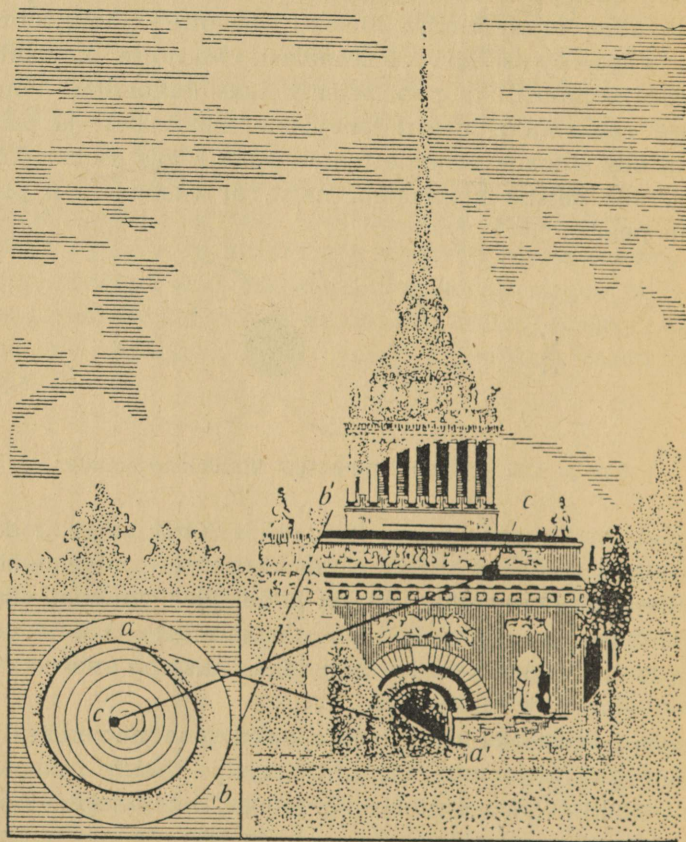
Joonis 126. Kujund pimetäpi kindlakstegemiseks.

Kui imelik see ka on, kuid alles XVII sajandil said inimesed teada, et nende silma võrkkestal on pimetähn, millest kellelgi polnud varem aimu. See on koht võrk-
kestal, kus nägemiserk tuleb silmamunasse ja pole veel harunenud peenikesteks harudeks, mis on varustatud valgustundlike rakkudega.

Meie ei märka seda musta auku oma nägemisväljas pikaajase harjumuse tõttu. Ettekujutus täidab automaat-
selt selle tühiku ümbritseva tausta detailidega: jooni-
sel 126, nägemata täppi, me siiski mõttes pikendame ring-
jooni ja oleme arvamusel, nagu näeksime selgelt kohta,
kus need ringjooned lõikuvad.

Kui kannate prille, siis võite teha sellise katse: klee-
pige prilliklaasile tükike paberit (mitte klaasi keskele,
vaid äärele). Esimestel päevadel takistab see paberike

vaatamist, kuid kui möödub nädal, teine, harjute sellega nõnda, et teda tähelegi ei pane. Muide, seda teab hästi



Joonis 127. Hoone vaatamisel ühe silmaga jääb tajumata see väike osa vaateväljast (C), mis vastab silma pimetäpile (c).

igakuks, kes on juhtunud kandma pragunenud klaasiga prille: pragu on märgatav ainult esimestel päevadel.

Täpselt samuti ei märka me kauaaegse harjumuse tõttu oma silma pimetähni. Peale selle asetsevad pimetähnid mõlemas silmas nende vaateväljade eri kohtades, seepärast kahe silmaga nägemisel üldises vaateväljas tühikut ei teki.

Arge arvake, et meie vaatevälja pimetähn on väike; kui te vaatate (ühe silmaga) 10 meetri kauguselt maja, siis pimetähni tõttu te ei näe üsna suurt (läbimõõdult üle 1 m) osa fassaadist; sellesse mahub terve aken. Taeval aga jääb nähtamatuks pindala, mis võrdub 120 kuuketta pindalaga.

Kui suurena paistab meile Kuu?

Muuseas — Kuu näivatest mõõtmetest.

Kui hakkate tuttavalt küsima, kui suurena paistab neile Kuu, siis saate kõige mitmesugusemaid vastuseid. Enamik ütleb, et Kuu on taldriku suurune, on aga ka neid, kellele Kuu on moositaldriku suurune, kellele kirsi suurune, õuna suurune. Uhele koolipoisile paistis Kuu alati nii suurena kui „ümmargune laud kaheteistkümne inimese jaoks“. Ja üks nüüdisaegne belletrist väidab, et taevas oli „Kuu, läbimõõduga arssin“.

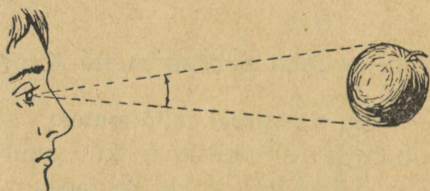
Millest siis selline vahe kujutlustes ühe ja sellesama eseme suurusest?

See vahe oleneb erinevusest kauguse hindamises. See hindamine on alati ebateadlik. Inimene, kellele Kuu paistab õuna suurusena, kujutab endale Kuu kaugust palju väiksemana kui need inimesed, kellele Kuu paistab taldriku või ümmarguse laua suurusena.

Enamikule inimestest muide paistab Kuu taldriku suurusena. Siit võib teha huvitava järelduse. Kui arvu-

tada (arvutamisevõte selgub edaspidisest) kaugus, millele tuleks paigutada Kuu, et tal oleks selline näiv suurus, siis osutub, et see kaugus ei ületa 30 m. Sellisele üsna tagasihoidlikule kaugusele meie asetamegi ebatraditsiooniliselt oma öise valgustaja!

Kauguste ekslikust hindamisest tuleneb palju nägemisillusioone. Mul on hästi meeles üks silmapete oma varasest lapseast, „siis, kui mulle olid tundmatud kõik olemasolu muljed“. Olles linnaelanik, kord kevadel ühel jalutuskäigul linnast välja nägin ma esimest korda nii-



Joonis 128. Mis on vaatenurk?

dul lehmakarja; et ma valesti hindasin kaugust, siis paistsid lehmad mulle käabuslikena! Sääraseid pisikesi lehmi ma pole pärast seda enam kunagi näinud ja ei saa ka kunagi nägema⁶⁷.

Taevakehade näivat suurust määravad astronoomid selle nurga järgi, mille all neid nähakse. Nurksuuruseks, vaatenurgaks nimetatakse seda nurka, mille moodustavad kaks sirget, mis on tõmmatud silmani keha

⁶⁷ Siiski ka täiskasvanutel esineb selliseid illusioone. Sellest tunnistab järgmine väljavõte Grigorovitši novellist „Kündja“.
„Maastik oli nagu peopesal; püüd paistsid olevat otse silla juures; maja, kungas ja kasesalu paistsid liituvat külaga. Kõik see — maja ja aed ja küla — võttis nüüd säärase mänuasjade kuju, kus samblavarred kujutavad puid, peeglitükikesed — jõge.“

kahest äärmisest punktist (joon. 128). Nurki aga mõõdetakse, nagu on teada, kraadides, minutites ja sekundites. Küsimusele kuuketta näivast suurusest ei vasta astronoom, et ketas võrdub õunaga või taldrikuga, vaid vastab, et ketas võrdub poole kraadiga; see tähendab, et sirged, tõmmatud silma kuuketta läbimõõdu kahest otsast, moodustavad poolekraadise nurga. Selline näivate suuruste määramisviis on ainuõige ega tekita arusaamatusi.

Geomeetria õpetab ⁶⁸, et keha, mis asetseb 57 korda suuremal kaugusel kui keha läbimõõt, nähakse ühekraadise nurga all. Näiteks õun, mille läbimõõt on 5 cm, omab ühekraadise nurksuuruse kaugusel 5×57 cm silmast. Kaks korda suuremal kaugusel on see nurk $\frac{1}{2}$ kraadi, s. o. niisama suur kui Kuu puhul. Kui soovite, võite öelda, et Kuu paistab õuna suurusena, aga ainult siis, kui õun on 570 cm (umbes 6 m) kaugusel silmast. Soovides võrrelda Kuu näivat suurust taldrikuga, tuleb taldrik paigutada umbes 30 m kaugusele. Enamik inimesi ei taha uskuda, et Kuu paistab nii väikesena; katsuge paigutada kümnekopikaline kaugusele, mis on 114 korda suurem mündi läbimõõdust; ta katab just Kuu, kuigi on silmast kahe meetri kaugusel.

Kui meile tehakse ettepanek joonistada paberile ring, mis oleks niisama suur kui kuuketas, nähtuna palja silmaga, siis paistab, et ülesanne pole küllaldaselt määratud: ring võib olla suurem ja väiksem, olenevalt sellest, kui kaugel ta asetseb silmast. Kuid tingimused muutuvad määratuks, kui kauguseks võtame selle

⁶⁸ Lugeja, keda huvitavad vaatenurga kohta käivad geomeetrilised arvutused, leiab seletusi ja näiteid minu raamatus „Huvitav geomeetria“.

kauguse, millel meie tavaliselt hoiame raamatuid, jooni-seid jm., s. o. parima nägemise kaugusel. See kaugus on normaalse silma puhul 25 cm.

Arvutame niisiis, kui suur peab olema ring, kasvõi selle raamatu leheküljel, et ta võrduks Kuu näiva kettaga. Arvutus on lihtne: tuleb jagada 25 cm 114-ga. Saame üsna tühise suuruse — veidi enam kui 2 mm! Umbes nii lai on selles raamatus trükitäht „o“. Ei taha lihtsalt uskuda, et Kuu ja ka temaga nurksuuruse poolest võrdne Päike paistavad meile nii väikese nurga all!

Arvatavasti olete täheldanud, et pärast seda kui teie pilk oli suunatud Päikesele, ilmuvad teie nägemisväljale värvilised ringid. Need nn. optilised jäljed ehk järempildid omavad niisama suurt nurksuurust kui Päikegi. Nende näiv suurus aga muutub: kui vaadata taevale, siis nad on Päikese suurused, kui aga pilk heita teie ees lebavale raamatule, siis Päikese „jalg“ katab ringi, mille läbimõõt on 2 mm. See kinnitab ilmekalt arvutuse õigsust.

Taevakehade näivad suurused.

Kui teie, võttes aluseks ülaltoodud mõõtkava, sooviksite kujutada paberil Suure Vankri tähtkuju, siis saaksite pildi, mis on kujutatud joonisel 129. Vaadates sellele parima nägemise kauguselt, näeme tähtkuju sellisena, nagu ta on taeval. See on nii-öelda Suure Vankri kaart loomulikus nurkmastaabis. Kui teile on selle tähtkuju optiline tunne hästi tuttav (mitte ainult k u j u, vaid nimelt vahetu optiline t u n n e), siis süvenedes juurdelisatud joonisesse, elate nagu uuesti läbi selle tunde. Teades nurkkaugusi üksikute tähtkujude peatähtede vahel (need andmed on antud astronoomilistes kalendrites ja vastavates käsiraamatutes), võite joones-

tada „loomulikust mastaabis“ terve taeva-atlase. Selleks on tarvis varustuda millimeetripaberiga ja võtta sellel ühe kraadi jaoks $4\frac{1}{2}$ mm (tähti kujutavate ringide pindalad tuleb joonistada võrdeliselt nende tähtede heledusega).

Pöördume nüüd planeetide juurde. Nende näivad mõõtmel on nii väikesed, et paljale silmale paistavad nad punktadena. See on ka arusaadav, sest ükski



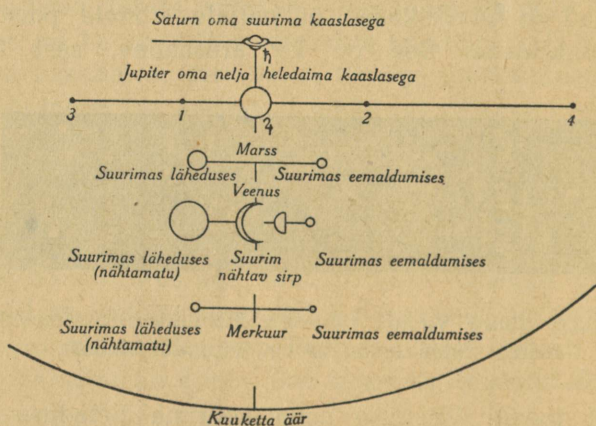
Joonis 129. Suure Vankri tähtkuju loomulikust nurkmõõtkavas. Joonist tuleb hoida 25 cm kaugusel silmast.

planeet (peale Veenuse selle suurima heleduse ajal) pole paljale silmale nähtav nurga all, mis oleks suurem ühest minutist, s. o. sellest piirväärtusest, mille puhul me üldse võime eraldada eset kui mõõtmega keha (väiksema nurga puhul paistab iga keha meile punktina).

Nüüd toome mitmesuguste planeetide suurused nurgasekundites; iga planeedi kohta on toodud kaks arvu, esimene arv vastab planeedi minimaalsele kaugusele, teine maksimaalsele kaugusele Maast:

	sekundid
Merkuur	13—5;
Veenus	64—10;
Marss	25— $3\frac{1}{2}$;
Jupiter	50—31;
Saturn	20—15;
Saturni rõngad	48—35.

Neid suurusi „loomulikust mastaabis“ paberile joonestada pole võimalik: ühele nurga-minutile, s. o. 60 sekundile, vastab parima nägemise kaugusel ainult 0,04 mm, s. o. suurus, mida paljas silm ei näe. Kujutame seepärast planeetide kettaid sellistena, nagu nad meile paistavad teleskoobis, mis suurendab 100 korda. Joonisel 130 on



Joonis 130. Kui seda joonist hoida 25 cm kaugusel silmast, siis sellele joonestatud planeetide kettad paistavad meile suuruselt täpselt sellistena, nagu neid on näha 100 korda suurendavas teleskoobis.

antud planeetide näivate suuruste tabel niisugusel suurendusel. Alumine kaar kujutab kuuketta (samuti ka päikeseketta) äärt. Selle kohal on Merkuur oma minimaalsel kaugusel Maast. Veel kõrgemal on Veenus eri faasides; oma lähimas asendis Maale pole ta nähtav, sest ta on pöördunud Maa poole oma valgustamata poolega⁶⁹; siis muutub nähtavaks ta kitsas sirp — see

⁶⁹ Selles asendis võib teda näha tumeda täpina ainult neil haruldastel juhtudel, kui ta möödub päikesekettast.

on planeetide „ketastest“ suurim; kaugemates faasides Veenus väheneb järjest ja ta täisketas on läbimõdult 6 korda väiksem ta kitsast sirbist.

Veenuse kohal on kujutatud Marss. Pahemal te näete teda tema maksimaalses läheduses Maale; sellisena paistab Marss 100-kordse suurendusega teleskoobis. Mida siis võib näha sellel väikesel kettal? Kujutage endale ette, et see ketas on suurendatud 10 korda, ja te saate kujutluse sellest, mida näeb astronoom, kes uurib Marssi suurima, 1000-kordset suurendust andva teleskoobiga. Kas on siis võimalik sellel väikesel pinnal märgata täie kindlusega selliseid üksikasju, nagu kurikuulsaid „kanaleid“, või jälle kindlaks teha värvuse kergest muutumist, mis oleks nagu seoses taimestikuga selle maailma „ookeanide“ põhjas? Pole siis midagi imestada, et ühtede uurijate vaatlused suurel määral erinevad teiste vaatlustest ja et ühed nimetavad seda optiliseks illusiooniks, mida teised oleksid nagu selgesti näinud...

Hiiglane Jupiter oma kuudega omab väga tähtsat kohta meie tabelis: ta ketas on tunduvalt suurem teiste planeetide ketastest (välja arvatud Veenuse sirp) ja tema neli peamist kuud on laiali paisatud joonele, mis võrdub peaaegu Kuu poole läbimõduga. Siin on Jupiter kujutatud oma suurimas läheduses Maale. Lõpuks ka Saturn oma rõngaste ja kõige suurema kuuga (Titaan) moodustab üsna tähelepanuväärse taevakeha momendil, mil ta on kõige lähemal meile.

