

V-23317

N. WIENER

# KÜBERNEETIKA

Brošüür tutvustab lugejat  
küberneetika ülesannete esi-  
algse sõnastusega, nagu selle  
on andnud prof. N. Wiener,  
kes küberneetika nimetuse on  
käibele lasknudki. Selles raa-  
matus jutustatakse N. Wie-  
neri ja tema kaastöötajate te-  
gevusest ja uurimustest, mis  
neid küberneetika väljaaren-  
damisele on viinud.

V-23317

NORBERT WIENER

# KÜBERNEETIKA

EHK

JUHTIMINE JA SIDE  
LOOMAS NING MASINAS

TOIMETANUD  
HELMUT RIIKOJA

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1961

6T2.15

W57

Originaali tiitel:

Norbert Wiener

CYBERNETICS  
OR CONTROL AND COMMUNICATION  
IN THE ANIMAL AND THE MACHINE

The Technology Press, Cambridge, Mass.  
John Wiley & Sons. Inc., New York  
Hermann & Cie, Paris 1948

*Kaane kujundanud G. Pant*

Käesolev teos ilmub lugeja kätte aastaid pärast originaali trüki avaldamist, Nende aastate jooksul on küberneetika teinud läbi tohutu arengu ja saavutanud endale kindla koha kõigi teaduste hulgas, leides üha ulatuslikumat rakendust. Selle aja kestel on küberneetika alal ilmunud väga palju kirjandust. Muu hulgas ilmus kaks aastat tagasi venekeelses tõlkes ka käesolev teos. Eesti keeles on aga küberneetika valdkonda kuuluvat kirjandust ilmunud väga piiratud hulgal.

Viimasel ajal on alanud eeltöö küberneetika ulatuslikumaks viljelemiseks ka meie vabariigis — niihästi elektronarvutite laialdasema kasutuselevõtu teel kui ka teadlaste uurimisalases tegevuses. On aga täiesti enesestmõistetav, et juba lähematel aastatel leiavad küberneetika põhimõtted otsest rakendust igapäevases elus ja tootmistöös. Seda silmas pidades osutub hädavajalikuks hakata avaldama sellel alal ka eestikeelset kirjandust senisest suuremal määral. Koos sellega kerkib paratamatu vajadus juba algusest peale rajada küberneetika alal ühtne oskussõnavara.

Kuna käesolevat teost ülemaailmselt tunnustatakse küberneetika n.-ü. avaliku aluse rajajana, avaldatakse see algallika põhjal tõlgituna ka eesti keeles, et teda laialdasemalt tutvustada ja rajada tee kooskõlastatud terminoloogia loomisele küberneetika valdkonnas.

Teose tõlkisid: tehnikakandidaat E. K ü n n a p (lk. 11—27), insener E. L a n d r a (lk. 27—44), tehnikakandidaat V. S a r v (lk. 44—60), tehnikakandidaat P. T a m k i v i (lk. 60—75), füüsik E. T i m m a (lk. 75—92), füüsik E. K õ i v (lk. 92—110), insener M. S i n i s o o (lk. 110—126), insener H. S a l u m (126—143), matemaatik B. T i i k m a (lk. 143—159), insener U. A g u r (lk. 159—176), tehnikakandidaat H. S i l l a m a a (lk. 176—190) ja arhitekt G. R u u b e r (lk. 191—204). Tõlgete esi-

algse võrdluse algtekstiga tegi M. Sinisoo, millele järgnes raamatu terviklik toimetamine trükis avaldamiseks.

Toimetamisel on taotletud tõlke võimalikult suurt sisulist ja stiililist ühtivust algtekstiga. Valemite esituslaad on kohandatud meil käibel olevaga. Ühtlasi on peetud õigeks kõrvaldada valemitest mõned algallikasse sattunud ilmsed trükivead ja ebakõlad. Erilist tähelepanu on omistatud oskussõnavara ühtlustamisele. Võõrsõnu on püütud tõlkes küll võimalikult vältida, ent ometi leidub neid siin ikkagi üsna rohkearvuliselt. Nii esineb siin selliseid võõrsõnu, mille asemele ühemõttelist eestikeelset vastet ei leidugi. Samuti on väljendatud võõrsõnaga niisugused mõisted, mille kohta ka algtekstis leidub üldkeelses pruugitava keelendi asemel võõrsõna. Et lugemist hõlbustada, on paljude tõlkes leiduvate võõrsõnade kohta antud raamatus kokkuvõtlik seletus. Need selgitused peaksid aitama kaasa sellele, et teha raamatu sisu hõlpsamini mõistetavaks võimalikult laiale lugejaskonnale. Kuid nad ei tohiks olla üleliigsed ka asjatundjatele, sest käesolev raamat (nagu üldse küberneetika) hõlmab mitmeid teadusalasid, mis vaevalt küll võiksid olla ühevõrra tuttavad ühelegi eriteadlasele.

Lühiseletused on koondatud raamatu lõpus leiduvasse märksõnastikku. Samuti on mahutatud raamatu lõppu kõigi temas leiduvate nimede loetelu koos enamiku selles sisalduvate isikute lühitutvustusega. Märksõnastikus leiduvale seletusele või nimede loetelus leiduvale isikututvustusele viidatakse sõna või nime esmakordses esinemiskohas tärnikesega.

Käesolev eestikeelne tõlge sisaldab ka selle raamatu venekeelse väljaande sissejuhatava osa, selles alltekstidena leiduvad lisamärkused ja selle lõppu mahutatud lisa. Need on tõlkinud käesoleva väljaande toimetaja, kes on koostanud ka märksõnastiku ja nimede loetelu.

Toimetatud käsikirja vaatasid läbi füüsika-matemaatikakandidaat I. Petersen ja neuropatoloog E. Moisar. Tõlkijad ja toimetaja avaldavad neile oma siiraimat tänu märkimisväärse abi eest tõlkeväljaande lõpliku sõnastuse ja oskussõnade valikul ning mitmete tulusate näpunäidete eest, mida käsikirja lõplikul viimistlemisel on silmas peetud.

# SISSEJUHATAV OSA

## VENEKEELSELE TOLKELE

NORBERT WIENERI RAAMATU «KÜBERNEETIKA» KOHTA  
TOLKE TOIMETAJALT<sup>1</sup>

Tänapäeva tehnika üheks põhiliseks ja kõige iseloomikumaks tunnuseks on kiire areng ning mitmesuguste, sealhulgas ka väga keerukate ja üksteisest erinevate juhtimis- ning sidevahendite laialdane kasutuselevõtt. Selliste vahendite hulka kuuluvad arvutid\*, traatside- ja raadiosideaparatuur, automaatsed ja telemehaanilised seadmed, haldustehnilised\* seadmed ning masinad jm. Nagu tehnikateadustes viimasel aastakümnel toimunud arengu käigus on selgunud, on kõigi nende masinate ja seadmete omapäraks see, et nad täidavad informatsiooni (teadete) töötlemise ülesannet: nad registreerivad mitmesuguseid andmeid, annavad neid üle, salvestavad ja muundavad neid.

Informatsiooni töötlemisest iseseisva tehnikaharu kujundumine algas põhiliselt käesoleva sajandi 40-ndatel aastatel, ehkki juba XIX sajandil tõsteti iseseisvana esile nõrkvoolutehnika, mis tegeleb informatsiooni üleandmiseks rakendust leidnud vooludega, ja eristati teda tugevvoolutehnikast, mis tegeleb energia üleandmiseks määratud vooludega. Mitmesuguseid informatsiooni töötlemise protsesse uurisid XIX sajandi kestel ja XX sajandi esimese poole jooksul mitmesugused, näiliselt üksteisega sootuks seostamata teadused: traatside teooria, raadioside teooria, automaatse reguleerimise teooria, matemaatikamasinate teooria ja hulk palju erialasemaid, tihti vägagi omapäraseid teooriaid.

Käesoleva sajandi 40-ndatel aastatel löid ühelt poolt üldise sideteooria ning teiselt poolt arvutustehnika ja automatiseerimise väljaarenemine eeldused informatsiooni töötlemise protsesside käsitlemiseks nende ühtsuses ja tervik-

<sup>1</sup> Venekeelsest tõlkest: Норберт Винер. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. Перевод с английского И. В. Соловьева, под редакцией Г. Н. Поварова. Изд. «Советское Радио», Москва, 1958.

likkuses. Sellise käsitluse hädavajalikkus tuleneb ajakohaste side- ja juhtimisvahendite omavahel paindliku ühendamise vajadusest, mida tingib kogu tehnika areng meie päevil.

Tänapäeva tehnikale — niihästi rahuotstarbelisele kui ka sõjatehnikale — on iseloomulik, et seal leiavad rakendust keerukad kompleksüsteemid, milles põimuvad arvukad ning mitmekesised materjali-, energia- ja informatsioonivood, mis nõuavad kooskõlastamist, juhtimist ning reguleerimist sellise kiiruse ja täpsusega, milleni inimese tähelepanu ega mälu ilma automaatsete riistadega varustamata ei suuda küündida. Kujutlegem näiteks suurt tehast või suurt ookeaniaurikut või suuri reaktiivlennukeid ja juhitavaid rakette või riigi ulatuses ühendatud energiasüsteeme või riigi ulatuses ühendatud telefoniseadmestikku. Veelgi üldisemas mõttes osutub niisuguseks keerukaks tehnikaseadmestikuks iga suur tänapäeva linn oma keerukate, kolmemõõtmeliste kujundust omavate transpordivoogudega, oma keerukate, mitmekesiste elektri- ja torustikuvõrkudega, oma tohutute informatsiooni- ja arveldusteennistustega. Igaüks meist teab omaenese kogemustest, et tänapäeva inimene elab hoobade ja nuppude keskel.

Seepärast avavad juhtimis- ja sideprotsesside kompleksne automatiseerimine ning informatsiooni kompleksne masinatel töötlemine laialdased eeldused tootlike jõudude kasvuks ja riigi kaitsevõime tugevdamiseks. Tehased-automaadid, suured kiirtegutsevad arvutid, mitmesugused juhtimis- ja informatsioonimasinad, piloodita kosmoseraketid, mille algkujuks on nõukogude Maa tehiskaaslased — need kõik moodustavad tuleviku, millesse me oleme juba astunud.

Kõik see püstitab tehnikateaduste (ja mitte ainult tehnikateaduste) ette väga tõsised ja väga pakilised ülesanded. Missugused peavad olema informatsiooni töötlemise tehnika üldised teoreetilised alused? Missugust matemaatilist aparati tuleb seejuures rakendada? Kuidas ühendada arvukaid eriteadusi, mis kujunesid informatsiooni töötlemise üksikute protsesside jaoks neil aegadel, mil nende protsesside ühtsus oli varjus? Kuidas suhtuvad juhtimis- ja sideprotsessid, mis kulgevad tehnilistes seadmetes — neis tehiselundeis, mis teevad tugevamaks inimeste käed ja terasemaks nende silmad — juhtimis- ja sideprotsessidesse,

mis kulgevad inimeste endi organismis? Kuivõrd on võimalik asendada inimese vaimset tööd informatsiooni töötlemise mehhaniseeritud protsessidega?

Informatsiooni töötlemise tehnika üldise teoreetilise aluse puudumine põhjustab eraldatust ja paralleelismi uurimistöodes ning tehnilise arenduse alal, raskusi vastava teadlaste ja inseneride kaadri kiirel ettevalmistamisel ning raskusi informatsiooni töötlemise mitmesuguste protsesside ja mitmesuguste juhtimis- ning sidevahendite kompleksse rakendamise ja omavahelise liitmise alal. Muidugi ei asenda ega tühista informatsiooni töötlemise üldteooria olemasolevaid eriteooriaid, kuid ta seostab neid omavahel, hõlbustab nende vastastikust läbipõimumist ja avardab üldisi väljavaateid.

Mis puutub tehnilistes seadmetes kulgevate side- ja juhtimisprotsesside võrdlemisse side- ja juhtimisprotsessidega inimeste organismis, siis tehnikateaduste esindajatele pole selline võrdlemine teoreetiliseks luksuseks, millekski uudishimust tulenevaks, vaid see on neile praktiliseks vajaduseks, mis kasvab välja keerukate ajakohaste süsteemide «masin — inimene» tehniliste iseloomustuste uurimise ülesandest. Arvestamata ja mõistmata juhtimis- ning sideprotsesse elusolendites, ei saa projekteerida juhtimis- ja sidevahendeid kas või sellise tehnikaharu jaoks, nagu näiteks reaktiivlennundus, kus inimese kehalisi ja vaimseid võimeid kasutatakse ära äärmise piirini. Teiselt poolt, teades sarnasusi ja eripärasusi masinates esinevate juhtimis- ning sideprotsesside ja elusolendites kulgevate juhtimis- ning sideprotsesside vahel, on hõlpsam luua masinaid, mis abistavad inimest tema vaimses töös, eriti aga mitmesuguste tootmis- ja igasuguste muude protsesside koordineerimisel ning reguleerimisel. Lõpuks on sellise sarnasuse ja eripärasuse teadmine ääretult tähtis automaatsete proteeside ja automaatsete arstiriistade konstrueerimisel.

Üheks teoreetiliseks suunaks, mis püüab eelloetletud ülesandeid lahendada, osutub küberneetika. See suund, mis tunnustab terviklust ja ühtsust juhtimis- ning sideprotsesside kulgemises masinates, organismides ja ühel või teisel määral isegi ühiskonnas, kujunes Ameerika Ühendriikides ning Mehhikos 40-ndatel aastatel ja on ühenduses ameerikalasest matemaatiku Massachusettsi Tehnoloogia Instituudi professori Norbert Wieneri \* nimega.

Küberneetika on kutsunud esile suuri põhimõttelisi vaid-

lusi niihästi nõukogude kui ka välismaiste teadlaste seas. Ühed suhtusid küberneetikasse eitavalt, pidades teda filosoofiliseks keerutamiseks ja külma sõja relvaks Pavlovi\* õpetuse vastu; teised käsitasid teda mingi noore areneva teadusena, milles veel kõik pole püsivana välja kujunenud, kuid mida ootab hiilgav tulevik; kolmandad kirjutasid küberneetika arvele peaaegu kõik juba automaatikas ja arvutustehnikas saavutatud edusammud. Välismaal leidis rida isikuid, kes küll ei vaielnud küberneetika lähtekohtade vastu, kuid siiski süüdistasid teda tõeliselt teadusliku sünteesi puudumises ja käsitasid teda kokkuvõttes lihtsalt üleskutsena, et bioloogid ning sotsioloogid töötaksid koos matemaatikute ja inseneridega.

Seda arvamuste lahkuminekut säilitas sõna «küberneetika» äärmiselt laialivalguv ja ebamäärane pruukimine paljude autorite poolt ning ta ise, nõnda ütelda «tagasi-sidestuse» korras, omakorda säilitas seda laialivalguvust. Igaüks määratles ja pruukis seda oskussõna omamoodi. Korduvalt nimetasid teadlastest autorid küberneetikaks (ehk tehniliseks küberneetikaks) automaatse reguleerimise teooriat, arvutite teooriat, elektrivooluringide teooriat ja teisi teooriaid, millest mõnedki olid ilmunud teaduse are-nile küberneetikast hulga varem. Sõna «küberneetiline» kujunes moodsaks nimetuseks mitmesugustele tõmbenumbritele, automaatsetele mänguasjadele, fantastilistele jutustustele jms. Modernistliku kunsti kummardajad Läänes näit-eks nimetasid tavaliselt küberneetilisteks nende poolt val-mistatud muusikalisi, tantsivaid ja selletaolisi roboteid. Ja kui palju on olnud juttu sellest, et küberneetilised robotid kunagi tulevad ning võib-olla hävitavad inimkonna, võib-olla teevad inimestest oma haletsemisväärseid teenrid! Prantsusmaal on küberneetikat sageli nimetatud «teadusli-kuks fantastikaks» (science-fiction).