Pärast öeldut on lugejale selge, et iga nähtav ese on seda väiksem, mida lähemal meile teda kujutleme. Ja vastupidi, kui me mingil põhjusel suurendame keha kaugust meist, siis paistab see keha meile vastavalt suurendatuna.

Järgnevalt toome ameerika kirjaniku Edgar Poe õpetliku jutustuse, mis kirjeldab nimelt üht sellist nägemisillusiooni. Näiliku ebatõepärasuse juures pole see jutustus siiski fantastiline. Ka mina jäin kord peaaegu samasuguse illusiooni ohvriks — ja küllap ka paljud minu lugejaist mäletavad sellelaadilisi juhtumeid oma elust.

Sfinks.

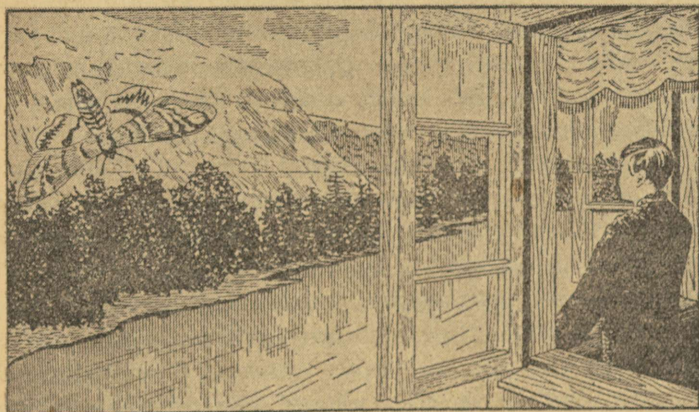
Edgar Poe jutustus⁷⁰.

Ajal, mil New Yorgis möllas hirmsasti koolera, sain ühelt oma sugulaselt kutse veeta kaks nädalat tema üksildases suvilas. Me poleks aega veetnud sugugi halvasti, kui me poleks iga päev linnast saanud kohutavaid teateid. Ei möödunud päevagi, kus ei saabunud teade mõne tuttava surmast. Lõpu poole hakkasime hirmuga ajalehte ootama. Isegi tuul lõunast näis meile olevat surmaga küllastunud. See tarduma panev mõte võttis täiesti võimust minu hinges. Mu peremees oli rahulikuma temperamendiga inimene ja püüdis mind julgustada.

Uhe kuuma päeva õhtul istusin ma, raamat käes, avatud akna juures, kust avanes vaade eemalolevale kingule jõe taga. Minu mõtted olid juba ammu siirdunud raamatust nukrusele ja meelegeitele, mis valitsesid naaberlinnas. Tõstes silmad üles heitsin juhuslikult pilgu kingu paljastatud nõlvale ja — nägin midagi imeликku: vastik koletis laskus kiiresti alla kingu tipust ja kadus selle jalal kasvavasse metsa. Nähes koletist

⁷⁰ M. A. Engelhardt'i tõlge vene keelde. Tekstis on tehtud ebaolulisi lühendusi.

hakkasin ma esimesel hetkel kahtlema oma mõistuse või vähemalt oma silmade tervises ja alles mõne minuti pärast veendusin, et ma siiski ei soni. Kuid kui ma nüüd kirjeldan seda koletist (keda ma nägin täiesti selgesti ja keda ma jälgisin kogu aja, mil ta kingult alla laskus), siis võib-olla minu lugejad nii kergesti ei usu seda.



Joonis 131. „... Koletis laskus alla künka tipust.“

Määrates selle olendi suurust suurte puude järgi veendusin, et ta ületab suuruselt ükskõik millise liinilaeva. Ma nimetan liinilaeva seepärast, et koletis sarnanes laevaga: seitsmekümne nelja kahuriga laeva kere annab üsna selge kujutluse koletise kujust. Looma lõug asetseb londi otsas, mille pikkus võis olla kuuskümmend-seitsekümmend jalga ja mille paksus oli umbes niisama suur kui tavalise elevanti kehal. Londi-alusel oli tihe mass sassis karvu; neist karvadest, paindudes alla ja kõrvale, ulatusid välja kaks läikivat kihva, mis olid metssea

kihvade taolised, aga ainult võrratult suuremad. Londis kummalgi pool oli kaks hiiglasuurt sirget sarve, pikkuselt jalga kolmkümmend-nelikümmend, arvatavasti kristalsed, sest nad läikisid pimestavalt päikesekiirtes. Kerel oli sellise kiilu kuju, mis on oma terava otsaga pööratud maa poole. Kere oli varustatud kahe tiiva paariga — kumbki pikkuselt kuni 300 jalga — teine teise peal. Tiivad olid tihedalt kaetud metallplaatidega, milledest igaühe läbimõõt oli kümme-kaksteist jalga. Aga selle hirmsa olendi peamiseks iseärasuseks olis surnupea kujutis, mis kattis peaaegu kogu ta rinna. See surnupea oma heleda valge värvusega eraldus teravalt nagu joonistatult, tumedal taustal.

Sel ajal kui vaatasin õudustundega seda hirmsa looma, eriti pahaendelist kuju ta rinnal, ajas ta ammu oma lõuad ja oli kuulda tugevat oigamist... Minu närvid ei pidanud vastu ja kui koletis oli kadunud kingu all olevasse metsa, kukkusin oimetult põrandale...

Kui jälle toibusin, oli minu esimeseks asjaks rääkida sõbrale sellest, mida olin näinud. Ära kuulanud mind kuni lõpuni, hakkas ta algul kõvasti naerma, aga siis muutus väga tõsiseks, nähtavasti ta ei kahelnud minu meeltesegaduses.

Sel hetkel nägin ma uuesti koletist ja kisaga näitasin teda sõbrale. Ta vaatas, kuid kinnitas, et ta ei näe midagi, hoolimata sellest et olin talle üksikasjaliselt kirjeldanud looma asendit allalaskumisel kingust.

Ma katsin näo kätega. Kui käed ära võtsin, oli koletis kadunud.

Mu peremees hakkas pärima minult koletise väliskuju. Kui olin talle kõik üksikasjaliselt jutustanud, tõmbas ta hinge tagasi, nagu oleks ta vabanenud talumatust raskusest, astus raamatukapi juurde ja võttis sealt

loodusloo õpiku. Siis, tehes ettepaneku vahetada kohad, sest akna juures oli tal kergem lugeda raamatu peenikest kirja, istus ta toolile ja avanud õpiku, jätkas:

„Kui te poleks mulle nii üksikasjaliselt koletist kirjeldanud, siis võib-olla poleks ma saanud kunagi teile selatada, mis loom see oli. Kõigepealt, kui lubate, ma loen teile sellest õpikust kirjelduse perekonna *Sphinx* kohta, kes kuulub *Crepusculariae* (videvikuliblikad) sugukonda *Lepidoptera* (soomustiivalised ehk liblikad) seltsi ja *Insecta* ehk putukate klassi. Siin see on:

„Kaks paari kilekujulisi tiibu, mis on kaetud peenikeste, värvitud, metalse läikega soomustega; suised on tekkinud pikenenud alalõuast; nende külgedel on karvaste kobijate algmed; alumised ja ülemised tiivad on omavahel ühendatud tugevate karvadega; tundlatel on prismataoliste arendite kuju; tagakeha on teritunud. Oma nukra häälitsemise ja surnupeakujutise tõttu on Surnupea-sfinks mõnikord lihtrahva ebauskliku hirmu põhjustajaks ⁷¹.“

Siinkohal pani ta raamatu kinni ja toetus aknale samas poosis, milles minagi istusin, kui märkasin „koletist“.

„Ahaa, siin ta on!“ hüüdis ta, „ta tõuseb praegu kingu nõlva mööda üles; pean tunnistama, ta on väga kuri-

⁷¹ Seda liblikat arvatakse praegu *Acherontia* perekonda. See on üks vähestest liblikatest, kes on võimeline häält tegema, ja on ainus, kes seda teeb suisete abil. See viletaoline häälmenev hiirte vingumist, ta on üsna vali ja kuuldav mitmete meetrite kaugusele. Antud juhul võis see häälmenev paista vaatlejale eriti tugevana, sest hääleallikas oli mõttes edasi viidud väga suurele kaugusele (vaata „Huvitav füüsika“ I osa, peatükk X „Kuulmise kurioosumid“).

Eesti keeles nimetatakse seda nüüd surulaste (*Sphingidae*) sugukonda arvatavat liblikat tontliblikaks. — Tõlkija märkus.

oosne. Aga ta pole sugugi nii suur ja nii kaugel, nagu teie arvasite, sest ta ronib üles niiti mööda, mille on meie aknale kinnitanud mõni ämblik!”

Miks mikroskoop suurendab?

„Sellepärast, et ta muudab kiirte käiku kindlal viisil, mis on kirjeldatud füüsika õpikuis” — nii lausub kõige sagedamini vastus antud küsimusele. Selles vastuses on ära näidatud kaugel põhjus; asja olu ennast pole aga puudutatud. Milles siis seisneb mikroskoobi ja teleskoobi suurendustoime põhjus?

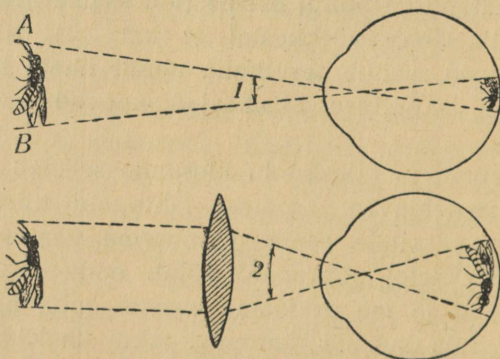
Ma õppisin seda tundma mitte õpikust, vaid juhuslikult, kui kord õpilasena täheldasin erakordselt huvitavat ja mind mõtlemapanevat nähtust. Ma istusin suletud akna juures ja vaatasin kitsa põiktänaava vastasmaja telliskiviseinale. Äkki ma tõmbusin õudusest tagasi: kiviseinast — ma nägin seda selgesti — vaatas mulle otsa tohutu suur, mõne meetri laiune inimese silm... Sel ajal ma polnud veel lugenud ülaltoodud Edgar Poe jutustust ja seepärast ei taibanud ma kohe, et suur silm on minu oma silma kujutis aknaklaasis, ainult projekteeritult minu poolt eemalseisvale seinale ja seetõttu ka vastavalt suurendatud.

Taibanud, milles asi, hakkasin järele mõtlema, kas pole võimalik ehitada mikroskoopi, mis oleks rajatud sellele silmapettele. Ja alles siis, kui see katse ebaõnnestus, sai mulle selgeks mikroskoobi suurendustoime olu: asi ei seisne mitte selles, et saada eseme suurt kujutist, vaid selles, et vaadata eset suurema vaatenurga all, ja sellepärast — see on kõige tähtsam — eseme kujutis võtab enda alla suurema pindala meie silma võrkkestal.

Selleks et mõista vaatenurga olulist tähtsust selles küsimuses, peame juhtima tähelepanu meie silma ühele tähtsale iseärasusele: iga ese või eseme osa, mida me näeme nurga all, mis on väiksem ühest nurgaminutist, paistab normaalsele silmale punktina, millel muidugi pole ei kaju ega osi. Kui ese on nii kaugel silmast või jälle nii väike, et ta tervena paistab vaatenurga all, mis on väiksem kui 1', siis me selles esemes mingeid üksikasju enam ei eralda. See tuleneb kõik sellest, et niisuguse vaatenurga puhul eseme (või eseme mingisuguse osa) kujutis silma võrkkestal ei kata paljusid närvilõpmeid, vaid mahub tervikuna ainult ühele tundlikule elemendile; ja ehituse üksikasjad kaovad, me näeme punkti.

Mikroskoobi ja teleskoobi ülesanne seisneb selles, et muutes vaadeldavast esemest lähtuvate kiirte käiku, nad näitavad meile esemeid suurema vaatenurga all; kujutis võrkkestal suureneb, võtab enda alla rohkem närvilõpmeid ja me eraldame esemes juba niisuguseid üksikasju, mis sulasid varem kokku üheks punktiks. „Mikroskoop või teleskoop suurendab 100 korda“, see tähendab, ta näitab meile esemeid vaatenurga all, mis on 100 korda suurem sellest vaatenurgast, mille all me eset nägime palja silmaga. Kui aga optiline riist vaatenurka ei suurenda, siis ta ka mingit suurendust ei anna, kuigi meile võiks näida, et näeme suurendatud eset. Silm telliskiviseinal paistis mulle tohutult suurena, kuid ma ei näinud selles sugugi rohkem üksikasju, võrreldes sellega, mida ma näen, vaadates peeglist. Horisondi lähedal paistab Kuu meile tunduvalt suuremana kui olles kõrgel taeval, aga kas on sellel suurendatud kettal mõnigi täpik, mida me ei näe Kuu kõrges asendis?

Kui pöördume selle suurendamisjuhu juurde, millest kirjutab Edgar Poe „Sfinksis“, siis veendume, et ka siin polnud suurendatud kujutises mingeid uusi detaile. Vaatenurk jäi muutmatuks, liblikas oli näha sama nurga all, projekteerides teda kas kaugele metsale või lähedale aknale. Et aga vaatenurk ei muutu, siis eseme suurendus, millisel määral ta meid hämmastaski, ei anna vaatlejale ühtki uut üksikasja. Edgar Poe on oma



Joonis 132. Lääts suurendab kujutist silma võrkkestal.

jutustuse selles punktis tõetruu. Kas täheldasite, kuidas ta kirjeldab „koletist“ metsas: putuka kirjeldus ei sisalda midagi uut võrreldes sellega, mida me näeme surnupea-liblikal, vaadeldes teda palja silmaga. Võrrelge mõlemaid kirjeldusi — nad pole mitte tagamõtteta ära toodud jutustuses — ja te veendute, et nad erinevad ainult sõnalises väljenduses (10-jalalised plaadid — soomused, hiiglasuured sarved — tundlad; metssea kihvad — kobijad jne.), kuid mingeid uusi üksikasju, mida palja silmaga poleks näha, esimeses kirjelduses pole.

Kui mikroskoobi toime seisneks ainult sellises suurenduses, oleks mikroskoop teadusele kasutu, olles mitte midagi muud kui ainult huvitav mänguasi. Meie aga teame, et see pole nii ja et mikroskoop, laiendades meie loomulikku nägemisepiiri, avastas inimesele uue maailma.

„Ehk küll loodus on andnud teravust meil silma, kuid siiski sellel jõul on lõpp, kui vaatad ilma, kus me nii palju olendeid ei suuda leida, sest nende väike kasv neid silme eest meil peidab.“

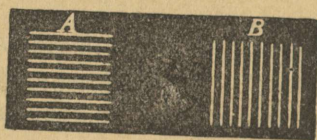
Nii kirjutas meie esimene loodusteadlane Lomonossov teoses „Kiri klaasi kasulikkusest“. Kuid praegusajal avastab meile mikroskoop nähtamatute, väikseimate olendite ehituse:

„Kui peened liikmed, liigesed ja sooned nendes ja süda, närvid looma jõude peitmas endas. Ja rohkem veel, kui raskest vaalast sügavusest me imestume väikse ussi ehitusest. Kui palju mikroskoop meil avas saladusi ja peeni sooni kehas, nähtamatuid osi!“

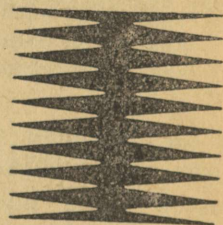
Nüüd saame juba anda endale selgesti aru sellest, mispärast mikroskoop avastab meile „saladusi“, mida ei märganud oma koletis-liblikas vaatleja Edgar Poe jutustus: seepärast, et — tehes kokkuvõtet öeldust — mikroskoop mitte ainult ei kujuta esemeid suurendatud kujul, vaid näitab neid suurema vaatenurga all; seetõttu tekib silma võrkkestal eseme suurendatud kujutis, mis seega katab suuremat arvu närvilõpmeid ja annab seepärast meie teadvusele rohkem üksikuid nägemisaistinguid. Lühidalt: mikroskoop ei suurenda esemeid, vaid nende kujutisi silma võrkkestal.

Nägemise enda-petted.

Me räägime tihti nägemispettest, kuulmispettest, aga need väljendused pole õiged. Meelte petteid pole. Filosoof Kant ütles sel puhul tabavalt: „Meeled ei peta meid — mitte sellepärast, et nad alati õigesti ei arutleks, vaid sellepärast, et nad üldse ei arutle.“



Joonis 133. Kumb on laiem
— A või B?



Joonis 134. Mis on suurem selles kujundis —
kõrgus või laius?

Mis meid siis viib eksitusse niinimetatud meelepette puhul? Arusaadavalt see, mis antud juhul arutleb, s. o. meie oma peaju. Tõepoolest, enamik silmapetteid tuleneb sellest, et me mitte ainult ei näe, vaid ka ebateadlikult arutleme ja viime ennast seejuures eksitusse. Need on arutluspetted, aga mitte meeltepetted.

Juba kakstuhat aastat tagasi kirjutas vanaaja luuletaja Lucretius:

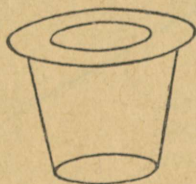
Me silmad ei oska tunnetada esemete olemust.
Sellepärast ära omista neile mõistuse eksimust.

Võtame optilise illusiooni üldtuntud näite: kujund A (joon. 133) paistab kitsam olevat kujundist B. Mõlemad kujundid on aga piiratud võrdsete ruutudega. Põhjus

peitub selles, et kujundi *A* kõrguse hindamine saadakse üksikute vahemikkude ebateadliku liitmise tulemusena ja seepärast see kõrgus näib olevat suurem temaga võrdsest laiuusest. Vastupidi, kujund *B* paistab sama ebateadliku arutluse tõttu laiem olevat kõrgusest. Samal põhjusel paistab kujund joonisel 134 kõrgem olevat laiuusest.

Illusioon, mis on kasulik rätsepatele.

Kui te sooviksite äsjakirjeldatud nägemisillusiooni rakendada ka suuremate kujundite kohta, milliseid pole võimalik korruga silmaga tabada, siis teie ootused ei leia õigustust. Kõigile on teada, et madala kasvuga paks inimene ristitriibulises ülikonnas paistab mitte peene-



Joonis 135. Milline ellips on suurem — alumine või ülemine sisemine?

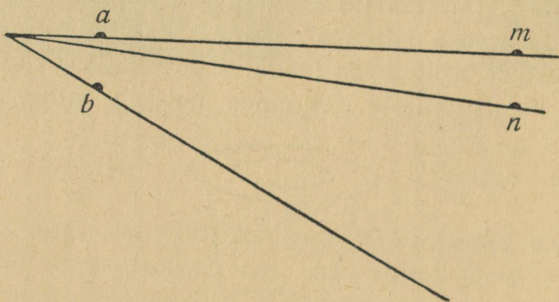
mana, vaid vastupidi, veel jämedamana. Ja vastuoksa, tõmmates selga pikitriipude ja voltidega ülikonna, võivad paksud inimesed teataval määral varjata oma pakust.

Kuidas seletada seda vastuolu? Sellega, et vaadeldes sellist ülikonda, me ei saa seda silmi liigutamata korruga tabada; me peame tahtmatult silmi liigutama piki triipe; silmalihaste pingutus sunnib meid seejuures eba-

teadlikult suurendama keha suurust triipude suunas; me oleme harjunud siduma silmalihaste pingutust ettekujutusega suuremaid esemeid — kui esemeid, mis ei mahu meie vaatevälja. Seevastu, kui me vaatame väikest triibulist joonist, me silmad ei liigu ja silmalihased ei pingutu.

Mis on suurem?

Milline ellips joonisel 135 on suurem: kas alumine või ülemine sisemine? On raske vabaneda mõttest, et alumine on suurem ülemisest. Mõlemad ellipsid on aga



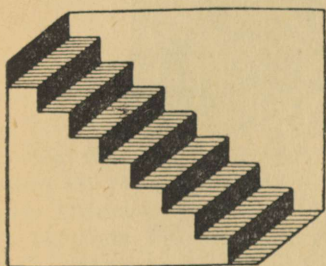
Joonis 136. Kumb kaugus on suurem — ab või mn ?

võrdsed ja ainult välise ääristava ellipsi juuresolek tekitab illusiooni, nagu peaks temas olev ellips olema väiksem alumisest. Illusioon tugevneb veel seepärast, et joonis ei kujuta tasapinnalist, vaid ruumilist kujundit — ämbrit: ellipsid paistavad meile ringjoontena, aga külgsirged — ämbri seintena.

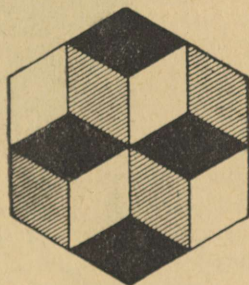
Joonisel 136 paistab vahemaa a ja b vahel suuremana kui vahemaa m ja n vahel. Samast tipust lähtuva kolmanda sirge olemasolu suurendab illusiooni.

Kujutluse jõud.

Nagu juba öeldud, on nägemispetete enamik tingitud sellest, et me mitte ainult ei vaata, vaid seejuures ka ebateadlikult arutleme. Füsioloogid ütlevad: „Meie ei vaata silmadega, vaid ajuga.“ Te lepite meeldi sellega, kui olete tutvunud illusioonidega, millede puhul vaataja kujutlus võtab teadlikult osa nägemisprotsessist.



Joonis 137. Mida te siin näete — treppi, trepialust või „harmonikana“ kokkuvolditud riba?



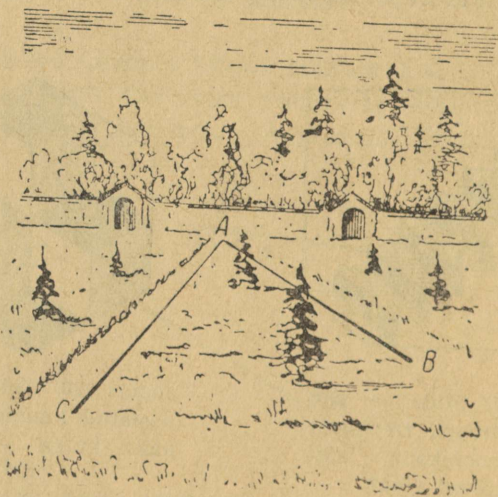
Joonis 138. Kuidas on siin asetatud kuubid? Kus on kaks kuupi — ülal või all?

Peatume kasvõi niinimetatud Schröderi trepi juures (joon. 137).

Selle joonise näitamisel teistele saate küsimusele, mida ta kujutab, kolm vastust. Ühed ütlevad, et see on trepp; teised — trepialune nišš; kolmandad näevad joonisel „harmonikana“ kokkumurtud ja valgele ruudule asetatud pabeririba.

Nii imelik kui see ka on, kõik kolm vastust on õiged! Te võite ise neid kõiki kolme asja näha, kui suunate

joonisele erinevalt oma pilgu. Ja nimelt: vaadates joonist, katsuge kõigepealt suunata oma pilk selle pahemale poolele ja te näete treppi. Kui teie pilk libiseb joonist mööda paremalt pahemale, te näete nišši. Kui teie pilk liigub kaldsuunas diagonaali mööda alumisest paremast nurgast ülemisse pahemasse nurka, te näete „harmoonikana“ kokkumurtud paberit.



Joonis 139. Kumb on pikem: AB või AC ?

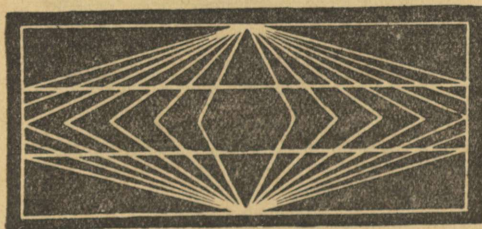
Kuid pikemal vaatlemisel tähelepanu väsis ja te näete vaheldumisi üht, teist või kolmandat, juba olenematult teie soovist.

Joonisel 138 on samad iseärasused.

Huvitav on illusioon joonisel 139: tahtmatult tekib mulje, et kaugus AB on lühem kui AC . Nad on aga võrdsed.

Veel nägemisillusioone.

Mitte kõiki nägemisillusioone ei suuda me seletada. Tihti on isegi raske aimata, mis laadi järeldused toimuvad ebateadlikult meie ajus ja tingivad selle või teise silmapette. Joonisel 140 on selgesti näha kaks kaart,



Joonis 140. Kaks keskmist joont, mis lähevad paremalt paemale, on paralleelsed, kuigi paistavad kaartena, mis oma kumerate külgedega on pööratud teineteise vastu. Illusioon kaob: 1) kui tõsta kujund silmade kõrgusele ja vaadata talle nii, et pilk libiseks mööda jooni; 2) kui paigutada pliatsiots kujundi mingisse punkti ja keskendada pilk sellesse punkti.

mis on pööratud oma kumerate külgedega teineteise vastu. Ei teki isegi kahtlust, et asi pole nii. Kuid on vaja ainult panna nende kujutletavate kaartede külge joonlaud ja, hoides joonist silmade kõrgusel, vaadata neid mööda joonlaua serva, et veenduda nende sirgjoonelisuses. Seletada seda illusiooni pole kerge.

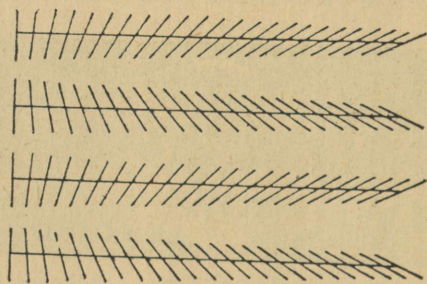


Joonis 141. Kas sirglõik on jaotatud kuueks võrdseks osaks?

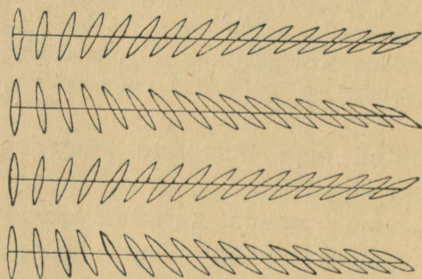
Toome veel üksikuid näiteid seda laadi illusioonide kohta. Joonisel 141 näib sirglõik olevat jagatud eba-võrdseteks osadeks; mõõtmise näitab, et osad on võrd-

sed. Joonistel 142 ja 143 ei paista paralleelsed sirged paralleelsetena. Joonisel 144 näib ring ovaalina.

On tähelepanuväärne, et optilised illusioonid, mis on näidatud joonistel 140, 142 ja 143, lakkavad silma petmast, kui neid vaadata elektrisädeme valgustusel. Näh-



Joonis 142. Paralleelsed sirged ei näi olevat paralleelsed.



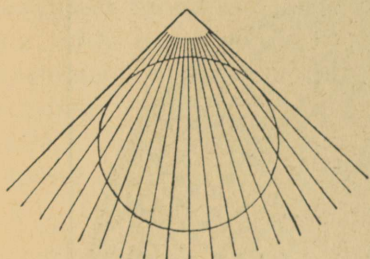
Joonis 143. Joonise 142 illusiooni teine kuju.

tavasti on need illusioonid seotud silmade liigutusega: lühiaegsel sädeme pahvatusel ei saa liigutust toimuda.

Veel üks mitte vähem huvitav illusioon. Vaadake joonisele 145 ja ütelge: millised kriipsud on pikemad, kas need, mis on joonise pahemal või need, mis on paremal poolel?

Esimesed paistavad teistest pikemad olevat, kuigi nad on võrdsed⁷². Seda illusiooni nimetatakse „piibu“ illusiooniks.

On esitatud palju seletusi neile huvitavatele illusioonidele, kõik nad aga on vähe veenvad ja meie ei hakka neid siin esitama. Üks asi on aga nähtavasti kindel:



Joonis 144. Kas see on ring?



Joonis 145. „Piibu“ illusioon. Paremäl asetsevad joonekesed paistavad olevat lühemad pahe-mäl asetsevaist võrdseist joone-kestest.

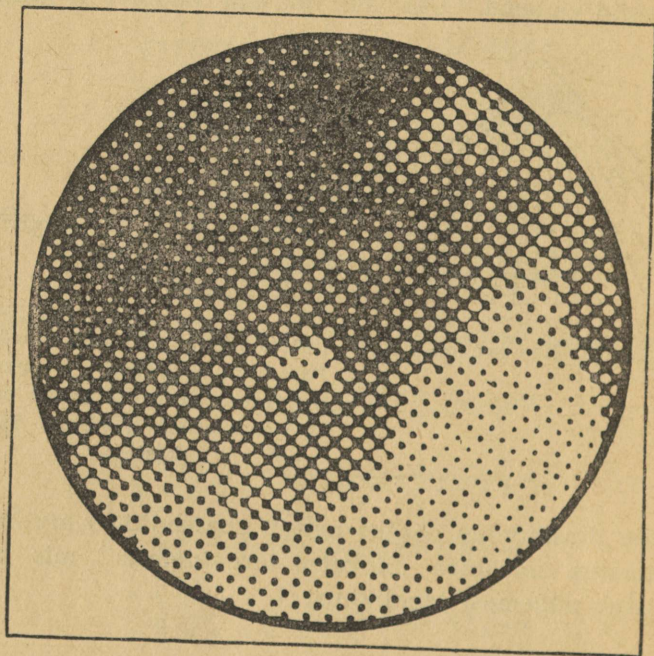
nende illusioonide põhjus peitub ebateadlikus arutluses, tahtmatus mõistuse „kavalas targutamises“, mis meil takistab nägemast tegelikkust⁷³.

⁷² Joonis kujutab endast museas tuntud Cavalieri geometriaprintsiibi illustratsiooni („piibu“ mõlema poole pindalad on võrdsed).

⁷³ Nägemisillusioonide vastu huvi tundvate lugejate tähelepanu juhin minu poolt koostatud väikesele albumile „Nägemispetted“ (vene keeles), milles on kogutud enam kui 60 mitmesugust optilist illusiooni.

Mis see on?

Pilku heites joonisele 146 te vaevalt algul taipate, mida ta kujutab. „Lihtsalt must võrk, muud midagi,“ ütlete. Pange aga raamat püsti lauale, astuge kolm-neli



Joonis. 146. Vaadates seda võrku kaugemalt, võib temas kergesti eraldada naise paremale pööratud profiili silma ja nina osa.

sammu eemale ja vaadake siis. Te näete inimese s i l m a. Tulge lähemale — ja jällegi on teie ees ei midagi kujutav võrk...

Te arvate muidugi, et on tegemist leidliku graveerija mingi osava „trikiga“. Seda mitte, see on ainult jäme

näide sellest nägemisillusioonist, mille te saate igakord, kui vaatate nn. toonilist illustratsiooni ehk autotüüpiat. Raamatuis ja ajakirjades paistab joonise põhi meile pidevana; vaadake seda aga läbi luubi, ja teie ette kerkib sama võrk mis joonisel 146. See teid mõtlema panev joonis pole muud midagi, kui kümme korda suurendatud osa tavalisest toonilisest illustratsioonist. Vahe on selles, et kui võrk on peenike, siis paistab ta pideva taustana vaatamisel juba väikeseltki kauguselt, nimelt sellelt, millelt meie raamatut lugemisel vaatame. Kui aga võrk on jäme, toimub selle kokkusulamine ühtlaseks fooniks vaatamisel suuremalt kauguselt.

Ebatavalised rattad.

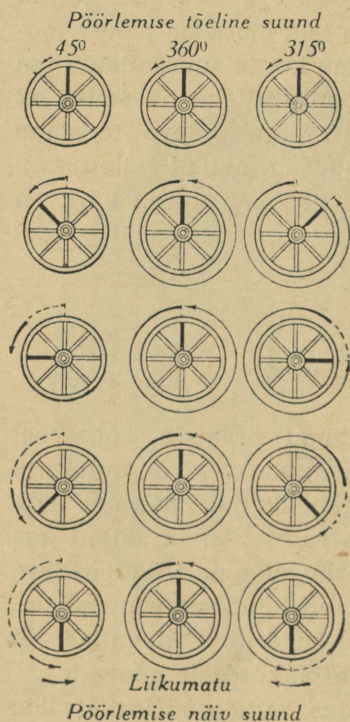
Kas olete jälginud läbi plangu pragude või, veel parem, kinolindil kiiresti liikuva vankri- või autoratta kodaraid? Tõenäoliselt olete täheldanud imelikku nähtust: auto liigub peadpööritava kiirusega, ta rattad aga vaevalt pöörlevad või ei pöörle sugugi. Vähe sellest. Nad pöörlevad isegi mõnikord vastupidises suunas!