Kuid kära küberneetika ümber ei tohiks jätta varju eespool loetletud ja informatsiooni töötlemise tehnika aren-guga seoses olevaid ülesandeid. Need ülesanded on tähtsad, ja kuidas ka küberneetikasse suhtuda, nad tuleb lahendada ning nende lahendamine tähistab uue tehnikateaduse (või matemaatilise teaduse) tekkimist, ehkki see on võib-olla seoses bioloogiliste ja sotsiaal-majanduslike teadustega teistsuguselt kui paljudele küberneetika pooldajatele näibki. Arvestades nende ülesannete kõige kiirema õige lahenda-mise tähtsust ning pidades silmas niivõrd märgatavaid eri-

nevusi arvamustes, mida nende lahendamist taotleva küberneetika kohta esineb, osutub otstarbekohaseks tutvustada nõukogude eriteadlasi ja teadlasi küberneetika kavatsuste algse sõnastusega, mille on andnud prof. Norbert Wiener, kes selle nimetuse on käibele lasknudki. Seda eesmärki taotlebki käesolev tõlge N. Wieneri tuntud raamatust «Küberneetika», mis esmakordselt ilmus 1948. aastal. Selles raamatus jutustatakse N. Wieneri ja tema kaastöötajate töödest, mis viisid neid küberneetika sõnastamisele. Mainitud tööd olid seoses niihästi rahuotstarbelise kui ka sõjatehnikaga. Võib loota, et pakutava raamatuga tutvumine ja tema väärtuste ning puuduste arutlemine soodustab nõukogude eriteadlaste ja teadlaste hulgas lõpliku filosoofilise ning rakenduslaselise hinnangu kujunemist küberneetika suhtes ning koos sellega õigete vaadete kujunemist side- ja juhtimistehnika probleemide ning informatsiooni töötlemise tehnika kohta.

Lugejal tuleb lakkamatult pidada silmas käesoleva raamatu tunduva osa vaieldavat iseloomu ja eespool mainitud avalikku sulesõda. Et arendada välja lõplikke põhjendatud vaateid kõigi nende probleemide osas, on vaja paljude mitmesuguse kallakuga eriteadlaste ja teadlaste tööd. Senini aga osutub küberneetika kahtlemata pigem kavandavaks suunaks kui väljakujunenud teadusharuks, ja mõnedki teadlased eelistavad niisuguste probleemide kallal töötamist ilma küberneetika hüüdlausest juhendumata. Tulevik näitab, kas informatsiooni töötlemise tehnika üldiste teoreetiliste aluste nimetuseks kujuneb küberneetika ja kuivõrd on masinates esinevad side- ning juhtimisprotsessid tõepoolest lähedased side- ja juhtimisprotsessidega elusolendais või on neist kauged. Sõltuvalt sellest lahendatakse ka küsimus küberneetika sugemeist teistel maadel peale Ameerika Ühendriikide, sest N. Wieneri raamatus on juttu ainult ameerika või ameeriklastega suhelnud teadlastest. Kuid N. Wiener mainib, et ta on kasutanud nõukogude matemaatiku A. N. Kolmogorovi \* statistikaalaseid töid; mainitakse ka Krõlovi \* ja Bogoljubovi \* nime.

N. Wieneri raamatus leidub hulgaliselt arvamusi sotsiaal-majanduslikes küsimustes, mis iseloomustavad seda õhkkonda, milles on ameerika teadlased, ja peegeldavad raamatu autori rahutust selle üle, et teaduse saavutusi rakendatakse inimestele kurja tegemiseks, ekspluateerimiseks ning sõjapidamiseks. Ta näeb väljapääsu selles, et

luuakse uus ühiskondlik kord, mis põhineb mitte ostul-müügil, vaid palju kõrgematel inimlikel väärtustel; kuid Wiener pole marksist ega näe neid jõude, kes on võimelised ühiskonda ümber kujundama. Sellest aga tuleneb pessimismi varjundeid raamatu mõnedes osades.

Nõukogude lugeja ei nõustu Wieneriga nii mõnedeski filosoofilistes ja poliitilistes küsimustes. Näiteks, kõneldes tänapäeva materialismist, peab Wiener kõikjal silmas vulgaarset materialismi Vogti\*-Moleschotti\* stiilis selle sõnastusega: «aju eritab mõtet, samuti nagu maks sappi». Sellega jäetakse arvestamata dialektilise materialismi olemasolu, mille esindajad on alati seda väljendust hüljanud. Märkigem samuti, et käsitledes väga laia mitmekesiste küsimuste valdkonda, pruugib N. Wiener mõnikord oskusõnavara, mida on kasutanud nõukogude kirjanduses arvustamist leidnud voolud (geštaltpsühholoogia\*, operatsionalism\*, mendelism, fröidism\* jt.), või viitab neile vooludele.

Üksikasjalisemalt on Wieneri filosoofilised ja poliitilised vaated esitatud tema mõne aja eest tõlgitud raamatus «Кибернетика и общество», Издательство Иностранной Литературы, Москва, 1958 («Küberneetika ja ühiskond»), millele on lisandatud pikk E. J. Kolmani\* kirjutatud kriitiline eessõna.

Käesoleva raamatu tõlkimisel me mahutasime temasse lisana N. Wieneri kirjutise «Masin on targem kui tema valmistaja», mis avaldati 1953. aastal ja sisaldab täiendavaid andmeid küberneetika kohta.

Moskvas, 28. juulil 1958. a.

G. N. POVAROV

Arturo Rosenbluethile,  
kes palju aastaid oli mulle  
töökaaslaseks teadusepõllul.<sup>1</sup>

## SISSEJUHATUS

Käesolev raamat kirjeldab rohkem kui aastakümne võrra hiljem tulemusi neist kavandatud töödest, mis toimusid ühiselt doktor Arturo Rosenbluethiga \*, kes tol ajal oli Harvardi Arstiteaduse Ülikoolis, käesoleval ajal aga on Mehhiko Rahvuslikus Kardioloogia \* Instituudis<sup>2</sup>. Noil aegadel korraldas doktor Rosenblueth — kadunud doktor Walter B. Cannoni \* kutse- ja töökaaslane — igal kuul rea vaidluskoosolekuid teadusliku meetodika alal. Neist osavõtjateks olid peamiselt noored teadlased Harvardi Arstiteaduse Ülikoolist ja tavaliselt me kogunesime Vanderbild Halli ümmarguse laua ümber lõunale. Keskustelu oli elav ja sundimatu. See polnud mitte kohaks, kus ühte või teist oleks takka õhutatud või kus kellelgi oleks sobinud tugineda vaid oma väärikusele. Pärast einet tegi keegi — kas meie rühma kuuluja või mõni kutsutud külaline — ettekande mingis teaduslikus küsimuses, milles tavaliselt pöörati metodoloogia küsimustele peamist tähelepanu, või siis vähemalt väärikat tähelepanu. Ettekandjal tuli joosta läbi teravaima arvustuse kadalipu, mis oli heatahtlik, kuid halastamatu. See oli täiuslikumaks katarsiseks\* poolküpsetele mõtetele, küündimatule enesekriitikale, liialdatud eneseusaldusele ja kõrkusele. Need, kes selliseid katsumusi ei suutnud taluda, enam tagasi ei pöördunud, kuid nende kohtumiste omaaegsete alaliste külaliste hulgas leidub meist rohkem kui üks, kes tunneb, et need olid tähtsaks ja pidevaks panuseks meie teaduslikule avardumisele.

Mitte kõik osavõtjad polnud arstid või arstiteadlased. Üheks väga püsivaks liikmeks ja suureks abistajaks meie mõttevahetustel oli doktor Manuel Sandoval Vallarta \*, mehhiklane nagu doktor Rosenbluethki ja füüsikaproffessor Massachusettsi Tehnoloogia Instituudis, kes oli olnud minu kõige esimeste üliõpilaste hulgas, kui ma pärast Esimest

<sup>1</sup> Pühendus on võetud raamatu venekeelsest väljaandest. (Toim.)

<sup>2</sup> Algkujul: Instituto Nacional de Cardiologia. (Toim.)

maailmasõda instituuti tulin. Doktor Vallarta tavatses tuua nendele vaidluskoosolekutele kaasa mõne oma ametivenna Massachusettsi Tehnoloogia Instituudist, ja nii juhtuski, et ühena nende hulgast kohtusin minagi esmakordselt doktor Rosenbluethiga. Ma olin tundnud teadusliku meetodika vastu huvi juba pikemat aega ja olin tegelikult olnud osavõtjaks Josiah Royce'i \* Harvardi seminarist sel alal aastail 1911—1913. Pealegi tundus olevat vajalik kellegi osavõtt, kes suudaks sügavamalt uurida matemaatilisi küsimusi. Nii sai minust selle rühma aktiivne liige, kuni doktor Rosenbluethi kutsumine Mehhikosse 1944. aastal ja üldine sõjasegadus tegid lõpu neile kohtumistele.

Mitme aasta jooksul olime doktor Rosenblueth ja mina ühiselt veendumusel, et kõige viljakamateks osutuvad teaduste õitsengu mõttes need tegevuspiirkonnad, mis mitmesuguste viljeldavate alade vahel on eikellegimaana jäetud soõti. Leibnizist \* peale pole vist küll olnud enam ühtegi inimest, kes oleks täielikult suutnud hõlmata kogu oma kaasaja vaimset tegevust. Sellest ajast saadik on teadus üha enam jäänud niisuguste eriteadlaste ülesandeks, kelle aladel on näha kasvavat kalduvust ahenemise suunas. Sada aastat tagasi ei saanud küll enam olla Leibnizi, kuid tol ajal oli ikkagi Gauss \*, oli Faraday \* ja oli Darwin \*. Tänapäeval on vähe neid õpetlasi, kes võivad end nimetada matemaatikuks või füüsikuks või bioloogiks ilma piiritlemata. Keegi võib olla topoloog \* või akustik \* või koleopterooloog \*. Ta võib olla pähe tuupinud kogu oma erikeele ja võib teada kogu seda käsitlevat kirjandust ning kõiki tema harusid, kuid üsnagi pahatihti võib ta pidada naaberainevalda millekski selliseks, mis kuulub tema ametivennale samal koridoril kolmanda ukse taga, ja sellele mingil määral omaenese tähelepanu omistamisele vaatab ta kui lubamatule võõrastesse saladustesse tungimisele.

Nende kitsapiiriliste alade arv kasvab pidevalt ja nad hõivavad üha uusi valdkondi. Tulemus sarnaneb sellega, mis juhtus siis, kui Oregoni <sup>1</sup> maa-alale olid üheaegselt sisse tunginud asukad Ameerika Ühendriikidest, inglased, mehhiklased ja venelased — lahendamatu segadik uurimisreisidest, nimepanekutest ja õigusemõistmistest. Nagu käesoleva raamatu sisust selgub, leidub teadusliku töö ala-

<sup>1</sup> Oregon on Põhja-Ameerika loodepoolne piirkond Vaikse ookeani ääres; praegu üks Ameerika Ühendriikide osariike. (Toim.)

sid, mida on uuritud mitmest küljest puhtmatemaatika, -statistika\*, -elektrotehnika ja -neurofüsioloogia\* seisukohalt, ning kus iga üksik mõiste on saanud nimetuse eraldi igalt teadlasterühmalt ja kus on tähtsaid töid tehtud kolme- või neljakordselt, kuna siiski mõni teine tähtis uurimistöö on viivitatunud seetõttu, et mingil alal osutuvad alles kättesaamatuiks tulemused, mis võivad juba ammust ajast olla muutunud üldtuntuiks tema naaberlal.

Just sellised teaduse piirialad pakuvadki kõige rikkalikumaid võimalusi võimekale uurijale. Samal ajal aga on just need kõige raskemini alistatavad tavaliste massilise rünnaku meetodite ja tööjaotuse abil. Kui mingi füsioloogilise probleemi raskus on oma olemuselt matemaatilist laadi, siis jõuaksid ka kümme matemaatikas asjatundmatut füsioloogi sama kaugele nagu üks matemaatikas asjatundmatu füsioloog, ja sugugi mitte kaugemale. Kui füsioloog, kes ei tunne matemaatikat, töötab koos matemaatikuga, kes ei tunne füsioloogiat, siis pole esimene võimeline väljendama oma probleemi avaldistes, mida teine võiks otsekohe käsitleda, teine aga pole võimeline sõnastama vastuseid niisugusel kujul, mida esimene võiks mõista. Doktor Rosenblueth rõhutas alati, et selliste teaduse kaardil leiduvate välgete laikude viljakas uurimine võib toimuda ainult ühisel jõul teadlaste poolt, kellest igaüks on eriteadlaseks omal alal, kuid ühtlasi valdab põhjaliku sügavusega ja on tuttav tege-likult ka oma naaberladega; kõik nad peavad olema harjunud töötama koos, tundes üksteise vaimseid võimeid ja mõistes ametivenna uue mõtte tähtsust enne, kui see on täie täpsusega väljendatud. Matemaatikult ei nõuta füsioloogiliste katsete sooritamise oskust, kuid tal peab olema oskus neist aru saada, neid kritiseerida ja neid inspireerida. Füsioloog ei tarvitse olla võimeline tõestama mingit matemaatilist teoreemi, kuid ta peab olema võimeline mõistma selle tähtsust füsioloogiale ja selgitama matemaatikule, mida viimasel on vaja silmas pidada. Me olime aastaid unistanud ühendusest, kus sõltumatud teadlased töötaksid koos ühes neist teaduse metsakoldest mitte mingi suure täidesaatva võimukandja alluvatena, vaid liitunutena soovist, isegi vaimsest vajadusest, mõista seda valdkonda kui ter-vikut ja anda sellise mõistmise võimet üksteisele edasi.

Me olime jõudnud neis asjus ühisele arvamusele kaugelt enne, kui oli valitud meie ühiste uurimiste ala ja ka meie endi vastavad osad sellel alal. Otsustavaks teguriks selle

uue sammu astumisel oli sõda. Ma olin juba ammust ajast teadlik, et kui meid peaks tabama üldrahvalik häda, siis minu ülesande selles määraksid põhiliselt kindlaks kaks asjaolu: minu tihe kokkupuude doktor Vannevar Bushi\* poolt arendatavate arvutite loomise programmiga ja minu oma koostöö doktor Yuk Wing Leega\* elektrivõrkude kavandamisel. Tegelikult osutasid mõlemad tähtsaks. Suvel 1940 pöörasin ma suurt tähelepanu sellele, et arendada arvuteid osatulevistega diferentsiaalvõrrandite lahendamiseks. Ma olin neist pikemat aega huvitatud ja olin veendunud, et vastandina harilikele diferentsiaalvõrranditele, mida doktor Bush nii hõlpsasti sai lahendada oma diferentsiaalanalüsaatoris\*, osutus nende põhiülesandeks rohkem kui ühe muutuva funktsioonide esitamine. Samuti olin ma jõudnud veendumusele, et sellele küsimusele annab vastuse laotusmenetlus\*, mis on leidnud rakendust televisioonis, ja et tegelikult võib televisioon tuua selliste uute menetluste juurutamise teel tehnikale palju enam kasu kui sõltumatu tööstusharuna.

Oli ilmne, et igasugune laotusmenetlus peab oluliselt suurendama käsitletavate andmete hulka, võrreldes andmete hulgaga harilike diferentsiaalvõrranditega ülesandes. Selleks et saavutada sobivaid tulemusi sobiva ajaga, on osutunud otstarbekaks muuta elementaarsete protsesside kiirus maksimaalseks ja vältida nende protsesside kulgemise katkemist mingite märgatavalt aeglasemat liiki sammude läbi. Samuti osutus hädavajalikuks sooritada üksikuid protsesse nii suure täpsusega, et elementaarsete protsesside tohtu kordamine ei kutsuks esile nii suurt vigade kuhjumist, mis viiks rappa kogu täpsuse. Nii soovitati alljärgnevat nõudeid:

1) et arvuti keskne liitmise ja korrutamise aparaat peab olema numbriline\*, nagu on tavalistes arvutusmasinaates<sup>1</sup>, mitte aga põhinema mõõtmisel, nagu on Bushi diferentsiaalanalüsaatoris;

2) et need mehhanismid, mis oma olemuselt on lülitamisseadised, peavad põhinema elektronlampidel, mitte aga hammasrattastel või mehaanilistel releedel\*, selleks et tagada kiiremat tegutsemist;

<sup>1</sup> ehk nn. aritmomeetrites. (Toim.)

3) et, kooskõlas tegutsemispõhimõttega, mis on leidnud rakendust mõnedes Belli Telefonilaboratooriumis<sup>1</sup> loodud aparaatides, nad tõenäoliselt kujuneksid ehituselt lihtsamad, kui neis võtta liitmisel ja korrutamisel aluseks kahendsüsteem\*, mitte aga kümnendsüsteem;

4) et kogu tehete järjestuse peab kavandama masinise, nii et poleks vaja inimese vahelesegamist alates hetkest, mil lähteandmed on sisendatud, kuni lõpptulemuste väljundamiseni\*; ja et kõik selleks vajalikud loogilised otsustused peavad tehtama masinas endas;

5) et masin peab sisaldama aparatuuri andmete salvestamiseks, mis peab suutma neid kiiresti jäädvustada, kuni kustutamiseni kindlalt alal hoida; neid kiiresti lugeda, neid kiiresti kustutada ja pärast seda olema võimeline viivitamatult salvestama uut materjali.