See nägemisillusioon on sel määral ebatavaline, et jätab nõutuks need, kes seda esmakordselt näevad.

Seletus on järgmine. Jälgides ratta pöörlemist läbi plangu pragude (pilk liigub edasi planku mööda), me näeme ratta kodaraid mitte pidevalt, vaid võrdsete ajavahemikkude tagant, sest plangu lauad varjavad neid meie eest igal hetkel. Täpselt samuti teeb ka kinolint ülesvõtteid rattast vaheaegadega, teatud momentidel (iga viieteistkümnendiku sekundi tagant). Siin on võimalikud kolm juhtu, millised meie siin üksteise järel läbi arutame.

Esiteks, võib juhtuda, et vaheaja jooksul ratas teeb täisarv tiire, ükskõik kui palju — 2 või 20, ainult et tiirude arv oleks täisarv. Siis on ratta kodarail

uuel ülesvõttel sama asend, mis eelmiselgi. Järgmises ajavahemikus ratas teeb jälle täisarv tiire (sest ajavahemik ja auto kiirus pole muutunud), ja ratta kodarate asend on jälle endine. Nähes kogu aja üht ja seda sama kodarate asendit me järeldame, et ratas ei pöörle (vaata keskmine tulp joonisel 147).



Joonis 147. Rataste mõistatusliku liikumise põhjus kinofilmides.

Teine juhtum. Ajavahemikus teeb ratas täisarv tiire ja veel ühe väikese osa tiirust. Jälgides selliste kujutiste vahetust, me ei märkagi tiirude täisarvu, vaid näeme ainult ratta aeglast pöörlemist (iga kord tiiru väikese osa võrra). Tulemuseks on, et vaatamata auto suurele kiirusele ratta näivad pöörlevat aeglaselt.

Kolmas juhtum. Ajavahemikus kahe ülesvõtte vahel on ratas teinud veidi vähem kui täispöörde (näiteks on pöördunud 315° võrra; kolmas tulp joonisel 147). Siis paistab, et mingi määratud kodar pöörleb vastupidis-

ses suunas. See petlik mulje kestab seni, kuni ratas ei muuda oma kiirust.

Jääb ainult seletust veel veidi täiendada. Esimesel juhul lihtsuse pärast rääkisime ratta täistiirude arvust; et aga kodarad on kõik ühesugused, siis piisab sellest, kui kodarate vahemikkude arv on täisarv. Sama käib ka teiste juhtude kohta.

On võimalikud ka veel teised kurioosumid. Kui ratta põial on märgitud teatav punkt ja kodarad on kõik ühesugused, siis võib juhtuda, et põid pöörleb ühes suunas, kodarad aga vastupidises suunas! Kui aga kodaral on märk, siis kodarad võivad liikuda vastupidi märgile, tekib mulje, nagu hüppaks märk ühelt kodaralt teisele.



Joonis 148. Ketas pöörleva keha kiiruse määramiseks.

Kui kinos demonstreeritakse tavalisi stseene, siis see illusioon kahjustab vähe mulje loomulikkust. Tahetakse aga ekraanil seletada mingi mehhanismi toimet, siis võib see nägemisillusioon esile kutsuda tõsiseid arusaamatusi ja isegi täiesti moonutada kujutlust masina tööst.

Tähelepanelik vaatleja, nähes ekraanil kiiresti liikuva auto näiliselt liikumatut ratast, võib, loendades kodarate arvu, teataval määral otsustada, mitu tiiru teeb ratas ühes sekundis. Kinolindi tavaline kiirus on 16 pilti sekundis. Kui autoratta kodarate arv on 12, siis tiirude arv sekundis on $16 : 12$, s. o. $\frac{4}{3}$ ehk üks tiir $\frac{3}{4}$ sekundis.

See on tiirude kõige väiksem arv; ta võib olla aga ka täisarv kordi (s. o. kaks, kolm jne.) suurem. Hinnates ratta läbimõõtu võib teha järelduse ka auto kiiruse kohta. Näiteks kui ratta läbimõõt on 80 cm, saame kiirusele arvud 12 km, 24 km või 36 km tunnis.

Äsjaarutletud nägemisillusiooni kasutatakse tehnikas kiiresti pöörlevate võllide tiirude arvu määramiseks sekundis. Seletame, millele on see võte rajatud. Vahelduvvooluga toidetava lambi valgustugevus ei ole püsiv; iga $\frac{1}{100}$ sekundi tagant valgus nõrgeneb, kuigi me harilikel tingimustel lambi vilkumist ei näe. Aga oletame, et säärase valgusega on valgustatud pöörlev ketas, mis on kujutatud joonisel 148. Kui ketas pöörleb nõnda, et teeb $\frac{1}{4}$ tiiru $\frac{1}{100}$ sekundi jooksul, siis toimub midagi ootamatut: tavalise ühtlase halli ringi asemel silm näeb musti ja valgeid sektoreid ja ketas ei näi pöörlevat.

Arvan, et nähtuse põhjus on arusaadav lugejale, kes on arutlenud illusiooni autoratastega. Ka on kerge aru saada, kuidas rakendada seda nähtust pöörleva võlli tiirude arvu määramiseks.

„Ajamikroskoop“ tehnikas.

„Huvitava füüsika“ esimeses raamatus kirjeldatakse „aegluupi“, mille juures kasutatakse kinoaparaati. Siin räägime ühest teisest sama efekti andvast võttest, mis põhineb eelmises artiklis käsitletud nähtusel.

Me teame juba, et kui mustaks tehtud sektoritega ketas teeb sekundis 25 tiiru ja kui teda valgustatakse ühes sekundis lambi 100 pahvatusega, siis ei näi ta silmale pöörlevana. Nüüd oletame, et pahvatuste arv

sekundis on 101. Ajavahemikus kahe pahvatuse vahel, mis nüüd on väiksem eelmisest, ei suuda ketas pööruda nagu enne ühe neljandiku tiiru võrra ja tähendab, sektor ei tule endisse asendisse.

Silmale paistab, et sektor on maha jäänud ühe sajan-diku täispöörde võrra. Lambi järgmisel pahvatusel on ta maha jäänud niisama palju jne. Meile näib, et ketas pöörleb vastupidises suunas, tehes ühe tiiru sekundis. Pöörlemine on aeglustunud 25 korda.

Pole raske mõista, mis tuleks teha, et sama aeglustu-nud liikumine toimuks mitte vastupidises, vaid õiges suunas. Selleks tuleks lambi pahvatuste arvu sekundis mitte suurendada, vaid v ä h e n d a d a. Näiteks 99 pah-vatuse puhul sekundis näiks ketas pöörlevat õiges suu-nas, tehes ka ühe tiiru sekundi jooksul.

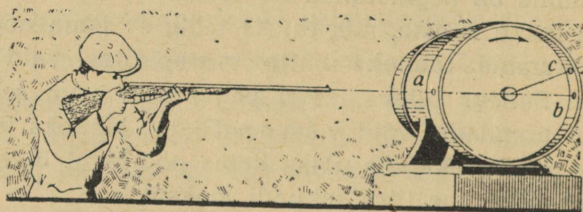
Meil on siin „ajamikroskoop“ 25-kordse aeglustumi-sega. On aga täiesti võimalik saada suuremat aeglustu-mist. Kui näiteks pahvatuste arv on viidud 999-ni 10 sekundi jooksul (s. o. 99,9 ühes sekundis), siis ketas näib tegevat ühe tiiru 10 sekundi jooksul; kettal on seega 250-kordne aeglustumine.

Mainitud viisil võib ükskõik millist perioodilist liiku-mist aeglustada silmale soovitaval määral. See annab hõlpsa võimaluse uurida väga kiirete mehhanismide lii-kumise iseärasusi, aeglustades nende liikumist meie „ajamikroskoobiga“ 100, 1000 ja enam korda⁷⁴.

Lõpuks kirjeldame veel, kuidas on võimalik määrata kuuli lennukiirust. See võte on rajatud asjaolule, et on

⁷⁴ Seda laadi seadiste (stroboskoopide) valmistamine on üles-andeks tehtud Teadusliku Sideuurimise Instituudile Leningradis; neid seadisi kasutatakse Leningradi telegraafis, turbiinide ehitami-sel ja mujal.

võimalik täpselt määrata pöörleva ketta tiirude arvu. Kiiresti pöörlevale võllile on kinnitatud ümberpainutatud äärtega mustaks tehtud sektoritega ketas. Ketas näeb välja kui lahtine silindriline karp (joon. 149). Selle karbi põhja diameetrit mööda püssist lastud kuul lööb karbi seintesse kaks auku. Kui karp oleks liikumatu, siis peaksid need augud asetsema sama diameetri otstes. Et aga karp pöörleb, siis ajavahemikus, mil kuul läbib ketta



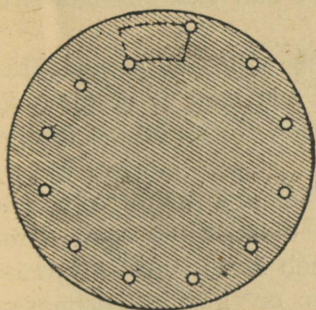
Joonis 149. Kuuli lennukiiruse määramine.

diameetri, on punkti b asemele tulnud punkt c . Kui on teada karbi tiirude arv sekundis ja diameeter, võib kaare bc pikkuse põhjal arvutada kuuli lennukiirust. See on lihtne geomeetriline ülesanne, mille lahendusega saavad kerge vaevaga toime lugejad, kes veidigi tunnevad matemaatikat.

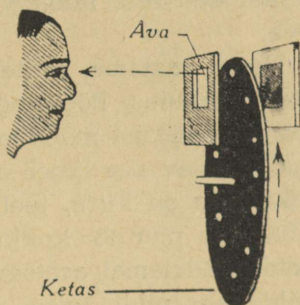
Nipkovi ketas.

Nägemispette imestamisväärset rakendust kujutab endast nn. Nipkovi ketas, mida tarvitatakse praegusaegsetes televisiooniseadistes. Joonisel 150 näete ringi, mille äärtele on paigutatud tosin augukesi läbimõõduga 2 mm; augud on asetatud ühtlaselt spiraali mööda, iga auk ühe

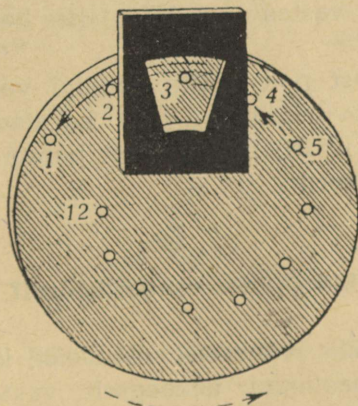
augu läbimõõdu võrra keskpunktile lähemal kui järgmine. Selline ketas nagu ei pakuks midagi erilist. Aga kinnitage ta telje külge, korraldage ketta ette aknake



Joonis 150.



Joonis 151.



Joonis 152.

ja ketta taha paigutage aknasuurune pilt (joon. 151). Kui nüüd ketas panna kiiresti pöörlema, siis toimub ootamatu nähtus: pilt, mida seni varjas liikumatu ketas,

muutub ketta pöörlemisel aknas nähtavaks. Aeglustage liikumist — pilt muutub ähmaseks ja kui lõpuks ketas seisma jääb, kaob ta täielikult; nüüd on pildist nähtav ainult see osa, mida võib näha läbi kahe-millimeetrise ava.

Nüüd vaatame, milles seisneb selle ketta salapärase efekti saladus. Pöörame ketast aeglaselt ja jälgime iga ava järjestikust möödumist aknast. Keskpunktist kaugel asetsev ava läheb akna ülemist äärt mööda; kui see liikumine on kiire, teeb ülemine ava nähtavaks pildi riba, mis puutub kokku pildi ülemise äärega. Teine veidi madalamal asetsev ava teeb ketta kiirel liikumisel nähtavaks pildi teise riba, mis on kõrvuti esimesega (joon. 152); kolmas ava teeb nähtavaks kolmanda riba jne. Ketta küllalt kiirel liikumisel muutub nähtavaks kogu pilt: akna vastas nagu lõigatakse kettast välja vastav avaus.

Nipkovi ketast pole raske endalgi valmistada; kiire pöörlemise saavutamiseks võib kasutada ketta võlli peale mähitud nööri; muidugi on parem kasutada väikest elektrimootorit.

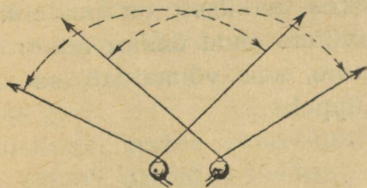
Miks jänes vaatab kõõrdi?

Inimene on üks väheseist olendeist, kelle mõlemad silmad on kohastunud üheaegselt vaatama esemeid: mõlema silma vaateväljad langevad peaaegu ühte.

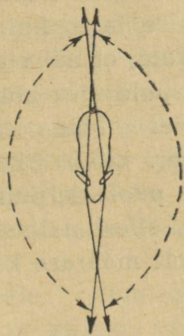
Enamik loomi aga vaatab kummagi silmaga eraldi. Nende poolt nähtavad esemed pole nii reljeefsed, nagu meie inimesed oleme harjunud nägema, selle asemel on aga nende vaateväli tunduvalt laiem kui meil. Joonisel 153 on kujutatud inimese vaateväli: iga silma vaate-

väli on rõhtsuunas umbes 120° ja mõlemad nurgad pea-
aegu katavad teineteist (eeldades, et silmad ei liigu).

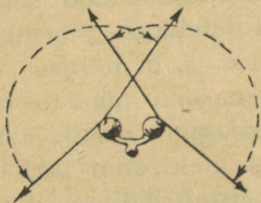
Võrrelge seda joonist joonisega 154, mis kujutab
jänese vaatevälja: oma laialiasesetatud silmadega näeb



Joonis 153. Inimese kahe silma
vaateväli.



Joonis 154. Jänese silmade
vaateväli.



Joonis 155. Hobuse kahe silma vaateväli.

jänese pead pööramata mitte ainult seda, mis on tema ees,
vaid ka tema taga asetsevad kehi. Mõlemad
vaateväljad ühinevad ees ja taga! Nüüd on teile ka aru-
saadav, mispärast on nii raske hiilida jänese lähedusse,
ilma teda ehmatamata. Seejuures aga, nagu näha joo-
nisestki, jänese ei näe sugugi seda, mis on vahetult

tema nina ees; selleks et näha väga lähedal olevat keha, peab jännes pead pöörama.

Peaaegu eranditult kõik kabjalised ja mäletsejad loomad omavad „igakülgse“ nägemise võimet. Joonisel 155 on näidatud hobuse vaateväljade asend: need ei ühine hobuse taga, kuid loomal tarvitseb ainult natuke pead pöörata, et näha esemeid, mis on ta taga. Nägemisaistintud pole siin muidugi nii selged, selle-eest aga ei jää loomal märkamata vähimigi liigutus suures ringis tema ümber. Liikuvail kiskjail, kes tavaliselt on pealetungivaks pooleks, puudub see võime enda ümber näha; neil on „kahesilmaline“ nägemine, mis võimaldab see-eest täpselt määrata kaugust hüppeks.

Miks on pimedas kõik kassid hallid?

Füüsik ütleks: „Pimedas on kõik kassid mustad,“ sest valguse puudumisel pole kehad üldse nähtavad. Aga vanasõna ei räägi täielikust pimedusest, vaid pimedusest tavalises mõttes, s. o. nõrgast valgustusest. Päris täpselt lausuks vanasõna nõnda: öösi on kõik kassid hallid. Vanasõna esialgne, otsene mõte on see, et puudulikul valgustusel meie silm lakkab eraldamast värvusi — iga pind paistab hallina.

Kas see on õige? Kas tõepoolest poolpimedas punane lipp ja rohelised lehed on ühesuguselt hallid? On kerge veenduda selle väite õigsuses. Kes hämaras on tähelepanelikult vaadelnud esemeid, see on muidugi täheldanud, et värvuste vahed kustuvad ja kõik asjad paistavad enam-vähem tumehallidena: sellisena paistavad punane vaip, sinised tapetid, violetsed lilled, rohelised lehed.