Need soovitusel koos katseks tehtud ettepanekutega nende rakendamiseviiside kohta saadeti doktor Vannevar Bushile nende võimalikuks ärakasutamiseks sõja korral. Tollel sõjaks ettevalmistumise ajajärgul ei paistnud nad omavat küllalt suuri eeliseid selleks, et nende kallal viivitamatult vajaliku jõuga tööle asuda. Ja siiski kujutavad nad kõik neid põhimõtteid, mis on leidnud kehastust ajakohases ülikiires arvutis. Need aimdused on kõik osutunud ajavajumuga täiesti kooskõlas olevaiks ja ma ei taha hetkekski väita, nagu oleksin mina mingil määral ainuvastutajaks nende esitamise eest. Sellest hoolimata on nad osutunud kasulikeks ja ma loodan, et minu mälestuste kirjanepanek avaldab teatavat mõju nende tutvustamisele inseneride hulgas. Igatahes, nagu meile raamatu sisust selgub, osutasid nad kõik mõteteks, mis pakuvad huvi seoses närvisüsteemi tundmaõppimisega.

Tähendab, see töö oli pandud lauale, ja ehkki ta ei osutunud viljatuks, mingit otsest kavatsust ta doktor Rosenbluethil ega ka mul enesel esile ei kutsunud. Meie tegelikku koostööd aga põhjustas teine kavatsus, mis samuti oli käsile võetud viimasest sõjast tingitult. Sõja algul suunasid Saksamaa ülevõim lennuväe alal ja Inglismaa kaitseisukord paljude teadlaste tähelepanu õhukaitse suurtükiväe täiustamisele. Juba enne sõda oli saanud selgeks, et lennukite kiirus oli muutunud iganenuteks kõik tunnustus-

<sup>1</sup> Algkujul: Bell Telephone Laboratories — kujutab ameerika elektrialase kontserni firma Belli suurt uurimiskeskust. (Toim.)

väärsed tulejuhtimise meetodid ja et oli muutunud paratamatult vajalikuks ehitada jälgimisaparaatidesse sisse kõik arvutamiseks tarvilikud seadmed. Need aga tekitasid üsna tublisti raskusi sel põhjusel, et erinevalt kõigist varem esinenud märklaudadest oli lennukil selline kiirus, mis moodustas väga tunduva osa tema enese allatulistamiseks kasutatava lendava mürsu kiirusest. Järelikult on äärmiselt tähtis lasta mürsk välja mitte otse märki, vaid selliselt, et mürsk ja märk kohtuksid ruumis teatud hetkel tulevikus. Seepärast tuleb leida mingi meetod lennuki tulevase asukoha ennustamiseks.

Lihtsaimaks meetodiks osutub lennuki eelnenud lennutee ekstrapoleerimine \* mööda sirgjoont. See meetod on end korduvalt õigustanud. Mida rohkem lennuk põgenedes sõlmi ja pöördeid teeb, seda väiksem on tema tegevkiirus, seda vähem aega jääb talle ülesande täitmiseks ja seda pikemat aega viibib ta ohtlikus piirkonnas. Kui üldine olukord on ühesugune, püüab lennuk lennata nii sirgjoonelist teed mööda nagu vähegi võimalik. Kuid alates hetkest, mil lõhkes esimene mürsk, üldine olukord enam *ei ole* ühesugune ja tõenäoliselt püüab lendur siksakkide, vigurlennu või mõnel muul teel alustada kõrvalepõiklevat lahingutegevust.

Kui see lahingutegevus sõltuks täielikult lenduri meelevallast ja lendur vastavalt oma taibukusele saaks ära kasutada kõik võimalused, nagu seda võib oodata näiteks healt pokkerimängijalt, siis oleks tal nii palju soodsaid võimalusi enda eeldatava asendi muutmiseks enne mürsu saabumist, et me ei saa pidada väljavaateid tema tabamiseks sugugi mitte väga headeks, välja arvatud võib-olla väga pillava tõkettule puhul. Teiselt poolt aga *pole* lenduril täielikult piiramata võimalusi omaenda soovi järgi manööverdamiseks. Esiteks, ta asub lennukis, mis liigub edasi erakordselt suure kiirusega ja iga liialt järsk kõrvalekaldu mine selle lennusihiolt tekitaks sellise kiirenduse, mis võiks kutsuda tal esile teadvuse kaotuse ning võiks kiskuda lennuki tükkideks. Seejuures aga saab ta lennukit juhtida ainult selle tüüride liigutamise teel ja uus lennuolukord, mis nendega seati, saabub teatava lühikese ajavahemiku võrra hiljem. Isegi kui see on täielikult saabunud, muutub üksnes lennuki kiirendus ja see kiirenduse muutus peab muunduma esiteks kiiruse muutuseks ning seejärel asendi muutuseks, enne kui ta annab lõpptulemuse. Pealegi, olles

võitluspinge olukorras, on lenduril vaevalt tahtmist astuda lahingutegevusse mingil väga keerukal ja piiramalt vabal viisil ning ta on üsna meelsasti valmis järgima neid tegutsemise eeskujusid, mida talle varemalt on sisse harjutatud.

Kõik see tingib, et lennukõverjoone ennustamise keerdküsimuse uurimine on väärt ajakulu ja vaeva, vaatamata sellele, kas tulemused peaksid osutama sellise kõverjoone ennustamist võimaldavas tulejuhtimisaparaadis tegelikuks rakendamiseks soodsateks või ebasoodsateks. Et ennustada kõverjoone tuleviku, on vaja sooritada teatud tehteid tema mineviku osas. Tõetruud ennustuse operaatorit\* mis tahes ehitatava aparaadina üldse teostada ei saa; kuid on olemas teatud operaatorid, mis toovad ta esile teatud sarnasusega ja on tegelikult teostatavad aparaadina, mille me võime ehitada. Ma mainisin Massachusettsi Tehnoloogia Instituudi professorile Samuel Caldwellile\*, et need operaatorid näikse olevat katsetamise väärt, ja tema tegi viivitamatult ettepaneku, et me katsetaksime neid doktor Bushi diferentsiaalanalüsaatoriga, kasutades seda ära luua kavatsetava tulejuhtimisaparaadi valmishitatud mudelina. Me tegime nii, saades tulemused, mida me käsitleme käesoleva raamatu sisus. Igatahes ma leidsin end tegelevat sõjalise ülesandega, mille lahendamisel härra Julian H. Bigelow\* ja mina olime töökaaslasteks, uurides ennustamise teooriat ja kujundades aparaate selle teooria elluviimiseks.

Selgub, et ma juba teist korda osutusin kaasakistuks uurimistöösse mehaanilis-elektriliste seadmete alal, mis olid määratud iseloomulike inimülesannete ülevõtmiseks — esimesel juhul keerukate arvutustehete lahendamiseks, teisel juhul aga tuleviku ettenägemiseks. Sellel teisel juhul me ei saanud vältida arutlemist teatud inimülesannete sooritamiski kohta. Mõningatesse tulejuhtimisaparaatidesse saabub algimpulss sihtimiseks tõepoolest vahetult radarist\*, kuid enamal juhul on lülitatud tulejuhtimissüsteemi inimesest suurtükiväeüksustele või suurtükisihur, või mõlemad, kes tegutsevad tema olulise osana. On tingimata tarvis teada nende iseloomulikke andmeid, selleks et hõlmata neid matemaatiliselt masinates, mida nad juhivad. Pealegi on ka nende märklaud — lennuk — samuti inimese poolt juhitud ja seepärast oleks vaja teada ka tema käitumise iseloomu.

Härra Bigelow ja mina tulime järeldusele, et üheks äärmiselt tähtsaks teguriks tahtelises tegevuses on see, mida juhtimisala insenerid nimetavad *tagasisidestuseks*. Seda ma käsitlen üksikasjalisemalt vastavates peatükkides. Pii-sab, kui siinkohal vaid mainida, et soovides mingit liikumist panna jälgima antud eeskujut, tuleb erinevust eeskujut ja tegelikult toimuva liikumise vahel kasutada ära uue sisandina<sup>1</sup>, mis sunnib reguleeritavat osa liikuma selliselt, et tema liikumine üha enam läheneks eeskujuna antud liikumisele. Näiteks laeva teatud roolimasinates kandub rooliratta asend roolipinni nokale, mis reguleerib roolimasina klappide roolipinni liigutamisel selliselt, et klapid pöörduksid eemale. Nii pöörduvad roolipinnad selliselt, et viib klappide reguleerimise noka laeva keskele ja sel teel jäädvustab rooliratta pöördumisasendi roolipinni pöördumisasendina. On ilmne, et igasugune hõõrdumine või mingi muu pidurdav jõud, mis takistab roolipinni liikumist, suurendab auru sissevoolu klappidele ühelt poolt ja vähendab seda teiselt poolt sellisel viisil, et suureneks pöördemoment, mis püüab viia roolipinni nõutavasse asendisse. Nii püüab tagasisidestussüsteem muuta roolimasina töötamise võimalikult sõltumatuks koormusest.

Teisest küljest, teatavate viivituste jms. puhul, viib liiga järsult mõjuv tagasisidestus rooli nõutud asendist üle ja põhjustab tagasisidestust vastassuunas, mis kutsub esile rooli veelgi suurema kõrvalekaldumise, kuni roolimehhanism satub tugevasse *vabavõnkumisse* ja täielikult kokku

<sup>1</sup> Inglisekeelsel sõnal *input* on tehnikas kaks tähendust: 1) sisen-duskoht, mida väljendab ammu käibel olev oskussõna *sisend* (vene keeles *вход*); 2) *sisenduv* suurus (vahel ka aine), mille eristamiseks eel-misest on siinkohal selle teatavas mõttes panuse tähenduses võetud kasutusele uus oskussõna *sisand*, mis nagu kujutaks lühendkuju sõnast *sisseand*; väljumiskoha — ingliskeelse *output* (venekeelne *выход*) tähenduses on senises kirjanduses käibel kolm erisugust oskussõna: *välje*, *väljand* ja *väljund*; hiljuti otsustas TA Keele ja Kirjanduse Insti-tuudi juures töötav elektrotehnika terminoloogia komisjon valida neist ainsana kasutamiseks viimase, hoolimata käesoleva märkuse koostaja vastuväitest, mis tugines asjaolul, et viimasel ajal oli kirjanduses ja elektrotehnika rakendusosalal töötajate kõnekeeles ülekaal hakanud lan-gema just esimesele; see-eest aga otsustati *välje* võtta kasutusele väl-juva suuruse (ka väärtuse, aine) tähenduses; seda seisukohta peegel-dab juba ka Oigekeelsuse Sõnaraamat; vastavad tegusõnad võiksid olla *sisenema*, *väljuma* ja *sisendama*, *väljundama* ning *sisendus* ja *väljundus*. (Toim.)

variseb. Sellises raamatus nagu McCulli\* oma<sup>1</sup> me leiame tagasisidestuse kohta väga täpse arutelu, tingimused, millistel ta on soodne, ja tingimused, millistel ta kokku variseb. Ta kujutab endast nähtust, mida me kvantitatiivselt seisukohalt väga põhjalikult tunneme.

Oletame nüüd, et ma tõstan pliiaitsit. Et seda teha, pean ma liigutama kindlaid lihaseid. Ent keegi peale väheste vilunud anatoomide ei tea, millised lihased need on; ja isegi anatoomide hulgas leidub väheseid või ainult mõni üksik, kes suudavad sooritada seda liigutust teadlikult — tahte järgi iga vastavat lihast järgemisi kokku tõmmates. Vastupidi, ainuke, mida me võime tahtlikult teha, on *pliiaits üles tõsta*. Kui me oleme seda kord otsustanud, arenevad meie liigutused selliselt, et me võime umbmääraselt ütelda: nende arv, mille puhul pliiaits ei ole veel üles tõstetud, igas tegevusjärgus väheneb. See osa tegevusest ei toimu sugugi täie teadvusega.

Et mingit tegevust sellisel viisil sooritada, peab saabuma närvisüsteemi teadlikult või ebateadlikult aruanne selle liigutuste arvu kohta, mille tõttu meil igal silmapilgul pliiaits on alles tõstmata. Kui me silmad on suunatud pliiaitsile, siis osutub see teade nägemise teel saaduks, vähemalt osaliseltki, kuid suuremal määral on ta tavaliselt kinesteetiline\* ehk, kasutades praegu eriti käibel olevat terminit — proprioretseptiivne\*. Kui proprioretseptiivsed aistingud puuduvad ja me ei asenda neid nägemise või mõnel muul teel saadud aistingutega, siis me oleme võimetud sooritama pliiaitsi tõstmise liigutust, ja seega osutume olevat seisundis, mida tuntakse *ataksiana*\*. Seda liiki ataksia on tavaliseks kesknärvisüsteemi niisuguse süüfilise korral, mida tuntakse *tabes dorsalise*\* nime all, mille puhul seljanärvide kaudu ülekantavad kinesteetilised aistingud on rohkem või vähem kadunud.

Ent ka ülemäärane tagasisidestus on korrapärasele tegevusele samuti tõsiseks takistuseks nagu puudulik tagasisidestuski. Seda võimalust silmas pidades pöördusime härra Bigelow ja mina doktor Rosenbluethi poole väga omapärase küsimusega. Kas on olemas mingeid haiguslikke seisundeid, mille puhul haige, püüdes sooritada teadlikult

<sup>1</sup> McCull, L. Servomechanisms. Van Nostrand, 1945. (On 1946. aasta väljaande järgi ilmunud venekeelses tõlkes: Маккал, Л. Б. Основы теории сервомеханизмов. ИЛ, М., 1947. — Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

mingit liigutust, näiteks tõsta üles pliiats, haarab märgist mööda ja satub ohjeldamatusse võnkumisse? Doktor Rosenblueth vastas meile otsekohe, et on olemas selline hästi tuntud seisund, mida nimetatakse intentsioonitremoriks\* ja et see on sageli seoses väikeaju kahjustustega.

Nii me leidsime kõige tähelepanuväärsema kinnituse oma hüpoteesile seoses vähemalt mõnegi teadliku tegevusega. Tuleb märkida, et meie vaatekoht avardab tunduvalt neurofüsioloogide hulgas esinevat. Kesknärvisüsteemi ei käsitata enam iseseisva elundina, mis võtab vastu sisandeid meeleeelundelt ja suunab nad lihastesse. Vastupidi, mõningad tema kõige iseloomulikumatest talitlustest on seletatavad ainult ringprotsessidena, mis väljuvad närvisüsteemist lihastesse ja suunduvad taas närvisüsteemi läbi meeleeelundite, olgu nendeks siis proprioretseptorid või iseseisvate aistingute tundeelundid. See näib meile tähistavat uut sammu neurofüsioloogia selle osa tundmaõppimises, mis hõlmab mitte ainult närvide ja sünapside\* algelisi muutusi, vaid ka närvisüsteemi talitlusi ühtse tervikuna.

Me kolmekesi tundsimise, et see uus vaatekoht väärib kirjutist, mille me ka koostasime ja avaldasime.<sup>1</sup> Doktor Rosenblueth ja mina nägime ette, et see kirjutis võib olla ainult laiaulatusliku katsetamistöode põhiosa kavanduse tutvustajaks ning me otsustasime, et kui meil kunagi õnnestuks oma teadustevahelise instituudi asutamise kava ellu viia, siis moodustaks see teema peaaegu ideaalse tuumiku meie tegevusele.

Sidetehnika seisukohalt oli härra Bigelow'le ning mulle saanud juba selgeks, et juhtimistehnika ja sidetehnika keerdküsimused on lahutamatud ning et nad keskenduvad mitte elektrotehnika ümber, vaid märksa põhilisema mõiste — teate — ümber, ükskõik kas see antakse üle elektrilisel või mehaanilisel teel või närvide vahendusel. Teade kujutab endast sõredat või pidevat ajas jagunevate mõõdetavate sündmuste jada — täpselt seda, mida statistikud nimetavad aegreaks\*. Teate tulevikku ennustatakse tema mineviku teatud liiki operaatori põhjal, sõltumata sellest, kas see operaator teostatakse matemaatilise arvutussekeemina või mehaanilise või elektriseadmena. Seoses sellega me leidsime, et mõeldavad ennustamise mehhanismid, mis me kõige esmalt kaalumisele võtsime, kannatasid

<sup>1</sup> Rosenblueth, Wiener & Bigelow, «Behaviour, Purpose & Teleology». *Philosophy of Science*, vol. 10, pp. 18—24, 1943.

kahte liiki vea all, millel jämedalt võttes on vastandlik iseloom. Kuigi ennustamisaparaadi, mille me kõige esmalt kavandasime, võis valmistada äärmiselt sujuva kõvera etteaimamiseks igasuguses soovitud lähendusastmes, oli selline tegutsemise täpsus alati saavutatav kasvava tundlikkuse arvel. Mida parem oli aparaat sujuvate muutuste jaoks, seda enam võis ta kalduda võnkumisele väikeste sujuvusest erinevuste korral ja seda kauem võttis aega, enne kui sellised võnkumised kustusid. Nii näis sujuva muutuse hea ennustamine nõudvat peenemat ja tundlikumat aparaati, kui oli vaja selleks, et kõige paremini ennustada konarlikku kõverat; ja eraldi aparaadi valimine, mis oleks kasutatav igal erijuhul, sõltuks ennustatava erakordse nähtuse statistilisest olemusest. See vastandlikku tüüpi vigade paar näis omavat midagi ühist nende vastandlike keerdküsimustega asendi ja hoo mõõtmisel, mis leiduvad Heisenbergi\* kvantmehaanikas\*, kirjeldatuina seoses tema määramatuse printsiibiga\*.

Jõudnud selgesti arusaamisele, et soodsaima ennustamise ülesande lahendus oli saavutatav ainult ennustatavate aegridade statistika appivõtmisega, polnud enam raske muuta see, mis esialgu näis ennustamise teoorias raskusena, millekski, mis osutus tegelikult tõhusaks tööriistaks ennustamise ülesande lahendamisel. Eeldanud aegreale teatava statistika, osutub võimalikuks tuletada antud tehniliste vahenditega ja antud ajavahemikuks tehtava ennustuse vea ruutkeskmise\* kohta täpne avaldis. Ja kui see on meil käes, võime tõlgendada soodsaimalt ennustamise küsimust ülesandena leida eriliiki operaator, mis taandaks miinimumini teatud, sellest operaatorist sõltuva positiivse suuruse. Seda liiki miinimumiülesanded kuuluvad tuttavasse matemaatika harusse — variatsioonarvutusse\*, kus leiduvad märkimisväärsed arvutusvõtted. Nende arvutusvõtete abil õnnestus meil saavutada kõige selgem lahendus aegridade tuleviku ennustamise ülesandele, avaldatuna nende statistilise olemuse põhjal, ja isegi rohkem: saavutada ehitatava aparaadi näol sellele lahendusele füüsikaline teostus.

Kui me olime seda teinud, asetus vähemalt üks insenerilise kavandamise ülesannetest täiesti uude valgusse. Tavaliselt peetakse ju insenerilist kavandamist pigem kunstiks kui teaduseks. Taandanud seda liiki ülesande miinimumi põhimõttele, olime rajanud sellele alale märksa teadusli-

kuma aluse. Meile meenus, et see polnud mitte erandjuhtumiks, vaid et on olemas terve laialdane inseneriline tegevusala, kus selliseid kavandamisülesandeid võib lahendada variatsioonarvutuse meetoditel.

Me asusime ka teiste sellesarnaste ülesannete kallale ja lahendasime neid samadel meetoditel. Nende hulka kuulus ka lainefiltrite\* kavandamise ülesanne. Sagedasti ilmneb, et teadet saastavad kõrvalised häired, mida nimetatakse *taustamüraks*. Sel juhul me seisame ülesande ees taastada esialgne teade või antud eeskujule vastav teade või teatud viivituse teel teisendatud teade — vigadega teate suhtes rakendatava operaatori abil. Selle operaatori ja tema teostamiseks määratud seadme kõige soodsam kavandamine sõltub teate ja müra statistilisest loomusest, nii üksikult võetuna kui ka üheskoos. Nii oleme lainefiltrite kujundamises asendanud menetlused, mis varemalt kujutasid katselist ja üsnagi juhuslikku iseloomu, täiesti teaduslikult põhjendatud menetlustega.

Seega oleme teinud sidetehnikaalasest kavandamisest statistilise teaduse — statistilise mehaanika\* haru. Statistilise mehaanika mõisted on tõepoolest tungimas kõigisse teadusharudesse juba rohkem kui sada aastat. Edaspidi me näeme, et selline statistilise mehaanika valitsev seisund kaasaegses füüsikas etendab väga olulist osa aja olemuse tõlgendamises. Kuid sidetehnika osas on statistilise põhimõtte tähtsus vahetult ilmne. Informatsiooni üleandmist on võimatu säilitada teineteist vastastikku välistavate võimaluste üleandmisena. Kui on tarvis üle anda ainuvõimalikkust, siis võiks selle läkitada kõige tõhusamalt ja kõige väiksema vaevaga sel teel, et ei läkitata üldse mingit teadet. Telegraaf ja telefon saavad täita oma ülesannet ainult siis, kui teated, mida nad üle annavad, pidevalt muutuvad mingil viisil, mis nende mineviku põhjal täielikult määratav ei ole ning on edukalt lahtimõtestatavad vaid siis, kui nende teadete muutumine toimub mingisuguse statistilise seaduspärasuse põhjal.

Et sidetehnikat oleks võimalik sellelt seisukohalt käsitleda, tuli meil välja arendada *informatsioonikogust* käsitlev statistiline teooria, milles informatsioonikoguse ühikuks oli see informatsioon, mida antakse üle üksiku otsustusena ühevõrra tõenäoliste ja teineteist vastastikku välistavate hulgas. See mõte tekkis peaaegu üheaegselt mitmel inimesel, sealhulgas statistikul R. A. Fisheril\*, doktor

Shannonil\* Belli Telefonilaboratooriumist ja käesoleva autoril<sup>1</sup>. Fisheri põhjendus selle küsimuse uurimises lei-  
dub klassikalises statistika teoorias; Shannoni oma infor-  
matsiooni koodimise\* küsimuses; ning autori oma elektri-  
filtrites esineva müra ja teate vahekorra küsimuses. Olgu  
vahemärkusena tähendatud, et mõned minu mõttemõlgutu-  
sed selles suunas ühtivad sellistega Kolmogorovi<sup>2</sup> vara-  
semas töös Venemaal, kuigi olulisem osa minu tööst oli  
tehtud enne, kui mu tähelepanu oli juhitud vene koolkonna  
töele.

Informatsioonikoguse mõiste on enesestmõistetavalt  
seoses klassikalise mõistega statistilises mehaanikas —  
nimelt *entroopiaga*\*. Täpselt samuti nagu informatsiooni-  
kogus mingis süsteemis on selle korraldumismäära mõõ-  
dupuuks, nii on süsteemi entroopia tema korraldamatuse  
määra mõõdupuuks; ja üks võrdub teise negatiivse väärtusega.  
See vaatepunkt viib meid reale arutlustele termo-  
dünaamika\* teise seaduse osas ja Maxwelli demonitena\*  
tuntud olendite võimalikkuse uurimisele. Sellised küsimu-  
sed kerkivad sõltumata ensüümide\* ning teiste katalüsaatorite\*  
uurimisest ja nende uurimine omab olulist tähtsust  
elavainesesse puutuvate selliste põhiliste erakordsete nähtuste,  
nagu ainevahetuse ja paljunemise õigeks tundmaõppimiseks.  
Kolmandaks põhiliseks erakordseks elunähtuseks, mis kuulub  
sideteooria valdkonda ja mida hõlmab meie poolt äsja käsitletud  
mõtete rühm, on ärritatus<sup>3</sup>.

Niiviisi oligi kuni neli aastat tagasi doktor Rosenbluethi ja  
minu ümber koondunud rühm teadlasi juba märganud, et kõigil,  
kas masinas või eluskoes esinevatel

<sup>1</sup> Vt. Shannon, C. E., Weaver, W.\* «*The Mathematical Theory of Communication*». The University of Illinois Press, Urbana, 1949. (Selle raamatu osaline venekeelne tõlge leitud kogumikus: «*Теория передачи электрических сигналов при наличии помех*», под ред. Железнова, Н. А., ИЛ, М., 1953 — Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

<sup>2</sup> Kolmogoroff, V. A. «*Interpolation und Extrapolation von stationären zufälligen Folgen*». *Bull. Acad. Sci. U.S.S.R. Sec. Math.*, 5, 3—14 (1941). (Vene keeles: Колмогоров, А. Н. «*Интерполирование и экстраполирование стационарных случайных последовательностей*». *Изв. АН СССР, сер. мат.*, т. 5, стр. 3—14, 1941. — Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

<sup>3</sup> Schrödinger, Erwin\*, «*What is Life?*» Cambridge U. Press., Cambridge, Eng., 1945. (On ilmunud venekeelses tõlkes: Шредингер, Э. «*Что такое жизнь с точки зрения физики*», ИЛ, М., 1947. — Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

side, juhtimise ja statistilise mehaanika ümber keskenduvatel probleemidel on täielik ühtsus. Teisest küljest aga takerdusime me tõsiselt seetõttu, et puudus ühtlus neid probleeme käsitlevas kirjanduses ja puudus igasugune ühine oskussõnavara ning kas või isegi ühendav nimetus selle ala jaoks. Pärast kestvaid kaalutlemisi me jõudsimme järeldusele, et kogu olemasolev oskussõnavara on liiga raskepärane ja nii või teisiti liialt ühekülgne selleks, et pakkuda nimetatud alale tulevikus niisugust arengut, nagu ta seda vajaks; ning nagu teadlastega on nii sageli juhtunud, olime lõpuks sunnitud välja mõtlema kunstliku uus-kreeka väljendi, et seda lünka täita. Me otsustasime tähistada kogu kas masinas või ka loomas toimuva juhtimise ja side teooriat käsitleva ala nimetusega *küberneetika*, tuletatuna kreekakeelsest sõnast *κυβερνήτης* ehk *tüürimees*. Selle oskussõna valimisega me tahtsime tunnustavalt möönda, et esimeseks märkimisväärseks tööks tagasisidesusmehhanismide alal<sup>1</sup> on artikkel regulaatoritest, mille avaldas Clerk Maxwell\* aastal 1868, ja et regulaatorit inglise keeles väljendav sõna *governor* pärineb sõna *κυβερνήτης* ladina-keelsest moonutisest. Samuti tahtsime me viidata sellele tõsiasi-ale, et laevade roolimasinad on tõepoolest ühtedeks vanemateks ja kõige paremini väljaarendatud tagasisidesusmehhanismideks.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maxwell, J. C. «On Governors», Proc. Roy. Soc. (London), March 5, 1868, pp. 105—120. (On ilmunud venekeelses tõlkes raamatus: Максвелл, Д. К., Вышнеградский, И. А.\*, Стодола, А.\* «Теория автоматического регулирования». Изд-во АН СССР, М., 1949, lk. 9—29. — Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.).

<sup>2</sup> Siin on venekeelsele tõlkele selle toimetaja poolt lisandatud järgnev alltekst. «Nagu selgub, ei osutu sõna «küberneetika» (*κυβερνήτης*) sugugi neologismiks. Teda kohtab üsnagi sageli Platonil\*, kellel ta tähistab laeva juhtimise kunsti, tüürimehekunsti, tavaliselt otseses mõttes ja vähemalt ühel korral ülekanud mõttes — inimeste juhtimise kunsti tähenduses (vt. Guilbaud, G. T.\*, *La cybernétique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1954, pp. 6—7). Aastal 1834 tuntud prantsuse füüsik Ampère\*, kes tegeles ka teaduste liigitamise küsimustega, nimetas muistsete teadlaste eeskujul küberneetikaks riigi juhtimist käsitleva teaduse. Selles tähenduses on see sõna võetud mitmes XIX sajandi tuntud sõnaraamatusse. Ampère'i järgi kuulub küberneetika koos «etnodiitsiaga» (rahvaste õigusi käsitleva teadusega), diplomatiaga ja «võimuteooriaga» poliitiliste teaduste hulka, kusjuures küberneetika ja võimuteooria moodustasid tal «poliitika sõna otseses mõttes». (Vt. Ampère, A.-M., *Essai sur la philosophie des sciences*, 2nd partie, Bachelier, Paris, 1843, Chapitre IV, § IV, pp. 140—142.)» (Toim.).

Vaatamata sellele, et oskussõna *küberneetika* ilmus alles 1947. aasta suvel, pidasime sobivaks kasutada teda ka seal, kus tuleb viidata selle ala varasematele arengujärkudele. Aastast 1942 või selle paiku kerkis kõnesoleva aine areng esile täiel rindel. Esmakordselt kandis Bigelow', Rosenbluethi ja Wieneri ühises kirjutises avaldatud mõtted doktor Rosenblueth ette nõupidamisel, mis toimus 1942. aastal New Yorgis Josiah Macy\* sihtasutuse lahkkel korraldusel ja oli pühendatud närvisüsteemis esineva keskse pidurduse küsimustele. Sellest nõupidamisest osavõtjate hulgas viibis ka doktor Warren McCulloch\* Illinoisi ülikooli arstiteaduskonnast, kes oli juba varem doktor Rosenbluethi ja minuga ühenduses ning tundis huvi ajukoore talitluse uurimise vastu.

Sellest ajast alates kerkis esile tegur, mida kohtab küberneetika ajaloos korduvalt — matemaatilise loogika mõju. Kui mul tuleks valida küberneetikale teaduse ajaloost kaitsepühak, siis ma valiksin Leibnizi. Viimase filosoofia keskendub kahe tihedas seoses oleva üldmõiste ümber — universaalse sümboolika\* ja arutluste arvutamise ümber. Nendest põlvnevad tänapäeva matemaatiline tähistusviis ja matemaatiline loogika\*. Samuti nagu aritmeetika arvutusvõtted kohandusid mehhaniseerimise arenedes arvelaua ja käsiarvuti kaudu tänapäeva ülikiireteks arvutiteks, nii on ka Leibnizi *calculus ratiocinator*\* peitnud endas *machina ratiocinatrix*'i — mõtleja masina — idusid. Tõepoolest, Leibniz ise, samuti nagu tema eelkäija Pascalgi\*, tundis huvi metallist arvutite ehitamise vastu. Seepärast polegi lõpuks imekspandav, et seesama vaimne tõuge, mis oli viinud matemaatilise loogika väljakujundamisele, oli ühtlasi viinud välja ka kujuteldavale või tegelikule mõtlemistegevuse mehhaniseerimisele.

Matemaatiline tõestus, mida me võime jälgida, on avaldatav kirjalikult lõpliku arvu tähiste abil. Tegelikult võivad need tähised väljendada ka lõpmatuse mõistet, kuid see väljendus on midagi sellist, mille me võime võtta kokku lõplikuks arvuks järkudeks; nii nagu matemaatilise induktiooni puhulgi, milles me tõestame parameetrist  $n$  sõltuva teoreemi kehtivuse  $n=0$  korral, ja siis tõestame, et olukord  $n+1$  järeldeb olukorrast  $n$ , olles sellega teinud kindlaks teoreemi kehtivuse  $n$  kõigi positiivsete väärtuste kohta. Pealegi peab meie deduktiivses\* mõtlemistegevuses tavaliselt esinema piiratud arv tehteid, isegi kui see võiks näida

teisiti seetõttu, et viidatakse üldmõistele lõpmatuses, mis ise on väljendatav lõplike avaldiste kaudu. Lühidalt, on saanud täiesti ilmseks mõlemale, niihästi nominalistidele\* nagu Hilbert\* kui ka intuitsionistidele\* nagu Weyl\*, et mingi matemaatilis-loogilise teooria areng allub samalaadi kitsendustele, mis piiravad mingi arvuti tegutsemistki. Nagu me hiljem näeme, on sel teel isegi võimalik ära seletada Cantori\* ja ka Russelli\* paradoksid\*.

Mina isiklikult olen Russelli omaaegne üliõpilane ja võlgnen palju tema mõjutuse eest. Doktor Shannon võttis oma doktoriväitekirja teema Massachusettsi Tehnoloogia Instituudis Boole'i\* klassikalisest klasside algebrast\*, et uurida lülitamisseadiseid elektrotehnikas<sup>1</sup>. Turing\*, kes on võib-olla esimene nende seas, kes vaimse katsena on uurinud masina loogilisi võimeid, teenis sõja ajal Briti valitsust elektroonika alal ja on nüüd vastutav selle kava täitmise eest, mille on endale võtnud Teddingtoni Rahvuslik Füüsikalaboratoorium, et arendada moodsat tüüpi arvuteid.