Me loeme Tšehhovist („Kiri“):

„Läbi allalastud eesriiete ei tunginud siia päikesekiired. Oli hämar, nii et kõik roosid suures lillekimbus näisid olevat ühte värvi.“

Täpsed füüsikalised katsed kinnitavad täiesti seda vaatlust. Kui värvitud pinda valgustada nõrga valge valgusega (või valget pinda nõrga värvilise valgusega) ja siis valgustust aegamööda tugevdada, siis näeb silm algul lihtsalt halli, ilma igasuguse värvivarjundita. Ja ainult siis, kui valgustus on tugevnenud teatava piirini, hakkab silm täheldama, et pind on värvitud. Seda valgustuse astet nimetatakse „värviaistingu alumiseks künniseks“.

Niisiis vanasõna sõna-sõnaline ja täiesti õige mõte (mis esineb paljudes keeltes) on see, et allpool värviaistingu künnist paistavad kõik esemed hallidena.

On kindlaks tehtud, et värviaistingul on olemas ka ülemine künnis. Erakordselt ereda valgustuse puhul lakkab silm uuesti eraldamast värvivarjundeid: kõik värvitud pinnad paistavad ühesuguselt valgetena.

Kas on olemas külmakiiri?

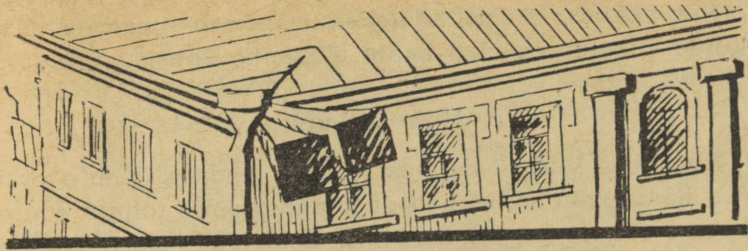
On levinud arvamus, et kõrvuti soojendavate kiirtega on olemas ka külmutavaid kiiri, külmakiiri. Sellele mõttele viib näiteks fakt, et jäätükk levitab enda ümber külma täpselt samuti kui ahi soojust. Kas ei räägi see asjaolu sellest, et jääst lähtuvad külmakiired nagu ahjust soojendavad kiired?

Selline tõlgitsus on aga väär. Külmakiiri pole olemas. Jää läheduses olevad kehad ei jahtu külmakiirte mõjul, vaid seetõttu, et soojad kehad kiirguse tõttu kaotavad

soojust enam kui nad seda jäält juurde saavad. Soe keha, samuti ka külm jää kaotavad soojust kiirguse tõttu: keha, mis on rohkem soojendatud kui jää, kaotab soojust enam kui ta seda juurde saab. Soojuse juurdevool on väiksem selle kulumisest, keha jaheneb.

Huvitava Teaduse Majas Leningradis näidatakse üht efektset katset, mis samuti võib viia mõttele külmakiirte olemasolust. Pika saali vastasseintel on püstitatud suured nõguspeeglid. Kui ühe peegli lähedusse, niinimetatud fookusesse, asetada tugev soojusallikas, siis soojusallikalt peeglile langenud kiired peegelduvad selles ja langevad teisele nõguspeeglile, peegelduvad siin uuesti ja koonduvad ühte punkti selle peegli fookuses; tükk musta paberit, mis on asetatud sellesse punkti, süttib põlema. See katse tunnistab näitlikult soojendavate kiirte olemasolu. Kui aga soojuseallika asemele asetada esimese peegli fookusesse tükk jääd, siis selgub, et termomeeter, mis on paigutatud teise peegli fookusesse, näitab külma. Kas see aga tähendab, et jää kiirgab külmi kiiri, mis pärast peegeldumist ühes ja teises peeglis koonduvad termomeetri kerale?

Ei, ka sel juhul võib nähtust seletada salapärase külmakiirte abita. Termomeetri kera annab jääle kiirguse teel rohkem soojust, kui ta jäält tagasi saab; sellepärast elavhõbe termomeetris jaheneb. Niisiis, ka siin pole põhjust väita külmendavate kiirte olemasolu. Mingeid külmakiiri looduses pole olemas: kõik kiired annavad energiat, mitte aga ei võta seda.



Kümnes peatükk.

Hääl. Laineline liikumine.

Hääl ja raadiolained.

Hääl levib kiirusega, mis on umbes miljon korda väiksem valguse kiirusest; et aga raadiolainete kiirus langeb ühte valguse kiirusega, siis on hääl miljon korda aeglasem raadiosignaalist. Siit tuleneb huvitav järeldus, mille olu selgub järgmisest ülesandest.

Kes kuuleb enne pianisti esimesi akorde: kas teatrisaali külastaja, kes istub 10 meetri kaugusel pianistist, või raadiokuulaja, kes pianisti mängu võtab vastu oma aparaadiga 100 kilomeetri kaugusel teatrisaalist?

Kui imelik see ka on, raadiokuulaja kuuleb akorde enne kui külastaja teatrisaalis, kuigi ta on 10 000 korda kaugemal klaverist. Tõepoolest: raadiolained läbivad 100-kilomeetrise kauguse

$$\frac{100}{300\,000} = \frac{1}{3000} \text{ sekundiga.}$$

Hääl aga läbib 10-meetrise kauguse

$$\frac{10}{430} = \frac{1}{31} \text{ sekundiga.}$$

Siit nähtub, et raadioülekanne nõuab peaaegu 100 korda vähem aega kui hääle ülekanne õhus.

Hääl ja kuul.

Kui Jules Verne'i mürsus reisijad lendasid Kuule, olid nad hämmastunud, et nad ei kuulnud selle tohutu suure kahuri väljalaskepauku, milline neid teele saatis. Teisiti ei saanudki olla. Kui kõrvulukustav mürin see ka iganes oleks olnud, ta levimiskiirus (nagu üldse igasuguse hääle kiirus õhus) võrdus ainult 340 m sekundis, mürsk aga liikus kiirusega 11 000 m sekundis. On arusaadav, et lask ei ulatunud reisijate kõrvadeni: mürsk jõudis häälest ette.

Kuidas on lugu aga tõeliste, mitte-fantastiliste mürskude ja kuulidega: kas nad liiguvad häälest kiiremini või vastupidi, kas hääl jõuab neist ette ja teatab ohvrile surmatoova mürsu lähenemisest?

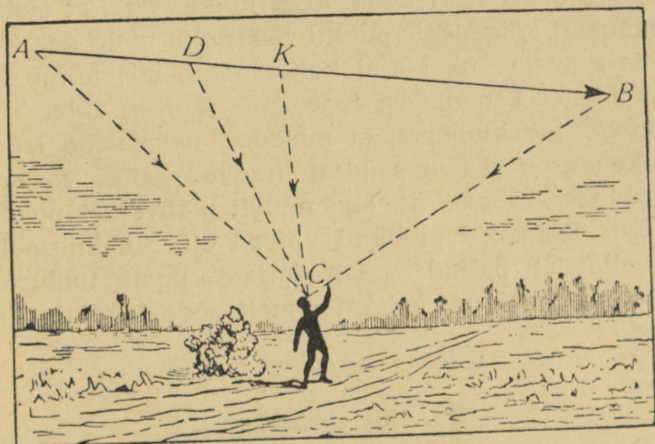
Praegusaegsed vintpüssid annavad kuulile kiiruse, mis on peaaegu kolm korda suurem hääle kiirusest õhus, nimelt 900 m sekundis (hääle kiirus 0^o juures on 332 m sekundis). Tõsi küll, hääl levib ühtlaselt, kuul aga lendab aeglustuvalt. Siiski suurema osa oma teest läbib ta kiirusega, mis on suurem hääle kiirusest. Siit järgneb, et kui te tulevahetuses kuulete lasku või kuuli vingumist, siis võite kindel olla, et kuul on teist möödunud. Kuul jõuab häälest ette ja kui kuul tabab oma ohvrit, siis võib viimane tapetud olla enne, kui tema kõrvu on jõudnud lasu poolt tekitatud hääl.

Näilik plahvatus.

Võistlus lendava keha kiiruse ja selle keha poolt tekitatud hääle kiiruse vahel sunnib meid mõnikord tahtma-

tult tegema ekslikke järeldusi, mis vahel ei vasta täiesti nähtuse tõelisele käigule.

Huvitavaks näiteks võib olla meteor (või kahuri-kuul), mis kõrgel üle meie pea lendab. Meteorid, tulnud maailmaruumist meie planeedi atmosfääri, omavad tohutut kiirust, mis isegi pärast vähenemist atmosfääri takistuse tõttu on siiski veel kümneid kordi suurem hääle kiirusest.



Joonis 156. Meteoori näiv plahvatus.

Tungides läbi õhu ja seda hõõguma pannes tekitavad meteorid sageli müra, mis meenutab kõuekõminat. Oleme, et oleme punktis C (joon. 156), ülal meie pea kohal lendab mööda sirget AB meteor. Hää, mille tekitas meteor punktis A, jõuab meieni (punkt C) alles siis, kui meteor on juba punktis B; et meteor liigub palju kiiremini kui hää, siis võib juhtuda, et tema hää punktist D jõuab meieni kiiremini kui hää punktist A. Sellepärast me kuuleme enne häält punktist D ja siis alles

punktist *A*. Et ka punktist *B* jõuab hääl meieni hiljem kui punktist *D*, siis peab kusagil meie pea kohal olema niisugune punkt *K*, millest meteoori müra jõuab meieni kõige kiiremini. Matemaatikahuvilised võivad välja arvutada selle punkti asendi, kui on teada meteoori ja hääle kiiruse vahekord.

Ja tulemus: $k u l d u e i l a n g e ü h t e n ä h t u g a . S i l m n ä e b , e t m e t e o o r h a k k a b p a i s t m a k ö i g e p e a l t p u n k t i s A j a l e n d a b e d a s i A B m ö ö d a . K ö r v k u u l e b a g a , e t m e t e o o r o n i l m u n u d k ö i g e p e a l t p u n k t i K k u s a g i l m e i e p e a k o h a l j a s i i s k u u l e m e ü h e l a j a l k a h t e h ä ä l t , m i s n ö r g e n e v a d v a s t u p i d i s t e s s u u n d a d e s : K - s t A - l e j a K - s t B - l e . T e i s t e s ö n a d e g a , m e k u u l e m e , e t m e t e o o r o l e k s n a g u l a g u n e n u d k a h e k s o s a k s , m i s e d a s i l i i g u v a d k a h e s v a s t u p i d i s e s s u u n a s . T ö e p o o l e s t , a g a m i n g i t p l a h v a t u s t p o l e t o i m u n u d . S e d a v ö r d p e t l i k u d v ö i v a d o l l a k u u l m i s m u l j e d ! V ö i b - o l l a , e t p a l j u d „ p e a l t n ä g i j a t e “ p o o l t t u n n i s t a t u d m e t e o o r i d e p l a h v a t u s e d o n n i m e l t s e d a l a a d i k u u l m i s - p e t t e d .$

Õnnelik juhuslikkus.

Kui hääl ei leviks õhus kiirusega 340 m sekundis, vaid tunduvalt aeglasemalt, siis esineks palju sagedamini nähtusi, mida võib seletada kuulmispetetega.

Oletame näiteks, et hääle kiirus pole 340 m sekundis, vaid 340 mm sekundis, s. o. vähem jalakäija kiirusest. Istudes leentoolis te kuulate oma tuttava juttu; temal aga on harjumus jutlemisel käia mööda tuba. Tavalistel tingimustel see käimine mingil määral kuulamist ei takista; hääle vähendatud kiiruse puhul te aga ei saaks mitte midagi aru oma külalise jutust: sõnad, mis on varem räägitud, jõuavad teie kõrva hiljem kui hiljem

räägitud sõnad, segunevad nendega, tekib häälte virrvarr, millel puudub igasugune mõte.

Muuseas, neil momentidel, kui teie külaline teile läheb, tulevad hääled teie kõrva vastupidises järjekorras: enne tulevad teie juurde äsjaräägitud sõnad, siis sõnad, mis on varem räägitud, siis sõnad, mis veel varem on räägitud jne.; see tuleneb sellest, et rääkija jõuab oma häälest ette, on kogu aeg sellest ees. Kõikide väljendite hulgast me saaksime aru ainult nendest, mis tagant ettepoole hääldades tähendavad sedasama ⁷⁵.

Me peaksime saatusele tänulikud olema selle õnneliku juhuse eest, et hääle kiirus on sadasid meetreid sekundis: hääle tunduvalt väiksema kiiruse puhul oleks tulnud meil loobuda suulisest kõnest. Seejuures tuleb veel arvesse võtta hääle kõrguse muutumist Doppleri printsiibi tõttu (vt. tagapool, lk. 334).

Kõige aeglasem vestlus.

Kui siiski arvate, et hääle tõeline kiirus õhus — üks kolmandik km sekundis — on alati küllaldane, siis varsti muudate oma arvamust.

Kujutlege, et Moskva ja Leningradi vahel on elektritelefoni asemel tarvitusele võetud tavaline kõnetoru, mida tarvitati varem ühenduse pidamiseks suurte äride üksikute ruumide vahel ja ka laevadel ühenduse pidamiseks masinaruumiga. Te seisate selle 650-kilomeetrise toru Leningradi otsa juures, teie sõber aga toru Moskva

⁷⁵ Täpselt rääkides, seegi pole täiesti õige: me ei häälda häälikuid üksikult, vaid terveid silpe.

otsa juures. Esitate küsimuse ja ootate vastust. Möödub viis, kümme, viisteist minutit, vastust pole. Te hakkate närvitsema ja arvate, et teie kaasvestlejaga on õnnetus juhtunud. Aga kartused on asjatud: küsimus pole veel Moskva ni jõudnud, ta on alles poolel teel. Möödub veel veerand tundi, enne kui teie sõber Moskvas teie küsimuse kätte saab ja võib vastata. Aga ka vastus nõuab enam kui pool tundi, enne kui ta Moskva vast Leningradini jõuab, nii et vastuse oma küsimusele saate mitte varem kui tunni aja pärast.

Võite kontrollida arvutust: Leningradist Moskva ni on 650 km; hääl läbib sekundis $\frac{1}{3}$ km; tähendab, linnadevahelise kauguse läbib ta umbes 2160 sekundi ehk umbes 35 minuti jooksul. Sellistel tingimustel, rääkides kogu päeva hommikust õhtuni, te saate vastastikku vahetada vaevalt 10 lauset.

Kiireimal teel.

Kuid oli aeg, mil isegi sellist teadete edasiandmise viisi loeti väga kiireks. Saja aasta eest ei unistanud veel keegi elektritelegraafist ning telefonist ja kiiruse ideaaliks loeti teate üleandmist 650 km peale paari tunni jooksul.

Räägitakse, et tsaar Paul I kroonimisel Moskvas anti teade tseremoonia algusest põhja-pealinna edasi järgmisel viisil. Kogu teel mõlema pealinna vahel seisid sõdurid, 200 m üksteisest; katedraali kella esimesel löögil laskis esimene sõdur paugu õhku; ta naaber, kuuldes signaali, laskis samuti lasu, siis kolmas sõdur ja nii edasi anti signaal kuni Leningradini (tollal Peterburg) kolme tunni jooksul. Kolm tundi pärast Moskva

kella esimest lööki mürisesid juba kahurid Petropavlovski kindluses, 650 km kaugusel.

Kui Moskva kellade helin oleks vahetult kuulda olnud Leningradis, siis see helin oleks jõudnud, nagu me juba teame, põhja-pealinna ainult pooletunnise hilinemisega. Tähendab, signaali üleandmiseks kulunud kolmest tunnist läks 2½ tundi selleks, et vastu võtta hääleastinguid ja teha vastavaid liigutusi lasuks; kui tühine see hilinemine iga sõduri puhul ka oli, tuhanded niisugused väikesed ajavahemikud andsid siiski kogusumma 2½ tundi.