Teise noorena siirdus matemaatilise loogika alalt küberneetika alale Walter Pitts\*. Ta oli olnud Carnapi\* üliõpilaseks Chicagos ja tal oli olnud sidemeid professor Rashevskyga\* ning viimase biofüüsikute\* koolkonnaga. Olgu muide tähendatud, et see rühm on selleks palju kaasa aidanud, et juhtida matemaatikameelsete tähelepanu bioloogiateaduste võimalustele, kuigi mõnedele meist võib näida, et nad olid liialt haaratud energia ja potentsiaali\* probleemidest ning klassikalise füüsika meetodeist, kui et neil oleks võimalik töötada kõige paremini selliste süsteemide uurimise kallal, nagu seda on närvisüsteem, mis on väga kaugel sellest, et olla hõlmatav energeetiliselt.

Härä Pittsil oli hea õnn sattuda McCullochi mõju alla ja nad asusid kahekesi üsna varakult tööle sõlmküsimumuste kallal, mis hõlmasid närvikiudude ühinemist sünapside süsteemideks, millel oleksid antud üldomadused. Sõltumata Shannonist rakendasid nad matemaatilise loogika meeto-

<sup>1</sup> Venekeelsele tõlkele on lisandatud selle toimetaja poolt järgnev alltekst. «Boole'i klasside algebra on loogiline arvutusviis, mis on saanud oma nimetuse inglise XIX sajandi matemaatikult ja loogikult George Boole'ilt. Shannoni mainitud uurimused on leidnud käsitelu kirjutistes, mis on avaldatud *Trans. AIEE*, vol. 57, 1938, p. 713 ja *Bell System Tech. J.*, 1949, vol. 28, № 1, p. 59.» (Toim.)

deid eelkõige lülitamisel esinevate probleemide käsitlemiseks. Nad tõid juurde mõisteid, mida ei paistnud silma Shannoni varajasemas töös, seevastu aga mõjutasid neid kahtlemata Turingi mõtted: aja ärakasutamine parameetrimina\*, perioodilist protsesside kordumist ohjeldavate võrkude ja sünaptiliste ning muude viivituste arvessevõtmine<sup>1</sup>.

Suvel 1943 kohtasin ma doktor J. Lettvinit Bostoni linnahaiglast, kes oli väga huvitatud närvitegevusse puutuvatest andmetest. Ta oli härra Pittsi hea sõber ja tutvustas mulle tema tööd<sup>2</sup>. Ta veenas härra Pittsi sõitma Bostonisse ja isiklikult tutvuma doktor Rosenbluethi ning minuga. Me tervitasime tema tulekut meie rühma. Härra Pitts tuli Massachusettsi Tehnoloogia Instituuti 1943. aasta sügisel, eesmärgil töötada minuga koos ja täiendada oma teadmisi matemaatika alal, et uurida uut teadust — küberneetikat, mis oli selleks ajaks küll tegelikult juba sündinud, kuid alles ristimata.

Matemaatilise loogikaga ja neurofüsioloogiaga oli härra Pitts tol ajal juba põhjalikult tuttav, kuid tehnikaga kokupuutumiseks oli tal olnud väga vähe võimalusi. Hoopiski ei olnud ta tuttav doktor Shannoni tööga ja tal polnud kuigi palju kogemusi elektroonikas\* esinevate võimaluste alal. Ta oli väga huvitatud, kui ma näidiste varal tutvustasin teda ajakohaste vaakuumtorudega ja seletasin talle, et need on täiuslikemateks vahenditeks tema neuroniahelike ja -süsteemidega samaväärsete teostamiseks metallis. Sellest ajast peale oli meile selge, et ülikiire arvuti, põhinedes jadastikustel lülitamiseadistel, osutub peaaegu täiuslikuks mudeliks närvisüsteemi suhtes kerkivate sõlmkõsimuste selgitamisel. Neuronite ergastumise iseloom «kas sootuks või hoopiski mitte» on täpselt samalaadne ühe valikuga, mis toimub arvu ühe numbri määramisel kahendsüsteemis, mida rohkem kui üks meist on juba käsitanud arvutite kavandamise kõige sobivama alusena. Sünapts pole midagi muud

<sup>1</sup> Turing. *Journal of The London Mathematical Society*. II, 2. 42, 230—265 (1936).

<sup>2</sup> McCulloch, W. S. and Pitts, W., «A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity». *Bull. Math. Biophys.*, 5, 115—133 (1943). (On ilmunud venekeelses tõlkes: Мак-Каллох Уоррен С., Питтс Вальтер, «Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности» raamatus «Автоматы», пер. под. ред. Ляпунова, А. А., ИЛ, М., 1956, lk. 362—384. — Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

kui mehhanism, mis määrab, kas teiste iseseisvate üksik-  
osade väljete teatud kombinatsioon toimib või ei toimi  
täiesti samaväärse ärritusena järgmise üksikosa ergastu-  
miseks, ja tema täpseks analoogiks\* peab olema arvuti.  
Loomal esineva mälu olemuse ja mitmekesisuse tõlgenda-  
mise ülesandega kõrvutatavaks ülesandeks on tehismälude  
ehitamine arvutile.

Samal ajal aga oli ilmne, et arvutite ehitamisel on  
sõjaks ettevalmistumise mõttes palju suurem tähtsus kui  
doktor Bushi esialgse arvamusel järgi oleks võinud näida,  
ja see töö edenes eri keskustes sellises suunas, mis kuigi  
palju ei erinenud tollest, mille oli kätte näidanud minu  
varasem ettekanne. Harvard, Aberdeeni Katsepolügon ja  
Pennsylvania Ülikool juba ehitasid arvuteid ning peagi olid  
sellel alal tööle asumal ka Princetoni Kõrgemate Õpingute  
Instituut ja Massachusettsi Tehnoloogia Instituut. Selle töö  
käigus esines järkjärguline üleminek mehaaniliselt koosti-  
selt elektrilisele koostisele, kümnendsüsteemilt kahendsüs-  
teemile, mehaanilistelt releedelt elektrilistele releedele, ini-  
mese poolt suunatavalt tegutsemiselt automaatselt suunata-  
vale tegutsemisele ja, lühidalt öeldes, vastas iga uus arvuti  
rohkem kui eelmine neile märkustele, mis ma doktor Bushile  
olin saatnud. Pidevalt lahkus ja saabus neid, kes nende  
alade vastu huvi tundsid. Meil oli soodne võimalus teha  
endi mõtted teatavaks oma ametivendadele, eriti doktor  
Aikenile\* Harvardist, doktor von Neumannile\* Kõrgemate  
Õpingute Instituudist ja doktor Goldstine'ile\* masinate  
Eniac<sup>1</sup> ja Edvac<sup>2</sup> juurest Pennsylvania Ülikoolis. Kõikjal  
sattusime me kuulajatele, kes elasid meile kaasa, ja inse-  
neride sõnastikku hakkas peagi segunema neurofüsioloogide  
ning psühholoogide\* oskussõnu.

<sup>1</sup> **Eniac** (ehk hilisemas kirjanduses tavaliselt ENIAC) — Electro-  
nic Numerical Integrator and Automatic Calculator ehk tõlkes «numb-  
riiline elektronintegraator ja automaatne arvuti» — esimene ameerika  
elektronarvuti; ehitati sõja ajal Pennsylvania Ülikoolis Philadelphias  
USA sõjaväe relvastuse valitsusele. Avalikult tutvustati teda esmakord-  
selt 1946. aasta veebruaris ja ta oli seejärel kasutusel Aberdeeni Katse-  
polügooni ballistikalaboratooriumis Marylandis Ameerika Ühendriikides.  
(Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

<sup>2</sup> **Edvac** (ehk hilisemas kirjanduses tavaliselt EDVAC) — «Elektro-  
nic Discrete Variable Automatic Computer ehk tõlkes «sõredate muu-  
tujate automaatne elektroonne arvuti» — teine elektronarvuti, mis ehi-  
tati Pennsylvania Ülikoolis; oli määratud Aberdeeni Katsepolügooni bal-  
listikalaboratooriumile Marylandis Ameerika Ühendriikides. (Venek.  
tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

Asjaolude sellist arengut arvestades pidasime doktor von Neumann ja mina soovitavaks korraldada ühine nõupidamine kõigi nendega, kes tundsid huvi selle vastu, mida me nüüd nimetame küberneetikaks, ja see nõupidamine leidis aset Princetonis 1943.—1944. aasta talve lõpupoole. Insenerid, füsioloogid ja matemaatikud, kõik olid esindatud. Doktor Rosenbluethi viibimine meie hulgas osutus võimatuks, sest ta oli äsja võtnud vastu kutse tegutseda füsioloogia-laboratooriumide juhatajana Rahvuslikus Kardioloogia Instituudis Mehhikos, kuid füsiolooge esindasid doktor McCulloch ja doktor Lorente de Nó\* Rockefelleri\* Instituudist. Doktor Aikenil polnud võimalik kohal viibida; ent doktor Goldstine oli üheks mitmete arvutite loojate rühmast, kes nõupidamisest osa võttis, doktor von Neumann, härra Pitts ja mina ise aga olime matemaikuteks. Füsioloogid andsid küberneetika küsimustele ühise tõlgenduse oma vaatekohalt, samuti nagu arvutite loojad esitasid omad meetodid ja eesmärgid. Nõupidamise lõppedes oli saanud kõigile selgeks, et erisugustel aladel töötajate vahel esineb põhimõtetes tugev üksmeel, et igasse rühma kuuluvad inimesed võivad juba kasutada mõisteid, mida teised on paremini arendanud, ja et tuleks teha teatavaid katseid ühise sõnavara saavutamiseks.

Hulk aega enne seda oli doktor Warren Weaveri juhendusel sõjalisi uurimisi toimetav rühm kirjastanud, algul salajasena, hiljem piirajult kasutamiseks aruande, mis käsitles härra Bigelow' ning minu tööd ennustusseadmete ja lainefiltrite kohta<sup>1</sup>. Ilmnes, et lennukitõrjetule tingimused ei õigustanud kõverjoone ennustamise jaoks eriliste aparaatide loomist, kuid põhimõtted osutusid õigeteks ja praktilisteks ning neid on valitsus ära kasutanud silumise otstarbel ja mõnedel sellega seoses olevatel aladel. Eriti näib seda tüüpi integraalvõrrand, millele variatsioonarvutus ülesande taandab, esinevat lainejuhtmete küsimustes ja paljudes teistes rakendusmatemaatikas huvi pakkuvates küsimustes. Nii olidki sõja lõpuks ennustusteooria ja side-tehnikale statistilise lähenemise põhimõtted ühel või teisel teel tuttavad juba suurele osale Ameerika Ühendriikide ning Suurbritannia statistikutele ja sideinseneridele. Ka olid selleks ajaks olemas minu valitsusearuanne, mille trükk oli

<sup>1</sup> Nagu Wieneri teises raamatus on märgitud, ilmus see sõjaline aruanne veebruaris 1942. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

nüüd lõppenud, ja suur hulk selgitavaid kirjutisi Levinsonilt, Wallmannilt, Daniellilt\*, Phillipsilt\* ning teistelt<sup>1</sup>, mis olid kirjutatud selle lünga täitmiseks. Mul enesel oli mitu aastat olnud käsil pikem matemaatiline selgitav kirjutis, et panna minu poolt tehtud tööd jäädavaks kirja, kuid mitte täiesti minust enesest sõltuvad asjaolud takistasid selle viivitamatut avaldamist. Lõpuks, pärast Ameerika Matemaatika Ühingu ja Matemaatilise Statistika Instituudi ühist nõupidamist, mis toimus New Yorgis 1947. aasta kevadel ja oli pühendatud tõenäosuslike protsesside uurimisele vaatekohalt, mis oli tihedas seoses küberneetikaga, andsin ma oma käsikirja juba valmiskirjutatud osa üle professor Doobile\* Illinoisi Ülikoolist, et ta selle oma kirjutusviisis ja vastavalt oma mõtetele avaldaks raamatuna Ameerika Matemaatika Ühingu Matemaatiliste Ülevaadete sarjas<sup>2</sup>. Osa oma tööst olin ma juba avaldanud loengutekursuses Massachusettsi Tehnoloogia Instituudi matemaatikaosakonnas suvel 1945. Peagi pöördus seejärel Hiinast tagasi mu endine õpilane ja kaastöötaja<sup>3</sup> doktor Y. W. Lee. Ta luges sügisel 1947 Massachusettsi Tehnoloogia Instituudi elektrotehnikaosakonnas kursust lainefiltrite ja selle taoliste seadmete kavandamise uute meetodite kohta ning kavatses töötada nende loengute materjali ümber raamatuks. Samal ajal peab minema uustrükki ka valitsusearuanne, mille esialgne trükk on lõppenud<sup>4</sup>.

Nagu ma juba ütlesin, pöördus doktor Rosenblueth Mehhikosse tagasi umbes 1944. aasta algul. Kevadel 1945 sain ma Mehhiko Matemaatika Ühingult kutse võtta osa nõupidamisest, mis pidi toimuma sama aasta juunis Guadalajaras<sup>5</sup>. Seda küllakutset toetas omalt poolt ka Teadus-

<sup>1</sup> Levinson, *J. Math. and Physics* (M. I. T.), 1947.

<sup>2</sup> Selle tulemusena ilmus raamat: Doob, J. L., *Stochastic Processes*, Wiley-Chapman & Hall, New York — London, 1953, mis on avaldatud venekeises tõlkes: Дуб, Дж. Л., *Вероятностные процессы*, ИЛ, М., 1956. Selle eessõnas märgib Doob, et 12. peatükk, mis on pühendatud lineaarse ennustamise (prognoosimise) teooriale, on kirjutatud N. Wieneri abiga. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

<sup>3</sup> Lee, Y. W., *J. Math. and Physics* (M. I. T.), 1932.

<sup>4</sup> Uustrükina peab N. Wiener silmas oma raamatu «*Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series*», Technology Press of M. I. T. — John Wiley & Son, New York — Chapman & Hall, London, 1949 ilmumist. Selle raamatu eessõnas viitab Wiener nõukogude matemaatikute A. N. Kolmogorovi ja P. A. Kozuljajevi\* töödele. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

<sup>5</sup> Mehhiko suuruselt teine linn. (*Toim.*)

liku Uurimistöö Edendamise ja Kooskõlastamise Komisjon<sup>1</sup>, mis töötas doktor Manuel Sandoval Vallarta juhatusel, kellest ma juba kõnelesin. Doktor Rosenblueth kutsus mind osa võtma mõnedest teaduslikest uurimistöödest koos temaga ja Rahvuslik Kardioloogia Instituut oma direktori doktor Ignacio Cháveziga\* eesotsas pakkus mulle oma külalislahkust.

Ma veetsin tollal Mehhikos umbes kümme nädalat. Doktor Rosenblueth ja mina otsustasime jätkata poolikut tööd, mille üle me olime juba mõtteid vahetanud doktor Walter B. Cannoniga, kes samuti viibis doktor Rosenbluethi juures külaskäigul, mis õnnetuks osutus tema viimseks. See töö käsitles seost, mis ilmneb ühelt poolt langetõve\* puhul esinevate tooniliste\*, klooniliste\* ja järk-järgult korduvate krampide\* ning teiselt poolt südame toonilise spasmi\*, tuikamise ja fibrillatsiooni\* vahel. Meile tundus, et südamelihase, kujutades endast ärritatavat kudet, on juhtetoime uurimiseks samavõrra ära kasutatav nagu närvikudegi, ja pealegi, et südamelihase kiudude anastomoosid\* ja ristumised osutuvad meile lihtsamini uuritavaks nähtuseks, kui seda on närvisünapside küsimus. Ka olime me väga tänulikud doktor Chávezile tema tingimusteta külalislahkuse eest, ja ehkki Instituudis pole kunagi olnud tavaks piirata doktor Rosenbluethi tegevust ainult südame uurimisega, olime me tänulikud soodsa võimaluse eest töötada kaasa nende põhiülesande täitmisel.

Meie uurimistöö omaõnds kaks eesmärki: kahe- või enamamõõtmelises ühtlases juhtekeskonnas esineva juhtivus- ja peitenähtuse tundmaõppimine ja korrapäratute juhtekoevõrkude juhtevõime statistiline tundmaõppimine. Esimene neist viis meid südameklõppimise\* teooria algmetele, teine teatavale võimalikule fibrillatsiooni seletusele. Selle töö mõlemad küljed ilmsid meie poolt avaldatud kirjutises<sup>2</sup>, ja ehkki mõlemas asjas esines vajadus meie esialgseid järeldusi tunduval määral parandada ja täiendada, asus südameklõppimist käsitlevat tööd uuesti läbi töötama härra Oliver G. Selfridge\*, Massachusettsi Tehnoloogia Instituudist, kuna südamelihasevõrkude tundmaõppimiseks kasutatud statistilist viisi on härra Walter Pitts,

<sup>1</sup> Alkujul: Comisión Instigadora y Coordinadora de la Investigación Científica. (Toim.)

<sup>2</sup> Wiener, N., Rosenblueth, A., «Conduction of Impulses in Cardiac Muscle». *Arch. Inst. Cardiol. Mex.* 16: 205: 265.

praegune John Simon Guggenheimer \* Sihtasutuse liige rakendanud ka neuronivõrkude käsitlemiseks. Katselist uurimistööd jätkab doktor Rosenblueth, keda abistab doktor F. Garcia Ramos \* Rahvuslikust Kardioloogia Instituudist ja Mehhiko Sõjaväe Arstiteaduse Ülikoolist.

Mehhiko Matemaatika Ühingu nõupidamisel Guadalajaraas doktor Rosenblueth ja mina esitasime mõnda oma tulemustest. Me olime juba jõudnud järeldusele, et meie omaaegsed koostöökavatsused on osutunud teostatavaks. Me olime üsnagi õnnelikud, et meil avanes võimalus esitada oma tulemusi suuremale kuulajaskonnale. Kevadel 1946 oli doktor McCulloch saavutanud Josiah Macy' Sihtasutusega kokkuleppe esimese kohta reast nõupidamistest, mis pidid toimuma New Yorgis ja olema pühendatud tagasisidestuse küsimustele. Neid nõupidamisi juhatati Macy' tava kohaselt, mille oli väga edukalt juurutanud doktor Frank Fremont-Smith \*, kes neid sihtasutuse nimel korraldas. Oli olnud põhimõtteks koguda kokku mõõdukas, arvult mitte palju üle paarikümne ulatuv rühm mitmesugustel sugulasaladel töötajaid ja hoida neid paar päeva järgmööda, kogu päeva üksteisele järgnevate vorminõudeile mittealluvate ettekannete, mõttevahetuste ja einetustega koos, kuni neil on olnud võimalik läbi sõeluda endi lahk- arvamused ning jõuda edukalt ühistele mõtlemissuundadele. Meie nõupidamiste tuumikuks oli sama rühm, kes oli kogunenud Princetonis 1944. aastal, kuid doktorid McCulloch ja Fremont-Smith olid näinud õigesti küsimuse psühholoogilist ja sotsioloogilist \* külge ning kutsunud rühma juurde mitmeid juhtivaid psühholooge, sotsiolooge ja antropolooge \*. Psühholoogide kaasatõmbamise vajalikkus oli tõepoolest olnud ilmne juba algusest peale. See, kes õpib tundma närvisüsteemi, ei saa unustada mõistust, ja see, kes õpib tundma mõistust, ei saa unustada närvisüsteemi. Suur osa psühholoogiast osutus möödunud aegadel tegelikult ei millekski muuks kui väliste meeleeelundite füsioloogiaks; ja kogu raskuspunkt kõigis neis mõtetes, mida küberneetika psühholoogiasse sisse toob, lasub nende ajukoore ülimal määral spetsialiseerunud piirkondade füsioloogial ja anatoomial, mis on ühendatud nende väliste meeleeelunditega. Me oleme algusest peale eeldanud, et geštaldi \* tajumise ehk üldmõiste tajumusliku kujundumise küsimus peakski osutama sellist loomust omavaks. Mis on selleks elundkonnaks, mille abil me tunneme ära ruudu kui

ruudu, hoolimata tema asendist, tema mõõtudest ja tema paigutusest? Et abistada meid niisugustes asjades ja saada selgitust selle kohta, missugust kasu meie mõistetele võiks nendepoolne abistamine tuua, viibisid meie hulgas sellised psühholoogid, nagu professor Klüver Chicago Ülikoolist, kadunud doktor Kurt Lewin \* Massachusettsi Tehnoloogia Instituudist ja doktor M. Ericsson New Yorgist.

Mis puutub sotsioloogiasse ja antropoloogiasse, siis on ilmne, et informatsiooni ja side tähtsus korraldumisvahenditena ulatub üksikolendist väljapoole — kogukonda. Ühelt poolt on täiesti võimatu mõista niisuguseid ühiskondlikke seltsinguid, nagu seda on sipelgate oma, ilma põhjalikult uurimata nende sidevahendeid, ja me olime üsnagi õnnelikud, saades doktor Schierdalt \* abi selles asjas. Samasuguste küsimuste osas inimühistu alal otsisime me abi antropoloogidelt doktoreilt Batesonilt \* ja Margaret Meadilt \*; doktor Morgenstern Kõrgemate Õpingute Instituudist aga oli meile nõuandjaks ühiskondliku korraldumise sellel tähtsal alal, mis kuulub majandusteooria valdkonda. Tema väga tähtis raamat mängudest<sup>1</sup>, mis on kirjutatud koos doktor von Neumanniga, kujutab muide äärmiselt huvitavat uurimust ühiskondliku korraldumise kohta nende meetodite seisukohalt, mis küll küberneetikast erinevad, kuid on selle ainestikuga siiski lähedas seoses. Doktor Lewin ja teised esitasid värskemaid tulemusi veendumuste selgitamise teooria ja veendumuste kujunemise tegelikkuse alal ning doktor F. C. S. Northrup \* tundis huvi meie töö filosoofilise tähenduse kindlakstegemise vastu.

See muidugi ei taha olla meie rühma täielikuks loeteluks. Me laiendasime oma rühma ka selleks, et hõlmata rohkem insenere ja matemaatikuid, selliseid nagu Bigelow ja Savage \*, rohkem neuroanatoome \* ja neurofüsiolooge, nagu von Bonin ning Lloyd \*, ja teisi. Meie esimene nõupidamine, mis toimus kevadel 1946, oli suurelt osalt pühendatud selgitavatele ettekannetele nendelt meie hulgast, kes olid võtnud osa Princetoni nõupidamisest, ja antud ala tähtsuse kohta üldise hinnangu andmisele kõigi kohalviibijate poolt. Nõupidamine väljendas arvamust, et küberneetika peituvad mõtted on küllaltki tähtsad ja huvitavad sel-

<sup>1</sup> On silmas peetud raamatut: Neumann, J., Morgenstern, O. *Theory of Games and Economic Behaviour*. Princeton University Press, 1943 (1st ed.); 1947 (2nd ed.). (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

leks, et nad praegusel ajal õigustaksid meie nõupidamiste jätkumist kuuekuiste vaheaegade järel ja et enne järgmist üldist nõupidamist peaks leidma aset kitsam nõupidamine matemaatikas vähem kogenenute jaoks, et selgitada neile nii lihtsas keeles kui võimalik asjasse puutuvate matemaatiliste mõistete olemust.

Suvel 1946 pöördusin ma Rockefelleri Sihtasutuse toetusel ja Rahvusliku Kardioloogia Instituudi külalislahkust ära kasutades Mehhikosse tagasi, et jätkata koostööd doktor Rosenbluethi ja minu vahel. Sel korral me otsustasime valida närviprobleemi otseselt tagasisidestuse küsimuses ja vaadata, mida me katseliselt sellega teha saame. Me valisime katseloomaks kassi ja uuritavaks lihaseks quadripiceps extensor femorise\*. Me lõikasime lihasel kõõluse läbi, kinnitasime ta hoova külge teatud pinge all<sup>1</sup> ja registreerisime tema kokkutõmbumisi kas isomeetriliselt\* või isotooniliselt\*. Ka kasutasime me ostsillograafi, et registreerida samaaegseid elektrilisi muutusi lihases eneses. Me töötasime peamiselt kassidega, kellel esmalt oli ajutalitlus eetriga uimastamise teel halvatud ja kes siis olid seljaaju rindmikulise läbilõikega muudetud spinaalseks\*. Mõnel juhul kasutati reflektorse\* vastukaja tugevdamiseks strühniini\*. Lihast koormati kuni sellise määran, et kerge koputus kutsuks tas esile perioodilise kokkutõmbumiste värina, mis füsioloogide keeles kannab nimetust *kloonus*. Me jälgisime seda kokkutõmbumiste värinat, pannes tähele kassi füsioloogilist seisundit, lihase koormust, võnkesagedust, võnkumise põhitaset ja tema amplituudi\*. Neid me püüdsime analüüsida nii, nagu oleksime me analüüsinud mehaanilist või elektrilist seadmetikku, milles ilmneb vabavõnkumisena samasugune värin. Me näiteks rakendasime McCulli raamatus jälgivseadmete\* kohta leiduvaid meetodeid. Siin pole koht selleks, et kogu tähenduses käsitleda meie tulemusi, mida me praegu meelde tuletame ja ette valmistame avaldamise eesmärgil kirjapanemiseks. Ent siiski on järgnevad väited kas tõestatud või väga tõenäolised: et kloonilise võnkumise sagedus sõltub koormustingimuste muutumisest palju vähem, kui me olime eeldanud, ja et ta on palju lähemalt määratud liigutusnärvist, lihasest, närvi liigutusaistingu lõpmest, tundenärvist, kesknärvisüsteemi

<sup>1</sup> Jutt on elastsest pingest, s. o. jõuühikutes mõõdetavast pingest. (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

sünapsist ja liigutusnärvist moodustuva suletud kaare jäävate omadustega kui millegi muuga. Isegi ligikaudselt pole see ahelik lineaarsete operaatorite ahelikuks, kui me võtame lineaarsuse aluseks liigutusnärvi kaudu sekundis üleantud impulsside arvu, kuid näib muutuvat palju lähemaks sellele, kui me asendame impulsside arvu nende logaritmiga. See vastab asjaolule, et liigutusnärvi ärritust järgiva joone kujuks pole kaugeltki sinusoid, kuid et selle kõvera logaritm on sinusoidile palju lähedasem; jääva energiatasemega lineaarses võnkesüsteemis peab aga ärrituskõvera kuju olema sinusoidaalne igal juhul, välja arvatud teatav hulk null-tõenäosusega olukordi. Seevastu on soodustuse ja pidurduse mõiste oma olemuselt pigemini korrutatavad kui liidetavad. Näiteks tähendab täielik pidurdamine korrutamist nulliga ja osaline pidurdamine tähendab korrutamist väikese suurusega. Need on noodsamad pidurduse ja soodustuse mõisted, mida kasutati<sup>1</sup> refleksikaare\* käsitlemisel. Pealegi on sünaps ühtivuse registreerijaks ja väljuv kiud on ainult siis ärritatud, kui sisenevate impulsside\* arv lühikese liitumisaja jooksul ületab teatud läve. Kui see lävi on küllalt madal, võrreldes sisendsünapside üldarvuga, avaldub sünapside toime selles, et korrutatakse tõenäosusi, ja see, et nad saaksid olla kas või ligikaudugi lineaarseks lüliks, osutub võimalikuks vaid logaritmilises süsteemis. See sünapside toime ligikaudne logaritmilisus on kindlasti sarnane Weberi\*-Fechneri\* seadusega selle kohta, et aistingu tugevus on ligikaudu logaritmiline, ehkki see seadus on vaid esimeseks lähenduseks.

Kõige tähelepanuväärsemaks asjaoluks on see, et sellel logaritmilisel alusel ja andmetega, mis saadi üksikute pulsude juhtimisega läbi närvist ning lihastest moodustuva kaare mitmesuguste osade, võisime saada väga häid lähendusi kloonilise värina tegelike perioodide kohta, kasutades võtteid, mis olid juba avaldatud jälgivseadmete inseneride poolt vabavõnkumiste sageduste määramiseks kokkuvarisenud tagasisidestusseadmeis. Me saime teoreetiliseks võnkumiseks umbes 13,9 perioodi sekundis olukordadel, mil vaadeldavad võnkumised muutusid sageduste 7 ja 30 vahel, kuid peamiselt jäid piiridesse, mis vaheldusid kusagil 12 ja 17 vahel. Antud tingimustes on see ühtivus suurepärase.

---

<sup>1</sup> Avaldamata kirjutised kloonuse kohta Rahvuslikust Kardioloogia Instituudist Mehhikos.

Kloonuse sagedus ei ole ainus oluline erakordne nähtus, mida me võime täheldada: esineb ka suhteliselt aeglane põhipinguse muutumine ja veelgi aeglasem amplituudi muutumine. Need omapärased nähtused pole kindlasti mingil juhul lineaarsed. Siiski võib mingi lineaarse võnkesüsteemi konstantide küllalt aeglasi muutusi käsitada esimeses lähenduses sellistena, nagu oleksid nad lõpmata aeglased ja nagu käituks süsteem võnke iga osa jooksul nii nagu sel juhul, kui tema parameetrid oleksid niisugused, mis talle sel ajal on omased. See on meetod, mida füüsika teistes harudes tuntakse sekulaarsete\* häiretena. Teda võib rakendada kloonuse põhitaseme ja amplituudi küsimuste tundmaõppimiseks. Kuigi see töö ei ole veel lõpetatud, on selge, et ta on niihästi võimalik kui ka paljutõotav. Esineb kaaluvaid eeldusi, et ehkki peakaare ajaline kulg kloonuses tõendab, et ta on kaheneuroniline kaar, on impulsside võimendus selles kaares muutlik ühes ja võib-olla isegi rohkemas punktis ning et selle võimenduse mõnda osa võivad mõjutada aeglased multineuronilised\* protsessid, mis kulgevad palju kõrgemal kesknärvisüsteemis kui spinaalne ahelik, millest kloonuse ajaline kulg eelkõige sõltubki. Seda muutlikku võimendust võivad mõjutada keskse aktiivsuse üldtase, strühniin või tuimastamisvahendid, ajutalitluse halvamine ja mitmed muud põhjused.

Sellised olid peamised tulemused, mis doktor Rosenblueth ja mina esitasime Macy' nõupidamisel sügisel 1946 ja New Yorgi Teaduste Akadeemia nõupidamisel, mis toimus samal ajal eesmärgil levitada küberneetika mõisteid laiemal avalikkuse hulgas. Kuigi me olime rahul oma tulemustega ja täiesti veendunud töö üldises teostatavuses selles suunas, tundsiime siiski, et meie koostöö kestus oli olnud liiga lühike ja et meie töö oli tehtud liiga suure pingega selleks, et saaks pidada soovitatavaks tema avaldamist ilma edasise katselise kinnituseeta. Seda kinnitust — mis muudugi võib küündida ümberlülkkamiseni — me asusime nüüd otsima 1947. aasta suvel ja sügisel.

Rockefelleri Sihtasutus oli doktor Rosenbluethile juba teinud annetuse uue laboratooriumihoone sisustamiseks Rahvusliku Kardioloogia Instituudi juures. Me tundsiime, et aeg oli meile nüüd küps pöördumiseks ühiselt nende poole — see tähendab doktor Warren Weaveri poole, kes hooldas füüsikateaduste valdkonda, ja doktor Robert Morisoni\* poole, kes hooldas ärstiteaduste valdkonda, et rajada

alus pikaajaliseks teaduslikuks koostööks eesmärgil jätkata meie kavatsusi märksa vähem kiirustades ja tervislikumal sammul. Selles leidsime me innukat toetust kumbki oma asutuselt. Doktor George Harrison \*, teaduskonna dekaan, oli Massachusettsi Tehnoloogia Instituudi peaesindajaks nende läbirääkimiste jooksul, kuna doktor Ignacio Chávez rääkis oma asutuse — Rahvusliku Kardioloogia Instituudi — eest. Läbirääkimiste kestel sai selgeks, et ühise tegevuse laboratoorne keskus peab asuma Kardioloogia Instituudi juures niihästi seepärast, et vältida kahekordset laboratooriumi sisustamist, kui ka selle väga otsese huvi pärast, mida Rockefelleri Sihtasutus on ilmutanud teaduslike keskuste asutamise vastu Ladina-Ameerikasse. Lõpuks vastuvõetud kava oli koostatud viieks aastaks, mille jooksul mina pidin igal teisel aastal veetma kuus kuud Kardioloogia Instituudi juures, kuna doktor Rosenblueth pidi veetma vahepealsetel aastatel kuus kuud Tehnoloogia Instituudis. Aeg Kardioloogia Instituudi juures pidi pühendatama küberneetikasse puutuvate katseandmete saamisele ja läbitöötamisele, kuna vahepealsed aastad tuli pühendada rohkem teoreetilistele otsingutele ja eelkõige väga raskele ülesandele: luua inimeste jaoks, kes soovivad asuda sellele uuele alale, õppekava, mis tagaks neile niihästi vajalikud matemaatilised, füüsikalised ja insenerilised põhiteadmised kui ka küllaldase tutvuse bioloogia-, psühholoogia- ja arstiteadusealaste küsimustega.