Samalaadselt töötas vanal ajal ka optiline telegraaf, mis andis valgussignaale edasi lähemasse jaama, mis omakorda need edasi saatis kaugemale. Valgussignaalide edasiandmise süsteemi kasutasid tsaariajal tihti revolutsionäärid, et kaitsta pörandaaluste koosolekuid: oli välja pandud revolutsionääride ahel koosoleku kohast politseini; esimeste häirivate tunnuste ilmunisel andis see ahel koosolekule vastava teate taskulaternate valguspahvatustega.

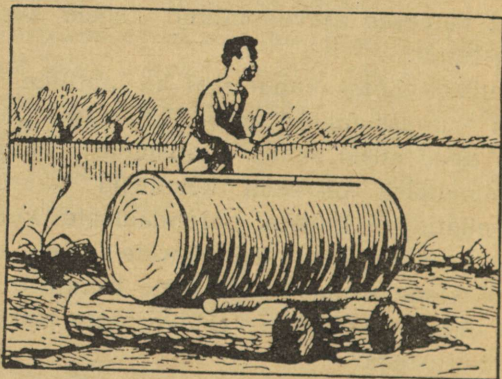
Trumm-telegraaf.

Teadete üleandmine häälesignaalide kaudu on praegugi veel levinud Aafrika, Kesk-Ameerika ja Polüneesia põliselanike seas. Põlised suguharud kasutavad selleks otstarbeks erilisi trumme, milledega antakse edasi häälesignaale suurtele kaugustele: leppesignaal, mida kuuldakse ühes kohas, korratakse teises kohas ja nii antakse signaal edasi; lühikese aja jooksul on mingi tähtis sündmus sel viisil teatavaks saanud laialdasel maa-alal (joon. 157).

Esimese Itaalia-Abessiinia sõja ajal said kõik Itaalia

sõjavägede edasiliikumised kiiresti teatavaks neegus Menelikule; see olukord pani jahmatama Itaalia sõjaväestaabi, kes polnud teadlik oma vaenlase sellise trumm-telegraafi olemasolust.

Teise Itaalia-Abessiinia sõja algul kuulutati samal viisil välja Addis Abebas väljaantud käsk üldmobilisatsiooni kohta: mõne tunni pärast sai see käsk teatavaks maa kõige kaugemates kohtades.



Joonis 157. Fidži saarte pärismaalane peab läbirääkimisi trumm-telegraafi abil.

Ka Buuri sõja ajal kasutati sama võtet: tänu kafrite „telegraafide“ levisid kõik sõjaväeteated harukordse kiirusega Kapimaa elanike seas, jõudes mõne päeva võrra ette ametlikest kullerite kaudu saadud teadaannetest.

Reisijate (Leo Frobenius) tunnistuse järgi on häälesignaalide süsteem mõnel Aafrika suguharul nii hästi välja töötatud, et seda telegraafi võib lugeda täiuslikumaks kui optilist telegraafi, mida kasutasid eurooplased kuni elektritelegraafi leiutamiseni.

Sellest kirjutatakse ühes ajakirjas järgmist. R. Haselden, Briti muuseumi arheoloog, oli Ibadā linnas, mis asetseb Nigeeria südames. Kõmavat trummipõrinat oli kuulda vahetpidamata hommikust õhtuni. Ühel hommikul teadlane kuulis, et mustad peavad millegi üle elavalt läbirääkimisi. Tema järelepärimiste peale vastas üks seersant: „Suur valgete laev on uppunud; palju valgeid on hukkunud.“ Selline oli teade, mis saadi trummikeele kaudu merekaldalt. Sellele kuuldusele ei omistanud teadlane mingit tähtsust. Kuid kolme päeva pärast sai ta hilinenud (ühenduse katkemise tõttu) telegrammi „Louisitania“ hukust. Siis ta nägi, et neegrite teade oli õige ja see teade „mürises“ trummikeeles läbi kõigi maade Kairost kuni Ibadāni. See oli seda imelikum, et suguharud, kes teadet edasi andsid, räägivad täiesti erinevaid keeli ja mõned neist sõdisid teineteisega sel ajal.

Häälepilved ja õhukaja.

Hääl peegeldub mitte ainult tahketelt tõketelt, vaid ka sellistelt õrnadelt moodustistelt, nagu pilved. Veel enam: isegi täiesti läbipaistev õhk võib teatavil tingimustel peegeldada häälelaineid, nimelt siis, kui ta häälejuhtivuse poolest erineb kuidagi õhu ülejäänud massist. Siin toimub nähtus, mis on sarnane sellega, mida optikas nimetatakse täielikuks peegeldumiseks. Hääl peegeldub nähtamatult tõkkelt ja me kuuleme salapäraselt kaja, mis tuleb teadmata kust.

Tyndall avastas juhuslikult selle huvitava nähtuse, kui ta mere kaldal tegi katseid häälesignaalidega. Ta kirjutab: „Täiesti läbipaistev õhk andis kaja. See kaja tuli nagu nõidusest nähtamatuilt häälepilvedelt.“

Häälepilvedeks nimetab kuulus inglise füüsik neid kohti läbipaistvas õhus, mis takistavad hääle levimist ja sunnivad häält peegelduma, tekitades õhukaja. Ta kirjutab selle kohta järgmist:

„Häälepilvi on õhus alati olemas. Neil pole vähimatki seost tavaliste pilvede, udu ja sombaga. Kõige läbipaistvam atmosfäär võib nendega täidetud olla. Nii võib tekida õhukaja; valitseva arvamuse kiuste võib õhukaja esineda kõige selgemas atmosfääris. Selliste õhukajade olemasolu on kindlaks tehtud vaatluste ja katsetega. Neid võivad tekitada õhuvoolud, mis pole ühesuguselt soojendatud, või jälle sellised, mis ei sisalda ühepalju veeauru.“

Häälele läbitungimatute häälepilvede olemasolu selektab üksikuid salapäraseid lahingute ajal vaadeldavaid nähtusi. Tyndall toob väljavõtte 1871. a. Prantsuse-Preisi sõjast osavõtja mälestustest.

„Kuuenda kuupäeva hommik oli täielik vastand eelsele hommikule. Eile oli läbitungiv külm ja udu, mis ei võimaldanud midagi näha poole miilinigi. 6-ndal oli aga selge, hele ja soe. Eile oli õhk täis hääli, täna aga valitses Arkaadia vaikus, mis sõdadest midagi teada ei tahtnud. Meie vaatasime imestunult üksteisele otsa. Kas tõesti on jäljetult kadunud Pariis, selle fordid, suurtükid, tulistamine? ... Ma sõitsin Montmorency'sse, kust avanes silmadele Pariisi põhjapoolse osa suurepärase panoraam. Kuid ka siin valitses vaikus... Ma kohtasin kolme sõdurit, kellega hakkasin arutlema üldist olukorda. Nad olid valmis arvama, et on alanud rahuläbirääkimised, sest hommikust saadik polnud kuulda ühtki lasku...

Ma siirdusin edasi Honesse'i. Imestunult sain teada, et saksa patareid tulistavad hommikust kella kaheksast

saadik. Lõunapoolisel küljel algas tulistamine umbes samal ajal. Kuid Montmorency's polnud kuulda ühtki häält! . . . Kõik see olenes õhust: täna ta juhtis häält niisama halvasti, kuivõrd ta tegi seda eile hästi."

Samasuguseid nähtusi vaadeldi rohkem kui kord ka 1914.—1918. a. suurte lahingute ajal.

Hääletud helid.

On inimesi, kes ei kuule selliseid lõikavaid hääli, nagu kilgi siristamist või nahkhiire piuksumist. Need inimesed pole kurdid, nende kõrvad on korras, aga siiski ei kuule nad väga kõrgeid hääli. Tyndall väidab, et üksikud inimesed ei kuule isegi varblaste sädistamist!

Üldiselt me kõrv ei taju kõiki meie ümber olevaid õhuvõnkumisi. Kui keha teeb sekundis vähem kui 16 võnget, siis ei kuule me häält. Kui võngete arv on suurem 15—22 tuhandest, me samuti häält ei kuule. Ülemine häälte tajumise künnis on erinev üksikutel inimestel; vanadel inimestel alaneb ta kuni 6 tuhande võnkeni sekundis. Seepärast võib esineda imelik nähtus, et läbitungiv kõrge toon on ühele isikule selgesti kuuldav, teisele aga pole seda olemas.

Paljud putukad (näiteks sääsk, kilk) tekitavad hääli, millele toon vastab 20 tuhandele võnkele sekundis; mõnedele kõrvadele on need hääled olemas, mõnedele mitte. Selliseid kõrgeid toone mittetajuvad inimesed võivad mõnulda täielikus vaikuses seal, kus teised kuulevad terve kaose läbitungivaid hääli. Tyndall räägib, et temaga juhtus selline asi kord jalutuskäigul oma sõbraga Šveitsis: „Niidud tee mõlemal pool kihasid putukaist, kes minu kõrvadele täitsid õhu oma terava

suminaga, minu sõber kõike seda aga ei kuulnud: putukate muusika oli talle väljaspool tema kuulumiskünnist.“

Nahkhiire piuksumine on terve oktaavi võrra madalam putukate läbitungivast laulust, s. o. õhuvõngete sagedus on siin kaks korda väiksem. On aga olemas inimesi, kelle kuulumiskünnis on madalam, neile on nahkhiired hääletud olevused.

Seevastu aga koerad, nagu see on kindlaks tehtud akadeemik Pavlovi laboratooriumis, võivad tajuda hääli sagedusega kuni 38 tuhat võnget sekundis.

Ultrahääli tehnika teenistuses.

Meie päevade füüsika ja tehnika on võimelised tekitama „hääletuid hääli“ palju suurema sagedusega kui see, millest oli praegu jutt: nende ultrahääli võngete arv sekundis ulatub kuni 700 000. Säärane „toon“ on umbes 18 oktaavi võrra kõrgem kõrgeimast klaveritootist „la“, mille võngete arv sekundis on 3480.

Ultrahääli saamine põhineb kvartsikristallist teatud viisil väljalõigatud plaatide omadusel: kui avaldada rõhku neile plaatidele, nende tahud elektriseeruvad⁷⁶; kui nüüd, vastupidi, sellise plaadi pindu perioodiliselt elektriseerida, siis elektrilaengute mõjul plaat tõmbub vaheldumisi kokku ja paisub, seega võngub — saadakse ultrahääli. Plaadi laadimist teostatakse raadio-teenikas kasutatava lamp-generaatori abil; generaatori sagedus valitakse vastavalt plaadi nn. omasagedusele.

Kuigi ultrahääli on hääletud, avaldavad nad oma mõju teiste, väga tuntavate toimete kaudu. Kui näiteks asetada võnkuv plaat anumasse õliga, siis ultravõngete

⁷⁶ Seda kristalli omadust nimetatakse piesoelektriks.

mõju all oleva vedeliku pind puhetub 10 cm kõrguseni ja õlipiisad paiskuvad üles kuni 40 cm kõrguseni. Pannes niisugusesse õlivanni ühe meetri pikkuse klaastoru ühe otsa, me tunneme käes, milles on teine ots, tugevat, nahale jälgi jätvat põletist. Kokkupuutel puiduga põletab võnkuv toru ots sellesse augu; ultrahäälte energia muundub soojuseks. Kõrgeid võnkumisi kasutatakse betooni tihendamiseks jne.

Ultrahääli uuritakse praegusel ajal hoolikalt nõukogude ja välismaiste teadlaste poolt. Need võnkumised avaldavad tugevat mõju elavale organismile: vetikate kiud rebenevad, loomarakukesed lõhkevad, verelibled lagunevad; väikesed kalad ja konnad surmatakse ultrahäälte poolt 1—2 minuti jooksul; katselooma temperatuur tõuseb, hiire puhul näiteks 45° C võrra. Edaspidi etendavad ultrahääled tõenäoliselt tähtsat osa ka arstiteaduses; kuulmatud ultrahääled jagavad nähtamatute ultravioletsete kiirte saatust, tulles appi ravimisele.

Tehnika kasutab juba praegugi ultrahääli. Nende abiga saavad laevad uduse ilmaga kaldalt hoiatavaid veealuseid signaale. Neid kasutatakse vaenlaste allveelaevade leidmiseks.

Iseäranis edukalt rakendatakse ultrahääli metallurgias ebaühtlaste kohtade, õhumullide, mõrade ja teiste puuduste avastamiseks metallis. Metall ultrahäältega „läbivalgustamise“ menetlus, mis on läbi töötatud meie raadio-kesklaboratooriumi poolt, seisneb selles, et katsetatav metall kaetakse õliga ja allutatakse siis ultrahäälte mõjule. Metall ebaühtlased kohad hajutavad häält, tekitades nagu häälevarju; ebaühtlased kohad joonestuvad nii selgelt metalli katva õlipinna ühtlase virvenduse taustal, et tekkinud pilti on võimalik isegi fotografeerida.

Ultrahäälega võib „läbi valgustada“ metalli paksuseni kuni meeter ja enam, mis on täiesti kättesaamatu läbi-
valgustamisel röntgenikiirtega; seejuures avastatakse
väga väikesedki häired — kuni ühe millimeetrini. Pole
kahtlust, et ultrahäälel on suur tulevik.

Liliputlaste ja Gulliveri hääl.

Nõukogude filmis „Uus Gulliver“ on liliputlastel vas-
tavalts nende kõri väikestele mõõtmetele kõrge hääl, aga
hiiglasel Petjal madal hääl. Ülesvõtmisel rääkisid lili-
putlaste osi täiskasvanud näitlejad, aga Petja osa laps;
kuidas siis saavutati nõutav muutumine hääles? Ma olin
täiesti imestunud, kui näitejuht Ptuško mulle ütles, et
osade mängijad ülesvõtmisel tarvitasid oma loomulikku
häält; tooni muutumine ülesvõttel saavutati originaalse
võttega, mis on rajatud hääle füüsikalistele iseärasus-
tele.

Selleks et teha liliputlaste hääled kõrgeks, Gulliveri
hääl aga madalaks, registreeris filmi režissöör liliput-
lasi mängivate näitlejate hääled filmi aeglustatud
liikumisel, Petja hääle aga filmi kiirendatud liiku-
misel. Linale projekteeritakse film normaalse kiirusega.
Pole raske aru saada, mis peab nüüd toimuma. Kuulaja
tajub liliputlaste häält normaalsega võrreldes tihene-
nud hääle võngete vaheldumises; selle tagajärjel toon
peab tõusma. Petja hääl, vastupidi, tajutakse aeg-
lustunud võngete vaheldumises ja seega toon peab
madalduma. Tulemusena kõnelevad liliputlased
„Uues Gulliveris“ tooniga, mis on kvindi võrra kõr-
gem normaalse täiskasvanud inimese häälest, aga Gul-
liver ise — Petja — kvindi võrra madalamal nor-
maalsest häälest.

Nii on omapäraselt ära kasutatud „aegluupi“ hääle jaoks. Seda nähtust võib sageli täheldada, kui lastakse kinofilmil liikuda suurema või väiksema kiirusega kui normaalne kiirus (78 tiiru minutis).

Kellele ilmub igapäevane ajaleht kaks korda päevas?

Nüüd võtame arutlusele ühe ülesande, millel esimesel pilgul pole mingit ühendust ei hääle ega üldse füüsikaga. Siiski, ma palun teid kinkida sellele tähelepanu: ta aitab kergemini selgitada edaspidist.

Tõenäoliselt olete juba kokku puutunud ühega selle ülesande paljudest teisenditest. Leningradist sõidab välja igal keskpäeval rong Vladivostokki (seda pole, oletagem aga, et see on nii). Ja samuti igal keskpäeval sõidab Vladivostokist välja rong Leningradi. Sõit kehtku, ütleme, 20 päeva. Küsitakse: mitu kaugesõidurongi te kohtate sõidul Vladivostokist Leningradi?

Kõige sagedamini vastatakse: 20. Nõnda vastasid isegi mõned teadlased, kui matemaatikute kongressil üks esitas eine ajal selle küsimuse teistele. Kuid see vastus pole õige: teie ei kohta mitte ainult neid 20 rongi, mis lähtuvad Leningradist p ä r a s t teie väljasõitu, vaid ka neid 20, mis olid juba teel teie ärasõidu momendiks. Järelikult, õige vastus on 40, mitte aga 20.

Edasi, iga Leningradi rong toob kaasa pealinna ajalehtede värsked numbroid. Ja kui te tunnete huvi Leningradi uudiste vastu, siis muidugi ostate neid õhinaga jaamades. Mitu värsket numbrit te saate osta nende 20 sõidupäeva jooksul?

Nüüd ei tee teile raskusi anda õige vastus: 40. Sest on ju igal teile vastutuleval rongil kaasas värsked ajalehed ja et te kohtate 40 rongi, siis ajalehti loete ka 40.

Teie reisite 20 päeva, tähendab, te loete igapäevast ajalehte kaks korda päevas.

Tulemus on veidi ootamatu ja teie võib-olla ei lepiks sellega, kui teil ei õnnestuks tegelikkuses veenduda selle õigsuses. Meenutage kasvõi seda, et kaks päeva kestval sõidul Sevastopoolist Leningraadi te saite lugeda Leningradi ajalehti mitte 2, vaid 4 päeva eest: need kaks numbrit, mis olid ilmunud Leningradis kuni teie väljasõiduni ja kaks numbrit, mis ilmuvad teie kahepäevase sõidu ajal.

Nüüd te teate siis, kellele ilmuvad pealinna igapäevased ajalehed kaks korda päevas: kõikidele pealinna sõitvate rongide reisijaile.

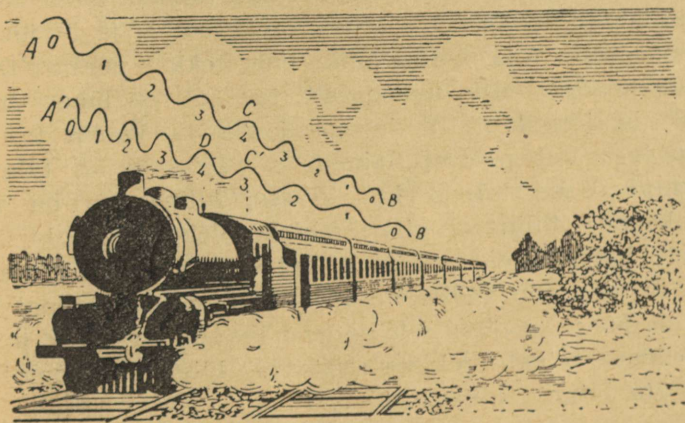
Ulesanne veduriviledest.

Kui teil on arenenud muusikaline kuulmine, siis tõenäoliselt olete täheldanud, kuidas muutub vedurivile toon (mitte valjus, vaid nimelt toon, selle kõrgus), kui vastutulev rong teie rongist mööda kihutab. Seni, kuni rongid lähenevad teineteisele, on toon märgatavalt kõrgem sellest toonist, mida te kuulete siis, kui rongid kaugenevad teineteisest. Kui rongid liiguvad kiiresti (50 km tunnis), siis vahe toonis võib ulatuda täistoonini.

Millest see tuleb?

Teil pole raske aimata põhjust, kui meenutate, et tooni kõrgus oleneb võngete arvust sekundis; viige aga see asjaolu ühendusse eelmise ülesande arutlusega. Vastutuleva veduri vile annab kogu aeg sama tooni teatava kindla võngete arvuga. Teie kõrv aga tajub muutlikku võngete arvu, vastavalt sellele, kas liigute vastu, seisate kohal või eemaldute võngete tekitajast.

Ja taoliselt sellele, et sõites Leningradi te loete aja-
lehte enam kui üks kord päevas, ka siin, liikudes vastu
hääle allikale, te tajute võnkeid tihedamalt, kui
neid vedurivile välja laseb. Aga siin te
enam ei arutle: teie kõrv saab suurendatud võn-
gete arvu ja te kuulete kõrgenenud tooni
vahetult. Kaugenedes saate te vähem võnkeid ja kuu-
lete madaldunud tooni.



Joonis 158. Ülesanne veduriviledest. Ülal — häälelained liikumatult vedurilt, all — vedurilt, mis liigub paremalt pahemale.

Kui see seletus pole teid lõplikult veennud, katsuge vahetult jälgida (muidugi mõttes) häälelainete levimist vedurivilest. Oletage algul, et vedur on paigal (joon. 158). Vile tekitab õhulaineid ja me vaatleme lihtsuse mõttes ainult 4 lainet (vaata ülemist lainelist joont): liikumatult vedurilt levivad lained ühe ja selle sama aja jooksul igas suunas ühekaugusele. Laine nr. 0 jõuab vaatlejani A samal ajal kui vaatlejani B; siis

jõuavad mõlema vaatlejani üheaegselt laine nr. 1, nr. 2, siis nr. 3 jne. Mõlema vaatleja kõrvad saavad sekundis ühepalju võnkeid ja seepärast kuulevad nad üht ja sedasama tooni.

Olukord on teissugune, kui vilistav vedur liigub B -st A -sse (alumine laineline joon). Asetegu vile teataval momendil punktis C' ja ajavahemikus, milles ta laskis välja neli lainet, on ta liikunud punkti D .

Nüüd jälgige, kuidas levivad häälelained. Laine nr. 0, mis lähtus punktist C' , jõuab vaatlejate A' ja B' juurde üheaegselt. Aga neljas laine, mis tekkis punktis D , ei jõua nende juurde üheaegselt: tee DA' on lühem teest DB' ja järelikult A' juurde jõuab ta varem kui B' juurde. Vahepealsed lained, nr. 1 ja nr. 2, tulevad samuti B' -sse hiljem kui A' -sse, hiline mine on aga väiksem. Milline on siis järeldus? Vaatleja punktis A' tajub häälelaineid sagedamini kui vaatleja punktis B' : esimene vaatleja kuuleb kõrgemat tooni kui teine. Nagu on jooniselt kerge näha, on punkti A' poole liikuvate lainete pikkus vastavalt lühem B' poole liikuvate lainete pikkusest ⁷⁷.

Doppleri nähtus.

Äsjakirjeldatud nähtuse avastas füüsik Doppler, ja see ongi jäänud seotuks selle õpetlase nimega. See esineb mitte ainult hääle, vaid ka valguskiirte puhul, sest ka valgus levib lainetena. Valguslainete sagedamaks

⁷⁷ Tuleb silmas pidada, et lainelised jooned joonisel ei kujuta sugugi õigesti häälelainete iseloomu: õhuosakeste võnkumine toimub pikuti hääle levimissuunaga, mitte aga risti. Näitlikkuse mõttes on lained kujutatud ristlainetena.

muutumine (mis hääle puhul tajutakse tooni kõrgenemisenena), väljendub valguse puhul värvuse muutumisenena silmale.

Doppleri printsiip annab astronoomidele suurepärase võimaluse mitte ainult otsustada, kas taevakeha läheneb meile või kaugeneb meist, vaid määrata ka selle liikumise kiirust.

Selle printsiibi puhul on astronoomile tähtis spektrit läbistavate tumedate joonte nihkumine ühele või teisele poole. Tähelepanelik uurimine, kuhupoole ja kui palju on nihkunud taevakeha spektris tumedad jooned, lubas astronoomidel teha terve hulga imestama panevaid avastusi. Nii, tänu Doppleri printsiibile, teame me nüüd, et hele täht Siirius kaugeneb meist igas sekundis 75 km. See täht on meist nii tohutult kaugel, et isegi kaugenemine miljardite kilomeetrite võrra ei vähenda tema nähtavat heledust tunduvalt. Meie võib-olla ei olekski kunagi teada saanud selle taevakeha liikumist, kui siin poleks abiks tulnud Doppleri nähtus.

See näide tõestab imestamisväärse näitlikkusega, kui võrd kõik ehõlmav teadus on füüsika. Püstitanud seaduse häälelainete kohta, mille pikkus ulatub mitme meetrini, füüsika rakendab seda seadust väikesetele valguslainetele, millede pikkus on ainult mõni kümnetuhandik millimeetrist, ja kasutades seda, määrab gigantsete päikeste kiireid liikumisi maailma-ruumi uskumatuis kaugustes.

Uhe trahvi ajalugu.

Kui Doppler esmakordselt (1842. a.) tuli mõttele, et vaatleja ja hääle- või valgusallika vastastikuse lähene-
mise või kaugenemisega peab kaasnema tajutavate

hääle- või valguslainete pikkuse muutumine, tegi ta julge oletuse, et nimelt selles peitubki tähtede värvuse põhjus. Ta arvas, et kõik tähed iseendast on valged; nad paistavad meile värvilistena seepärast, et nad liiguvad kiiresti meie suhtes. Kiiresti lähenevad valged tähed saadavad meile lühendatud valguslaineid, mis kutsuvad esile roheline, sinine või violetse värvuse aistingud; vastupidi, kiiresti kaugenevad valged tähed paistavad meile kas kollastena või punastena.

See oli küll originaalne, kuid kahtlemata väär mõte. Selleks et silm võiks näha tähtede värvuse muutumist, mis on tingitud liikumisest, tuleb tähed varustada tohutute kiirustega — kümned tuhanded kilomeetrid sekundis. Aga ka see ei oleks osutunud piisavaks: asi seisneb selles, et läheneva valge tähe, näiteks siniste kiirte muutumine violetseks on üheaegne roheline värvuse muutumisega siniseks, violetse värvuse muutumisega ultravioletseks, infrapunase spektri osa muutumisega punaseks; ühe sõnaga, valge kiire koostis jääb muutumatuks ja hoolimata spektri kõikide värvuste kõrvale nihkumisest ei peaks silm märkama mingit vahet üldises värvuses.

Teine asi on vaateleja suhtes liikuvate tähtede spektri tumedate joonte nihkumisega; neid nihkumisi võib hästi määrata täpsete riistade abil ja nende nihkumiste põhjal võib määrata tähtede liikumise kiirust vaatekiire suunas. (Hea spektroskoobiga võib määrata tähe kiirust, mis võrdub isegi 1 km-ga sekundis.)

Doppleri eksimus tuli meelde füüsiku Wood'ile, kui teda kord *policeman* (ameerika militsionäär) karistada tahtis selle eest, et ta, hoolimata punasest signaalist, ei peatanud oma kiiresti sõitvat autot. Nagu räägitakse, olevat Wood siis hakanud korralvurile selgeks

tegema, et kiirel sõidul signaalile vastu paistab punane värvus rohelisena. Kui *policeman* oleks tundnud füüsikat, siis oleks ta võinud arvutada, et teadlase sõnade õigustamiseks oleks auto pidanud liikuma täiesti kujutletamatu kiirusega, nimelt 135 miljonit km tunnis.

Siin on arvutus. Kui tähistame l -ga valgusallika poolt (antud juhul signaallaterna poolt) saadetud valguslaine pikkuse, l' -ga lainepikkuse, mille vastu võttis vaatleja (professor autos), v -ga auto kiiruse ja c -ga valguse kiiruse, siis seos nende suuruste vahel on järgmine:

$$\frac{l}{l'} = 1 + \frac{v}{c}.$$

Teades, et lühim laine, mis vastab punasele värvusele, on 0,00063 mm pikk, rohelise värvuse pikim laine on 0,00056 mm pikk ja valguse kiirus on 300 000 km sekundis, asetame need suurused valemisse. Saame:

$$\frac{0,00063}{0,00056} = 1 + \frac{v}{300\,000},$$

siit auto kiirus

$$v = \frac{300\,000}{8} = 37\,500 \text{ km sekundis ehk}$$

135 000 000 km tunnis. Sellise kiiruse puhul eemalduks Wood ühe tunni jooksul *policeman*'ist peaaegu niisama kaugemale kui Päike. Räägitakse, et teda trahviti siiski „lubatud kiiruse ületamise eest“.

Hääle kiirusega.

Mida teie kuuleksite, kui eemalduksite mängivast orkestrist hääle kiirusega? Inimene, kes sõidab välja Leningradist postirongiga, näeb kõikides jaamades aja-

lehemüüjatel Leningradi üht ja seda sama ajalehenumbrit, nimelt numbrit, mis ilmus reisija väljasõidupäeval. See on ka arusaadav, sest ajalehenumbrid sõidavad sama rongiga, mis reisijagi, värsked numbrid on aga rongides, mis sõidavad reisija taga. Sel alusel võib ehk järeldada, et eemaldudes orkestrist hääle kiirusega, me kuuleme kogu aja üht ja seda sama nooti, mida mängis orkester meie liikumise hetkel.

Siiski pole see järeldus õige; kui te eemaldute hääle kiirusega, siis häälelained on teie suhtes paigal, ei mõju teie kõrva trumminahale ja järelikult te ei kuule mingit häält. Teile näib, et orkester on lakanud mängimast.

Aga mispärast võrdlus ajalehtedega viis teisele vastusele? Lihtsalt sellepärast, et me antud juhul rakendasime arutlust analoogia põhjal valesti. Reisija, kes kõikides jaamades leiab ees ajalehe samu numbreid, otsustab (s. o. ta võiks otsustada, kui ta on unustanud selle, et ta liigub), et ühte numbrite ilmumine tema sõidu lähtekohas on seisma jäänud alates tema väljasõidu päevast. Talle paistab, et ajalehtede kirjastused on lõpetanud oma töö nagu orkester oma mängu kuulajale, kes eemaldub orkestrist hääle kiirusega.

Vaatamata sellele, et küsimus oma olemuselt polegi nii keeruline, võivad huvitaval kombel isegi teadlased seejuures segamini minna. Vaidluses minuga — ma olin siis veel õpilane — üks praegu juba surnud astronoom ei leppinud eelmise ülesande sellise lahendusega ja väitis, et eemaldudes orkestrist hääle kiirusega me peame kuulma kogu aeg üht ja seda sama nooti. Ta tõestas järgmise arutlusega, et tal olevat õigus (toon väljavõtte tema kirjast):

„Helisegu teatava kõrgusega noot. Ta on nii ikka helisenud ja heliseb nii ka edaspidi, määramatult. Kuu-

lajad, kes on paigutatud ruumi, kuulevad seda järjest ja oletame, et mitte nõrgendatult. Mispärast teie ei kuule seda nooti, kui teie hääle või isegi mõtte kiirusega satute mistahes kuulaja kohale?"

Samuti tõestas ta, et vaatleja, kes eemaldub välgust valguse kiirusega, peab kogu aeg nägema välku:

„Kujutlege,“ kirjutas ta mulle, „pidevat silmade rida ruumis. Nad kõik saavad üksteise järel valgusaistinguid; nüüd oletame, et te mõttes saate järjestikku olla igaühe silma kohal — ja ilmselt te näete kogu aeg välku.“

On enesestmõistetav, et see ja ka teine väide on väärad: mainitud tingimustel me ei kuule häält ega näe välku. Muuseas selgub see ka valemist; kui valemisse panna v asemele c , siis tajutava laine pikkus l' muutub lõpmatuks, mis on samaväärne lainete puudumisega.

„Huvitav füüsika“ on lõpetatud. Kui ta äratas lugejas soovi lähemalt tutvuda tolle teaduse laialdaste aladega, millest on ammutatud see kirju käputäis lihtsamaid teateid, siis on autori ülesanne täidetud, siht on saavutatud ja rahuldustundega paneb ta viimase punkti pärast sõna „lõpp“.

Sada küsimust „Huvitava füüsika“ teise raamatu kohta.

1. Kas on õhupallilt näha Maakera pöörlemist?
2. Kas kukub lennul lenduri käest lahtilastud kivi püsti ülalt alla?
3. Kas on võimalik korraldada seda, et reisijad võiksid ohutult lahkuda rongilt selle täiel käigul?
4. Kui jäälõhkuja löikab jääd oma käilaga, kas siis tema mõju võrdub jää vastumõjuga?
5. Mispärast tõuseb rakett õhku? Kas süüdatud rakett lendaks üles ka õhuta ruumis?
6. Kas on olemas loomi, kes liiguvad raketitaoliselt?
7. Kas mitmele poole suunatud tungid ei pane alati keha liikuma?
8. Mispärast on võlv tugevam tasasest laest?
9. Kuidas paneb tuul liikuma purjepaadi?
10. Kas oleks võimalik tõsta Maakera, omades pikka kangi ja toetuspunkti?
11. Millega seletada, et sõlm hoiab tugevasti kinni seotud nõõri?
12. Kas saaks kasutada sõlmi, kui poleks hõõrdumist?
13. Näidake hõõrdumise puudumise kasulikkust ja kahjulikkust!
14. Kui põrandahari on tasakaalustatud toolileenil, milline harja osa on raskem: kas lühike või pikk?