Kevadel 1947 tegid doktor McCulloch ja härra Pitts küberneetikale märkimisväärse tähtsusega töö. Doktor McCullochile oli antud ülesanne kavandada aparaat, mis võimaldab pimedal lugeda trükiteksti kõrvaga. Vahelduvate helide tekitamine trükikirja põhjal fotoraku \* vahendusel on ammu tuntud ja võib toimuda mitmel meetodil; raskus seisneb selles, et säilitada häälekõla antud tähekuju puhul põhiliselt ühesugusena, sõltumata nende suurusest. See on täpselt analoogiline kuju ehk *gestaldi* tajumise ülesandega, mis võimaldab meil tunda ära ruutu ruuduna, sõltumata mõõdu ja suuna suurearvulistest muutumistest. Doktor McCullochi seadis võimaldab trükikirja valiku järgi lugemist mitmesugusele suurendusele seatuna. Selline valiku järgi lugemine võib toimuda automaatselt laotusmenetluse teel. See laotamine, mis võimaldab võrrelda mingit kujundit antud standardse kujundiga, mis on kindlas, kuid mitmesuguses mõõdus, oli seadiseks, millele ma olin

vihjanud juba ühel Macy' nõupidamisel. Valiku järgi luge-  
mist võimaldava aparaaadi skeem äratas doktor von Bonini  
tähelepanu, kes otsekohe küsis: «Kas see on ajukoore  
nägemiskeskuse neljanda kihi skeem?» Mõjustatuna sel-  
lest vihjest töötas doktor McCulloch härra Pittsi kaasabil  
välja teooria, mis ühendas nägemiskeskuse anatoomia ja  
füsioloogia, ning selles teorias etendab hulga muunduste  
kaudu toimuv laotus tähtsat osa. See esitati kevadel 1947  
niihästi Macy' nõupidamisel kui ka New Yorgi Teaduste  
Akadeemia nõupidamisel. Lõpuks, see laotusmenetlus hõl-  
mab teatavat korduvat ajavahemikku, mis vastab tollele,  
mida me tavalises televisioonis nimetame «hälvituskestu-  
seks». Esineb mitmesuguseid anatoomilisi viiteid, et sel-  
line ajavahemik ilmneb ka järjestikuste sünapside aheliku  
ulatusel, kus ta on vajalik selleks, et üks tegevuse jada  
saaks oma ringi sooritada. Ta moodustab ajavahemiku  
suurusjärgus kümnendik sekundit täielikult toimuva tege-  
vuste jada kohta, ja see on peaaegu niinimetatud «alfa-  
rütmi» ligikaudseks perioodiks. Lõpuks, alfarütmi suhtes  
oli sootuks teiste tõendite alusel juba oletatud, et ta on  
visuaalse päritoluga ja omab tähtsust kuju tajumise  
käigus.

Kevadel 1947 sain ma kutse osa võtta Nancys toimu-  
vast matemaatika konverentsist harmoonilisest analüü-  
sist\* tulenevates küsimustes. Ma nõustusin ja oma reisil  
sinna ning tagasi veetsin kokku kolm nädalat Inglismaal,  
peamiselt oma vana sõbra professor J. B. S. Haldane'i\*  
külalisena. Mul oli suurepärase võimalus kohtuda ena-  
mikuga neist, kes töötasid ülikiirete arvutite kallal, eriti  
Manchesteris ning Rahvuslikus Füüsika Laboratooriumis  
Teddingtonis, ja eelkõige kõnelda küberneetika põhilistest  
seisukohtadest härra Turingiga Teddingtonis. Ma külas-  
tasin ka Psühholoogia Laboratooriumi Cambridge'is ja  
mul oli väga hea juhus käsitleda tööd, mida professor  
F. C. Bartlett\* ja tema töötajaskond sooritasid inimesest  
üksikosa kohta juhtimismenetluses, kus selline üksikosa  
sisaldub. Ma leidsin, et Inglismaal on huvi küberneetika  
vastu peaaegu sama suur ja teda tuntakse seal sama hästi  
nagu Ameerika Ühendriikides, ning inseneritöö on suure-  
pärase, ehkki väiksema käsutada oleva kapitali tõttu  
endastmõistetavalt piiratum. Ma märkisin mitmel pool  
suurt huvi ja arusaamist küberneetika mitmekülgsete või-  
maluste suhtes, ning professorid Haldane, H. Levy ja Ber-

nal\* kindlasti käsitasid teda ühe kõige pakilisema probleemina teaduse ning teadusliku filosoofia päevakorras. Ma siiski ei leidnud, et selle aine ühtlustamisel ja mitmesuguste uurimistööde niitide kokkutõmbamisel oleks olnud saavutatud sama palju edu, nagu olime teinud meie oma kodus Ühendriikides.

Prantsusmaal hõlmas harmoonilise analüüsi alal Nancy toimunud nõupidamine hulga ettekandeid, mis ühendasid statistilisi mõisteid sidetehnika mõistetega täielikus kooskõlas küberneetika seisukohaga. Siin ma pean mainima eriti M. Blanc-Lapierre'i\* ja M. Loève'i\* nimesid. Ma leidsin ka üsna suurt huvi selle aine vastu matemaatikute, füsioloogide ja füüsikalise keemia alal töötajate hulgas, eriti tema termodünaamika vaatekohtade tõttu, niivõrd kui need puudutavad kõige üldisemat küsimust elu enese olemuse kohta. Tõepoolest, ma olin vahetanud mõtteid sellel alal Bostonis enne oma lahkumist professor Szent-Györgyiga\*, Ungari biokeemikuga\*, ja jõudnud selgusele, et tema põhimõtted ühtivad minu omadega.

Üks sündmus minu Prantsusmaa külaskäigu kestel väärib siinkohal eriti äramärkimist. Mu ametivend professor G. de Santillana\* Massachusettsi Tehnoloogia Instituudist esitles mind M. Freymannile\* firmast Hermann et Cie, kes palus minult käesolevat raamatut. Ma olen tema ettepaneku vastuvõtmise üle eriti rõõmus seetõttu, et M. Freymann on mehhiklane, ja käesoleva raamatu kirjutamine, samuti nagu suur osa sellele eelnenud uurimusi, on toimunud Mehhikos.

Nagu ma olen juba nimetanud, hõlmab üks töösuundi, millele Macy' nõupidamiste mõtteilm on vihjanud, side tunnustamise ja tema rakendamise tähtsust ühiskondlikus korras. On kindlasti õige, et ühiskondlik kord osutub korraldunud liiduks samuti nagu üksikolendki; et ta on köidetud kokku sideseadmestikuga; ja et tal on dünaamika, milles tagasisidestuse iseloomuga ringprotsessid mängivad tähtsat osa. See on õige niihästi üldistel aladel nagu antropoloogias ja sotsioloogias kui ka kitsapiirilisel majanduse alal; ka väga tähtis von Neumanni ja Morgensterni töö mängude teoorias, mida me juba oleme maininud, kuulub sellesse mõtteulatusse. Sellele tuginedes õhutasid mind doktorid Gregory Bateson ja Margaret Mead, pidades silmas sotsioloogiliste ja majanduslike

küsimuste pingsalt pakilist iseloomu praegusel segaduste ajastul, pühendama suure osa minu energiast küberneetika selle külje käsitlemisele.

Kui palju ma ka nende arusaamisele olukorra pakilisusest kaasa tundsin ning kui palju ma ka lootsin, et nemad ja teised asjatundlikud töötajad tõstaksid üles seda laadi küsimusi, mida ma käsitlen selle raamatu ühes hilisemas peatükis, ei saa ma jagada ei nende arvamust, et see ala oleks minu tähelepanu keskpunktis, ega ka nende suuri lootusi, et selles suunas täheldatav küllaldane edu võiks avaldada märgatavat ravitoimet ühiskonna praegustele haigustele. Algame sellest, et peamised ühiskonda mõjustavad suurused on mitte ainult statistilised, vaid need statistilised jadad, millel nad põhinevad, on ka ülemäära lühikesed. Pole suurt kasu kuhjata ühte patta terasetööstuse ökonomika enne ja pärast bessemeriprotessi\* kasutuselevõttu ega võrrelda kummitootmise statistikat enne ja pärast autotööstuse tärkamist ning *hevea*\* kultiveerimist Malaias. Samuti ei ole mingit olulist mõtet koondada suguhaiguse juhtumite statistika ainsasse tabelisse, mis hõlmab niihästi ajajärku enne kui ka pärast salvarsaani\* kasutuselevõttu, kui just erieesmärgil ei taheta tundma õppida selle ravimi tõhusust. Et saada ühiskonna kohta head statistikat, on vaja pikki jadasid *olulises osas jäävatel tingimustel*, just nagu heaks valguse eristusteravuse saavutamiseks on vaja suure apertuuriga\* lääts. Lääts tegevapertuur tema nimiapertuuri suurenemisel märgatavalt ei kasva, *kui mitte lääts pole valmistatud nii ühtlikust materjalist, et valguse viivitus lääts eri osades moodustaks tegelikult ettenähtud määrast mitte rohkem kui vaid väikese osa lainepikkusest. Samuti on ka pikkadest, laialdaselt muutuvatele tingimustele vastavatest statistilistest jadadest saadav tulu näiline ja võlts*. Niisiis on inimteadused väga armetuteks\* katsepõldudeks uuele matemaatika rakendusele; sama armetuteks nagu oleks gaasi statistiline mehaanika molekuli suurusjärgus olemine, kellele fluktuatsioonid\*, mida me üldiselt seisukohalt jätame tähele panemata, osutuksid just kõige suurema huvi aineks. Pealegi on põhjendatult usaldatavate, kindlalt väljakuununud numbriliste võtete puudumise tõttu eksperdi arvamuse osa sotsioloogiliste, antropoloogiliste ja majanduslike suuruste kohta tehtavate hinnangute määramisel nii suur, et see pole mitte alaks uustulnukale, kellel alles

puuduvad kõik need kogemused, mis on eksperdile suureks eeliseks. Ma võin vahemärkusena mainida, et ajakohase väikerühmitiste teooria kohandamine, niipea kui see ulatub väljapoole omaenese eriliselt määratletud parameetrite määramist ja muutub positiivsete statistiliste järelduste meetodiks uutel juhtudel, mulle mingit usaldust ei sisenda, kui just teda ei rakenda statistik, kes olukorra muutumise põhielemente kas üksikasjaliselt teab või endastmõistetavana tunneb.

Ma rääkisin praegu alast, millel minu lootused küberneetikale on ilmselt mõõdukad, sest ma mõistan nende tulemuste piiratust, mille saavutamist me võiksime loota. On aga kaks teist ala, millel ma lõppude lõpuks loodan küberneetika põhimõtete abil midagi praktilist täide saata, kus see lootus peab aga ootama täiendavate arenduste järele. Üheks neist aladest on küsimus proteeside loomisest kaotatud või halvatud liikmetele. Nagu me geštaldi käsitelus nägime, on sidetehnika põhimõtteid kaotatud meelte asendamise otstarbel rakendanud juba McCulloch, kes ehitas riista, mis võimaldab pimedal lugeda trükikirja kuulmise teel. Seejuures võtab riist, millele McCulloch vihjab, täiesti üksikasjaliselt üle mitte üksnes mõned silma, vaid ka ajukoore nägemiskeskuse ülesanded. On olemas ilmne võimalus teha midagi taolist ka tehisjäsentemete osas. Jäseme mingi lüli kaotus mitte ainult tähendab, et on kaotatud puuduva lüli puhtakujuliselt passiivne toetus või tema tähendus kõndi mehaanilise pikendusena ja et on kaotatud tema võime lihaste kokkutõmbamiseks, vaid tähendab ühtlasi ka kõigi temast lähtuvate kompimis- ja liigutusaistingute kaotust. Esimesed kaks kaotust on need, mida tehisjäseme valmistaja tänini püüab asendada. Kolmas on seni olnud väljaspool tema võimetepiiri. Lihtsa puujala puhul ei ole see tähtis: puuduvat jäset asendaval kepil ei ole mingit omaenese vabadusastet, ja kõndi liigutusmeel on täiesti kohane selleks, et teadustada oma asendit ning kiirust. Samasugune pole aga olukord liikuva põlve ja põiaga liigendatud jäseme korral, mida haige tõstab edasi oma säilinud lihaste abil. Tal puudub olukorrakohane teadustus oma asendi ja liikumise kohta ning see häirib tema sammukindlust ebatasasel maastikul. Ei näi olevat mingit ületamatut raskust varustada tehisliigesed ja tehisjala tald pingutus- või survemõõtjaga, mis toimiks elektriliselt või muul viisil, ütleme värina teel, naha vigastamata pinda-

dele. Praegused tehisejäsemed kõrvaldavad mõne amputatsioonist põhjustatud liikumishalvatuse, kuid jätavad alles ataksia. Sobivate tajurite<sup>1</sup> kasutamisega peaks kaduma ka suurem osa sellest ataksiast ja ravivajaja peaks olema võimeline õppima kas või selliseid reflekse\*, mida me kõik kasutame autot juhtides ja mis peaksid võimaldama tal kõndida palju kindlamalt. Mida me oleme öelnud jala kohta, peaks olema isegi palju õigustatumalt rakendatav käe suhtes, sest kõigile neuroloogia\* raamatute lugejatele tuttav närvisüsteemi mudeli pilt näitab, et tundekaotus ainuüksi pöidla amputatsiooni tagajärjel on tunduvalt suurem kui tundekaotus isegi puusaliigese amputatsiooni tagajärjel.

Ma olen püüdnud need kaalutlused teatavaks teha täiesti tunnustatud eriteadlastele, kuid kuni praeguse hetkeni pole ma suutnud rohkemat korda saata. Ma ei tea, kas samu mõtteid on juba väljendanud teised uurijad või kas neid pole põhjalikult katsetatud ja leitud nad olevat tehniliselt teostamatud. Juhul kui nad veel pole teinud läbi põhjalikku praktilist kaalutlemist, peaksid nad seda tegema kõige lähemas tulevikus.

Lubage mul nüüd tulla teise küsimuse juurde, mis minu arvates pälvib tähelepanu. Mulle on ammu olnud selge, et ajakohane ülikiire arvuti osutub põhimõtteliselt täiuslikuks kesknärvisüsteemiks automaatjuhtimise seadmele ning et tema sisand ja välje ei tarvitse esineda numbrite või diagrammide kujul, vaid võivad väga hästi olla vastavalt ka selliste kunstlike meeleeelundite, nagu fotoelektriliste rakude või termomeetrite lugemiteks, ja mootorite või solenoidide\* tegutsemiseks. Tensomeetrite\* või taoliste vahendite abil nende liigutuselundite tegutsemist lugedes ja teadustades sellest «tagasisidestusse» ning kesksele juhtimiseadmele kui kunstlikule liigutusmeelele, me juba oleme võimelised ehitama kunstlikke, kui tahes keerukalt tegutsevaid masinaid. Käu enne Nagasakit ja aatomipommi avalikku teadasaamist tärkas mul mõte, et meid ootaksid sel alal teistsugused ühiskondlikud võimalused, millel on ennekuulmatu tähtsus hea ja halva suhtes. Automaattehas, monteerimisliin ilma inimese vahenduseta on tulevikuks

<sup>1</sup> Algtekstis esineb siinkohal bioloogia oskussõna *retseptor*, pruu-  
gituna ülekantud mõistes — üldse ärritust vastuvõtva vahendi tähendus-  
es; eristamise mõttes on aga tõlkes kasutatud selles tähenduses oskus-  
sõna *tajur*. (Toim.)

vaid niikaua, kuni me oleme valmis rakendama nende tehniliseks teostamiseks jõupingutusi samal määral, nagu kulutati näiteks radaritehnika arendamiseks Teise maailmasõja ajal<sup>1</sup>.