15. Mispärast pöörlev vurr ei kuku ümber?
16. Millal vesi ei voola välja kummutatud klaasist?
17. Millal vaba kera ei veere alla kaldpinnalt?
18. Kus on raskustung suurem: kas Leningradis või Moskvast?
19. Mispärast me ei tähelda toaesemete vastastikust külgetõmmet?
20. Kui suure hüppe teeksite Kuul?
21. Kui kõrgele tõuseks Kuu peal moodsa vintpüssi kuul, mis on lastud püsti alt üles? Kuuli algkiirus on 900 m sekundis.
22. Kui Maakera läbi puurida diameetrit mööda ja saadud šahti visata kaaluviht, kus kohal peatuks ta õhutakistuse puudumisel?
23. Kuidas tuleb kaevata tunnel läbi mäe, et vihma- vesi teda ei uputaks?
24. Kas võib Maakeralt visata mingi keha nõnda, et ta ei kukuks tagasi maapinnale?
25. Missugustes vetes NSV Liidu territooriumil ei upu isegi ujuda mitteoskav inimene?
26. Kuidas jäälõhkuja lõhub jääd?
27. Kas uppunud laevad vajuvad mere põhjani?
28. Millist füüsikaseadust rakendati „Sadko“ tõstmisel?
29. Kes võttis vene keeles tarvitusele sõnad „gaas“, „materია“, „atmosfäär“, „baromeeter“?
30. Milles seisneb „ülesanne vesistust“ ja kas lahendavad kooliõpikud seda ülesannet õigesti?
31. Kas võib korraldada nii, et vedelik voolaks anumast välja raugematu joana?
32. Kas magdeburgi poolkerad eemalduksid teineteisest, kui nende külge oleks kummalegi poole

- rakendatud mitte 8 hobust, vaid 8 elevanti, arvestades, et elevant on viis korda tugevam hobusest?
33. Kuidas seletada pulverisaatori toimet?
 34. Mispärast kaks kõrvuti ujuvat laeva tõmbavad teineteist vastastikku külge?
 35. Millist osa etendab kala ujumisel ujupõis?
 36. Millist kaht vedelike voolamise viisi eristatakse füüsikas?
 37. Mispärast väljub suits vabrikukorstnast rõngastena?
 38. Mispärast tuule käes lehvib lipp laineliselt?
 39. Mispärast tekivad kõrveliival lained?
 40. Mitme meetri võrra tuleb tõusta õhku, et rõhk väheneks ühe tuhandiku võrra?
 41. Kas Mariotte'i seadus on rakendatav õhu kohta, kui rõhk on 500 atmosfääri?
 42. Kas termomeeter näitab tuulise ilmaga madalamat temperatuuri, võrreldes sellega, mida ta näitaks tuule puudumisel?
 43. Mispärast on pakane tuulise ilmaga raskemini talutav kui vaikse ilmaga?
 44. Kas kuuma ilmaga toob tuul alati jahedust?
 45. Millele on rajatud jahendavate kruuside toime?
 46. Kuidas ehitada külmutuskapp ilma jääta?
 47. Kas meie organism saab taluda 100⁰-list kuumust?
 48. Mispärast on 36⁰-line kuumus Taškendis kergemini talutav kui 24⁰-line soojus Leningradis?
 49. Milleks on petrooleumilambil klaas?
 50. Mispärast põlemisel tekkinud gaasid ei kustuta petrooleumilampi või küünalt?
 51. Kuidas põleks leek raskustungi puudumisel?
 52. Kuidas soojeneks vesi priimusel raskustungi puudumisel?

53. Mispärast vesi kustutab tuld?
54. Millele on rajatud stepitulekahju kustutamine rohu süütamisega?
55. Kas hakkab vesi keema anumas, mida soojendatakse keeva veega?
56. Kas külmub vesi pudelis, mis on ümbritsetud vee ja jää seguga?
57. Kas vesi võib keema hakata toatemperatuuril?
58. Kuidas määratakse termomeetriga õhurõhumist?
59. Kas on olemas kuuma jääd?
60. Millised magnetid on tugevamad: kas loomulikud või kunstlikud?
61. Missuguseid metalle peale raua tõmbab magnet külge?
62. Kas on olemas metalle, mida tugev magnet eemale tõukab?
63. Kas magnet mõjub vedelikusse ja gaasidesse?
64. Millist tehnilist rakendamist leiab magneti toime kaarleegile?
65. Milline külgetõmme on tugevam: kas raua tõmme magneti poolt või magneti tõmme raua poolt?
66. Milline meeleorgan tajub magnetitungi mõju?
67. Kas elektromagnetilise tõstekraanaga on võimalik tõsta hõõguvaid rauatükke?
68. Mispärast on kuldkella ohtlik lähendada magnetile? Missugustele kelladele pole see ohtlik?
69. Mis on raadiumikell? Kas võib seda nimetada „igaveseks jõumasinaks“?
70. Kuidas määratakse mineraalide ja Maa vanust radioaktiivsete ainete lagunemise põhjal?
71. Mispärast võivad linnud ohutult istuda kõrgepingeliini juhtmetel?
72. Kui kaua kestab välk?

73. Millise nurga all tuleb asetada nurkpeegli peeglid, et ese annaks selles seitse kujutist?
74. Mis vahe on päikesemootori ja päikeselise soojendaja vahel?
75. Mis on „heliotehnika“?
76. Mispärast on kalade silmalääts ümmargune?
77. Kas võib sukeldudes vette lugeda seal raamatukirja?
78. Kes eraldab vee all esemeid paremini: tuuker kiivriga peas või vette sukeldunud inimene ilma kiivrita?
79. Kas kaksikkumer lääts võib olla vähendusklaasiks? Aga kaksiknõgus lääts — suurendusklaasiks?
80. Mispärast paistab tiigi põhi tõstetuna?
81. Mis on piirnurk?
82. Mis on täielik peegeldumine?
83. Kas kaladele on nende hõbedane värvus kasulik?
84. Mis on meie silma pimetähn? Kuidas veenduda selle olemasolus?
85. Mis on vaatenurk?
86. Kui kaugel silmast tuleb hoida ühekopikalist raha, et ta just kataks kinni täiskuu?
87. Kui palju eemalduvad üheminutilise nurga haarad 10 m kaugusel tipust?
88. Jupiteri läbimõõt on umbes kümme korda suurem Maa läbimõõdust. Kui kaugel meist asetseb see planeet, kui tema ketas on nähtav 40''-lise nurga all?
89. Kuidas tuleb aru saada väljendusest: „mikroskoop suurendab 300 korda“, „teleskoop lähendab 500 korda“?
90. Mispärast pöörlevad kinofilmis auto rattad sageli vastupidiselt, kuigi auto kihutab edasi?

91. Kas võib teha nii, et kiiresti pöörlev rihmaseib näiks silmale seisvana?
92. Kas on õige, et jänes näeb pead pööramata esemeid, mis on tema taga?
93. Kas on õige, et „öösiti on kõik kassid hallid“?
94. Mis levib kiiremini: kas raadiosignaal või hääl õhus?
95. Mis liigub kiiremini: püssikuul või lasu pauk?
96. Milliseid häälevõnkeid ei taju meie kõrv?
97. Kas hääletutel häältel on tehnilist rakendust?
98. Mis on häälepilv?
99. Kuidas muutub läheneva veduri vile toon?
100. Mida kuuleksime, eemaldudes orkestrist hääle kiirusega?

Sisukord.

	Lk.
Eessõna kolmeteistkümnendale trükile	3
Esimene peatükk. Mehhaanika põhiseadused	5
Odavaim reisimisviis	5
„Maa, peatu!“	7
Kiri lennukilt	10
Pommitamine	12
Peatusteta raudtee	14
Tuleviku tänavad	17
Õnnetuste ennetamine	18
Mõistetamatu seadus	19
Mispärast hukkus hiiglane Svjatogor?	22
Kas saab toetuseta liikuda?	23
Miks lendab raket üles?	24
Kuidas liigub seepia?	28
Raketil tähtede poole	29
Teine peatükk. Tung. Töö. Hõõrdumine	32
Ülesanne luigest, vähist ja havist	32
Krõlovi kiuste	34
Kas on kerge munakoort kokku pigistada?	37
Purjedega vastu tuult	39
Kas Archimedes oleks saanud tõsta Maad?	42
Jules Verne'i jõumees ja Euleri valem	44
Millest oleneb sõlmede tugevus?	48
Kui poleks hõõrdumist	48
„Tšeljuskini“ huku füüsikaline põhjus	51
Iseennast tasakaalustav kepp	54
Kolmas peatükk. Ringliikumine	57
Mispärast pöörlev vurr ei kuku ümber?	57
Žonglööride kunst	59

	Lk.
Kolumbuse ülesande uus lahendus	61
Hävitatud raskus	63
Olete Galilei osas	66
Minu vaidlus teiega	68
Meie vaidluse lõpp	69
„Nõiutud“ keras	70
Vedel teleskoop	75
„Kuradisõlm“	77
Matemaatika tsirkuses	78
Puudujääk kaalus	81
Neljas peatükk. Kogumaailmne masside külgetõmme	84
Kas tõmbetung on suur?	84
Terasköis Maast Päikeseni	87
Kas saab ennast varjata raskustungi eest?	88
Kuidas Wells'i kangelased lendasid Kuule	90
Pool tundi Kuul	91
Tulistamine Kuu peal	93
Põhjatus kaevus	95
Muinasjutuline tee	99
Kuidas ehitatakse tunneleid	101
Viies peatükk. Reis kahurikuulis	103
Newtoni mägi	103
Fantastiline kahur	106
Raske kübar	107
Kuidas nõrgendada pörget?	108
Matemaatikasõpradele	110
Kuues peatükk. Vedelike ja gaaside omadused	112
Meri, milles ei saa uppuda	112
Kuidas töötab jäälõhkuja?	116
Kus asetsevad uppunud laevad?	118
Veealused vabrikud	121
Kuidas teostusid Jules Verne'i ja Wells'i unistused	122
Kuidas tõsteti „Sadko“?	126
„Igavene“ vesimootor	128
Kes mõtles välja sõnad „gaas“ ja „atmosfäär“?	130
Oleks nagu lihtne ülesanne	132
Ülesanne basseinist	134
Imetlusväärne anum	135

	Lk.
Ohukoorem	137
Uued Heroni purskkaevud	141
Petlikud anumad	145
Kuipalju kaalub vesi kummulipööratud klaasis	146
Mispärast tõmbavad laevad üksteist külge?	147
Bernoulli printsiip ja selle järelused	151
Kalade ujupõie ülesanne	155
Lained ja keerised	157
Reis maapõue	163
Fantaasia ja matemaatika	165
Maailma sügavaimas šahtis	168
Üles stratostaatidega	171
Seitsmes peatükk. Soojusnähtused	173
Lehvik	173
Mispärast on tuule käes külmem?	174
Kõrve kuum hingeaur	175
Kas loor soojendab?	176
Jahutavad kannud	176
Jääkapp ilma jääta	178
Kui suurt kuumust me võime taluda?	179
Kas termomeeter või baromeeter?	180
Milleks on vaja lambiklaasi?	182
Mispärast leek ei kustu iseenesest?	183
Puuduv peatükk Jules Verne'i romaanis	184
Hommikueine kaalutus köögis	185
Mispärast vesi kustutab tuld?	190
Kuidas kustutatakse tuld tulega?	191
Kas saab vett keeta keeva veega?	194
Kas võib vett keeta lumega?	196
„Supp baromeetrist“	197
Kas keev vesi on alati kuum?	200
Kuum jää	203
Külmus söest	203
Kaheksas peatükk. Magnetism, elekter	205
„Armastav kivi“	205
Ülesanne kompassist	207
Magneti tungjooned	208
Kuidas magnetiseerub teras?	210

	Lk.
Hiiglaslikud elektromagnetid	212
Trikid magnetiga	214
Magnet kehakultuuris	216
Magnet põllumajanduses	216
Magnetiline lennumasin	217
Nagu „Muhamedi puusärk“	219
Elektromagnetiline transport	222
Võitlus marslaste ja Maa elanike vahel	225
Kell ja magnetism	227
Magnetiline „igavene“ jõumasin	228
Muuseumi ülesanne	230
Veel kujutletavast igavesest jõumasinast	231
Peaaegu igavene jõumasin	232
Kui vana on Maa?	234
Linnud juhtmeil	238
Välgu valgusel	240
Mis maksab välk?	240
Äikesevihm toas	242
Üheksas peatükk. Valguse peegeldumine ja murdumine.	
Nägemine.	244
Viiekordne foto	244
Päikesemootorid ja -soojendajad	246
Unistus nõiamütsist	248
Nähtamatu inimene	250
Nähtamatu inimese võim	253
Läbipaistvad preparaadid	254
Kas nähtamatu saab näha?	256
Kaitsevärvus	258
Kaitsevärv	259
Inimese silm vee all	261
Kuidas näevad tuukrid?	263
Klaasläätсед vee all	264
Vilumatud suplejad	265
Nähtamatu nõöpnõel	268
Maailm vee all	271
Värvused vete sügavuses	277
Meie silma pimetähn	278
Kui suurena paistab meile Kuu?	281

	Lk.
Taevakehade näivad suurused	284
Sfinks	288
Miks mikroskoop suurendab	292
Nägemise enda-petted	296
Illusioon, mis on kasulik rätsepatele	297
Mis on suurem?	298
Kujutluse jõud	299
Veel nägemisillusioone	301
Mis see on?	304
Ebatavalised rattad	305
„Ajamikroskoop“ tehnikas	308
Nipkovi ketas	310
Miks jänes vaatab kõõrdi	312
Miks on pimedas kõik kassid hallid?	314
Kas on olemas külmakiiri?	315
Kümnes peatükk. Hää. Laineline liikumine.	317
Hää ja raadiolained	317
Hää ja kuul	318
Näilik plahvatus	318
Õnnelik juhuslikkus	320
Kõige aeglasem vestlus	321
Kiireimal teel	322
Trumm-telegraaf	323
Häälepilved ja õhukaja	325
Hääletud helid	327
Ultrahääli tehnika teenistuses	328
Liliputlaste ja Gulliveri hääli	330
Kellele ilmub igapäevane ajaleht kaks korda päevas?	331
Ülesanne veduriviledel	332
Doppleri nähtus	334
Ühe trahvi ajalugu	335
Hääle kiirusega	337
Sada küsimust „Huvitav füüsika“ teise raamatu kohta	340

Vastutav toimetaja
H. Marran.

Tehniline toimetaja
H. Kohu.

Ladumisele antud 12. II 1949.
Trükkimisele antud 7. III 1949.
Paberi kaust 56×79. ¹/₁₆. Trüki-
poognaid 22. Autoripoognaid
14,31. Arvestuspoognaid 16,61.
MB 00194. Laotihedus trpg.
31500. Tiraaž 5000. Trükikoja
tellimus nr. 498. Trükikoda
„Hans Heidemann“, Tartu,
Vallikraavi 4.

Я. И. Перельман.
Занимательная физика II.
На эстонском языке.
Эгосиздат „Научная Литера-
тура“, Тарту.

Rbl. 13.50

A^{2.}
16558
57M686

TÜ RAAMATUKOGU

1 0300 00571 168 6

Rbl. 13.50

A^{2.}
16558
57M686

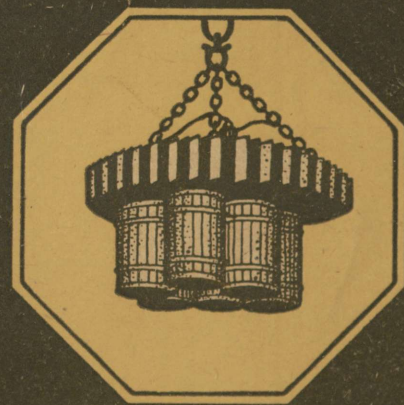


J. I. PERELMAN — HUVITAV FÜÜSIKA II

POPULAARTEADUSLIK SARI

J. I. PERELMAN

HUVITAV FÜÜSIKA



II

•RK •TEADUSLIK KIRJANDUS•