Ma ütlesin, et sel uuel arengul on piiramatud võimalused niihästi hea kui ka halva jaoks. Ühest küljest muudab ta masinate metafoorse\* ülemvalitsuse, mida on kujutlenud Samuel Butler<sup>2</sup>, täiesti otseseks ja mittemetafoorseks küsimuseks. See annab inimsoole uue ja kõige tõhusama valikukogu mehaanilisi orje tema töö ümberkujundamiseks. Nii-sugusel mehaanilisel tööol on enamik orjatööle omaseid majanduslikke eelseid, ehkki ta erinevalt orjatööst ei avalda otsest inimjulumuse demoraliseerivat mõju. Ent siiski iga töö, mis tunnustab orjatööga võistlemise olukorda, tunnustab ka orjatöö olukorda ja on põhiliselt orjatööks. Selle väite võtmesõnaks on *võistlus*. Väga hästi võiks inimkonnale olla kiiduväärseks saavutuseks omada masinat, mis võtab talt vajaduse alandavateks ja vastumeelseteks tööülesanneteks; või ka ei võiks. Ma ei tea. Ei ole muidugi hea, kui neid uusi võimalusi hinnata turutingimuste järgi, selle raha kaudu, mida nad säästavad; ja ometi on just vabakaubanduse vahekorrad ehk «viies vabadus» selleks, mis on kujunenud hüüdlauseteks Ameerika avaliku arvamuse tolele osale, keda esindab Rahvuslik Töösturite Assotsiatsioon ja ajaleht «Saturday Evening Post». Mina ütlen Ameerika avalik arvamus, sest ameeriklasena tunnen ma seda kõige paremini, kuid hangeldajad ei tunnusta min-geid rahvuslikke piire.

Võib-olla õnnestub mul selgitada praeguse olukorra ajaloolist tagapõhja, kui ma ütlen, et esimene tööstuslik revolutsioon — «pimedate saatanaveskite»<sup>3</sup> revolutsioon — oli inimkæe alahindamiseks võistluses masinatega. Pole olemas tasumäära, millega Ühendriikides kraavihall võiks

<sup>1</sup> *Fortune*, 1946.

<sup>2</sup> Viidatakse inglise XIX saj. kirjanikule Samuel Butlerile\*, kes on raamatute «Erewhon» ja «Erewhon Revisited» («Taaskülaskäik Erewhoni») autoriks. Neis raamatutes kirjeldatakse fantastilist riiki Erewhon, kust masinad on välja kihutatud, kuna nad põhjustasid rohkem halba, kui nad kasu töid. Vt. Мортон, А. Л.\*, Английская утопия, ИЛ, М., 1956, V pt. § 3. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

<sup>3</sup> Sõnad XIX sajandi tööstusliku revolutsiooni kaasaegse ja selle halbu külgi oma utoopilistes teostes tauninud inglise luulefaja ja kunstniku William Blake'i\* luuletustest. Vt. Мортон, А. Л., V pt. § 1 siteeritud luuletus. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

elada, mis aga ometi oleks küllalt madal, et võistelda mul-  
lakaevamises aurukühvli tööga. Samasugusena on saabu-  
mas kaasaegne tööstuslik revolutsioon, et alandada inim-  
aju hinda vähemalt tema lihtsamate ja üksluisemate otsus-  
tuste osas. Muidugi, nagu vilunud puusepp, vilunud käsi-  
tööline, vilunud rätsep suutsid mingil moel elada üle esi-  
mese tööstusliku revolutsiooni, nii saavad vilunud teadlane  
ja vilunud haldur elada üle ka teise. Kuid siiski, võttes teist  
revolutsiooni teostununa, ei ole keskmisel inimesel, kel on  
keskpärased või väiksemadki teadmised, müüa mitte  
midagi, mille ostmiseks kellelgi tasuks raha kulutada.

Selleks on muidugi vaja ühiskonda, mis rajaneb teist-  
sugustel inimlikel väärtustel kui ost ja müük. Sellesse ühis-  
konda jõudmiseks on meil vaja tublisti kavandamist ja tub-  
listi võitlemist — mis parimal juhul võiks toimuda ideelisel  
pinnal, või muidu — kes teab? Nõnda ma siis tundsin end  
kohustatud olevat andma edasi oma informatsioon ja aru-  
saamine olukorrast neile, kellel on elav huvi töö olukorra  
ja tuleviku vastu — see on ametiühingutele. Ma taotlesin  
ühendusse astumist ühe või paari juhtiva isikuga Tootmis-  
ametiühingute Kongressist, ja nende poolt sai mulle osaks  
väga arukas ning kaasatundev kuuldavõtt. Neist üksikisi-  
kutest kaugemale polnud ei mina ega ka keegi nendest või-  
meline minema. Nende veendumuseks oli, nagu seda olid  
tõendanud minugi varasemad tähelepanekud ja andmed nii  
Ühendriikides kui ka Inglismaal, et ametiühingud ning töö-  
lisliikumine on äärmiselt piiratud isikkonna käes, kes on  
läbi ja läbi hästi kogenud töölisvanema kohustuste eriküsi-  
mustes ning võitluses, mis puutub palkadesse ja töötingi-  
mustesse; ning on täiesti ettevalmistamata selleks, et süve-  
neda sügavamatesse poliitilistesse, tehnikaalastesse, sotsio-  
loogilistesse ja majanduslikesse küsimustesse, mis puutu-  
vad kõige otsesemalt töö olemusesse. Selle põhjusi on  
üsnagi hõlpus näha: ametiühingutegelane tuleb tavaliselt  
töömehe pingerikkast elust halduri pingerikkasse ellu ilma  
mingi võimaluseta avaramaks ettevalmistuseks; ning neid,  
kellele niisugune ettevalmistus on olemas, ametiühingu kar-  
jäär tavaliselt ei ahvatle; ka pole ametiühingutel täitsa  
enesestmõistetavalt lugupidamist niisuguste inimeste vastu.

Need meie hulgast, kes on kaasa töötanud uuele küber-  
neetikateadusele, asetsevad kõlbliselt olukorras, mis, taga-  
sihoidlikult öeldes, ei ole kuigi mugav. Me oleme kaasa-  
aidanud uue teaduse loomisele, mis, nagu ma olen öelnud,

hõlmab tehnika saavutusi, millel on suuri võimalusi heaks ja halvaks. Me saame ainult anda ta üle sellesse maailma, mis meid ümbritseb, ja see on Belseni ning Hirosima maailm. Meil ei ole isegi võimalik valida teed, et neid tehnika edusamme pidurdada. Nad kuuluvad ajastule ja kõige rohkem, mida keegi meist nende pidurdamiseks võiks teha, oleks selle ala arendamise andmine meie kõige vastutus-tundetumate ja äraostetavamate inseneride kätte. Pariimana me toimiksime siis, kui võib näha laia avalikkust mõistvat käesoleva töö suundi ja sündi ning kui saaks piirata meie isiklike pingutusi selliste aladega nagu füsioloogia ja psühholoogia, mis on kõige kaugemad sõjast ning eksploateerimisest. Nagu me oleme näinud, on olemas ka neid, kes loodavad, et inimese ja ühiskonna paremast mõistmisest tulenev hüve, mida see uus tööala peaks pakuma, võib ette jõuda ning üles kaaluda juhuslikkusest tuleneva panuse, mille me oleme andnud selleks, et koondada võimu (mis oma tõeliste olemasolutingimuste tõttu on alati koondunud nende kätte, kes on kõige rohkem südame-tunnistusega). Ma kirjutan aastal 1947, ja ma olen sunnitud ütleva, et selleks on väga nõrk lootus.

Autor tahab väljendada oma tänu härra Walter Pittsile, härra Oliver Selfridge'ile, härra Georges Dubé'le\* ja härra Frederic Websterile\* abi eest käsikirja korrigeerimisel ning materjali ettevalmistamisel selle avaldamiseks.

November, 1947.

RAHVUSLIK KARDIOLOOGIA INSTITUUT  
MEHHIKO LINNAS.



## NJUUTONLIK JA BERGSONLIK AEG

On olemas lühike kirikulaul või lihtsalt laul, mis on tuttav igale saksa lapsele. Ta kõlab:

«Weisst, wie viele Sterne stehen  
In dem blauen Himmelszelt?  
Weisst, wie viele Wolken gehen  
Weit hinüber alle Welt?  
Gott der Herr hat sie gezählet,  
Dass ihm auch nicht eines fehlet  
Von der ganzen grossen Zahl.»

Tõlkes tähendab see: «Kas sa tead, kui palju tähti asub sinisel taevatelgil? Kas sa tead, kui palju pilvi läheb kaugele üle kogu maailma? Issand Jumal on neid loendanud, et tal ükski kogu suurest arvust ei puuduks.»

See lühike laul on huvitavaks teemaks filosoofile ja teaduse ajaloolasele, sest ta seab külg külje kõrvale kaks teadust, millel on ainsaks sarnasuseks suhtlemine meie kohal oleva taevaga, kuid mis peaaegu igas muus mõttes ilmutavad äärmist vastandlikkust. Astronoomia on teadustest vanimaks, kuna aga meteoroloogia on noorimate hulgas alles nime väljateenimist alustamas. Kõige tuntumaid astronoomilisi nähtusi võib ennustada paljudeks sajanditeks, kuna homse ilma täpne ennustamine on üldiselt mitte sugugi kerge ja mõneski mõttes tõepoolest väga algeline.

Pöördunud tagasi luuletuse juurde, võib esimesele küsimusele vastata, et mõningais piires me teame, kui palju seal tähti on. Ühelt poolt, arvestamata tähtsusetut ebamäärasust kaksik- ja muutlike tähtede suhtes, on taevatäht kindel ese, mis täiel määral sobib loendamiseks ning kataloogimiseks; ja kuigi taevatähtede inimlik *Durchmusterung*\* — nagu me neid katalooge nimetame — järsku katkeb alates taevatähtedest, mis on teatud tähesuurusest väiksema heledusega, pole meile hoopiski midagi vastuolulist kujutluses, et jumalik *Durchmusterung* ulatub palju kaugemale.

Teisest küljest aga, kui te peaksite paluma meteoroloogi anda teile samasugune *Durchmusterung* pilvede kohta, ta võiks naerda teile näkku või ta võiks kannatlikult seletada, et kogu meteoroloogia keeles pole olemaski niisugust asja nagu pilv, mis oleks määratletud mingi enam-vähemgi ühetaolisena püsiva esemena; ja kui olekski, pole tal võimalust neid loendada ega tegelikult pole ta ka huvitatudki nende loendamisest. Topoloogilise kallakuga meteoroloog võib-olla võiks määratleda pilve ruumi ühtekuuluva piirkonnana, milles tahkes või vedelas olekus sisalduva vee osa tihedus ületab teatud määra, kuid sellel määratlusel poleks vähimatki väärtust kellegi jaoks ja äärmisel juhul võiks ta väljendada ülimal määral ajutist seisundit. Mis tegelikult meteoroloogi huvitab, on midagi sellise statistilise teadaande taolist, nagu «Boston, 17. jaanuar 1950. Taevas 38% pilvedega kaetud. Cirrocumulus\*».

On tõepoolest olemas teatav astronoomia haru, mis tegeleb millegagi, mida võiks nimetada kosmiliseks meteoroloogiaks: galaktikate, udukogude ja tähekoegade tundmaõppimisega ning nende arvelevõtmisega, nagu seda näiteks on taotlenud Chandrashekhta\*, kuid see on väga noor astronoomia haru, noorem kui meteoroloogia ise, ja kaldub klassikalise astronoomia tavadest mõnevõrra kõrvale. Selleks tavaks oli puhtklassifitseeriva *Durchmusterungi* vaatekoha kõrval juba algusest peale pigem päikesesüsteemi kui kinnistähtede maailmaga tegelemine. See on just päikesesüsteemi astronoomia, mis on ülimal määral ühenduses Koppernikuse\*, Kepleri\*, Galileo Galilei\* ja Newtoni\* nimedega ning mis on olnud ammeks tänapäeva füüsikale.

See on tõepoolest ülimalt lihtne teadus. Isegi veel enne, kui oli olemas mingi temale vastav dünaamika teooria, koguni sellisel iidsel ajal nagu Babüloonia päevil, taibati, et varjutused esinevad ennustatavate, korrapäraselt korduvate sündmuste sarjadena, küündides möödunud ja ka tulevasse aega. Oli jõutud arusaamisele, et aega ennast on võimalik mõõta taevatähtede liikumise järgi nende teekondadel paremini kui mis tahes muul teel. Eeskujuks kõigile sündmustele päikesesüsteemis oli ratta või rea rataste pöörlemine, kas siis Ptolemaiiose\* epitsüklite\* teooria või Koppernikuse orbiitide\* teooria kohaselt, ja igasuguses sellises teoorias tulevik teataval viisil kordab minevikku. Sfäärیده-harmonia\* on palindroom\* ja astronoomia raamat on loetav tagurpidi sama hästi nagu päripidi. Peale algasendite

ja algsuundade poie päripidi pöörleva ja tagurpidi jooksva taevamudeli liikumises mingit erinevust. Lõpuks, kui Newton oli kõik selle koondanud täpselt sõnastatud postulaa- tide\* ja range mehaanika vormi, jäid selle mehaanika põhi- lised seadused muutumatuiks ka aja  $t$  kui muutuja taandu- misel oma negatiivsete väärtuste piirkonda.

Seega, kui me teeksime planeetidest kinopildi, mida on kiirendatud selleks, et tuua sellest tegevusest esile tajuta- vat kujutist, ja laseksime seda filmi joosta tagurpidi, osu- tuks see siiski võimalikuks kujutiseks planeetidest, koos- kõlas Newtoni mehaanikaga. Teisest küljest, kui me teek- sime filmiülesvõtte pilvepöörimest äikeserindes ja laseksime tal joosta tagurpidi, ta näiks täiesti valena. Me näeksime laskuvaid vooluseid seal, kus me ootaksime tõusvaid, pöö- riseid kasvamas koelt jämedasüülisemateks, välku eelne- mas, mitte aga järgnemas pilvemuutusele, mis talle tava- liselt eelneb, ja nii edasi lõpmatuseni.

Milles siis peitub erinevus astronoomilise ja meteoro- loogilise olukorra vahel, mis põhjustab kõiki neid erinevusi, eriti aga erinevust astronoomilise aja ilmse pööratavuse ja meteoroloogilise aja ilmse mittepööratavuse vahel? Kõige- pealt, meteoroloogiline süsteem on selline, mis sisaldab tohutul arvul ligikaudu ühesuguseid osi, millest mõned on teistega väga tihedalt liitunud, kuna aga päikesemaailma astronoomiline süsteem sisaldab ainult suhteliselt väikesel arvul osi, mis kogult on tunduvalt erisugused ja üksteisega küllaltki lõdvalt sidestunud, nii et teisejärgulise tähtsusega sidestumisnähtused ei saa meie poolt vaadeldava pildi üld- ilmet muuta ja väga tugevad sidestused on sootuks tähtsu- setud. Planeedid liiguvad tingimustes, mis on palju sood- samad mingi piiratud jõudude hulga eraldamiseks kui tin- gimused mis tahes füüsikalisel katsel, mille me laboratoo- riumis korraldaksime. Võrreldes omavaheliste kaugustega, on planeedid ja isegi päike peaaegu punktid. Võrreldes elastsete ja plastiliste deformatsioonidega, mida nad talu- vad, on planeedid kas väga lähedased jääkade kehadega, või kui nad seda pole, on nende sisejõud igal juhul võrdle- misi tühise tähtsusega, kui pidada silmas nende keskmete suhtelist liikumist. Ruum, milles nad liiguvad, on peaaegu täiesti vaba takistavast ainest; ja nende vastastikuse tõm- bumise seisukohalt võib üsnagi suure ligilähedusega eel- dada, et nende mass on koondatud nende keskmesse ning püsib jäävana. Raskusjõu seaduse kõrvalekaldumine kau-

guse ruudu pöördväärtuse seadusest on üliväike. Päikese-süsteemi kehade asukohad, kiirused ja massid on iga hetke kohta ülihästi teada ning nende tulevaste ja möödunud asukohtade arvutamine, ehkki mitte sugugi hõlpus üksik- asjades, on hõlpus ja täpne põhimõtteliselt. Teiselt poolt aga on meteoroloogias huvi pakkuvate osakeste arv nii tohutu, et nende algasendite ja algkiiruste täpne registreerimine on sootuks võimatu; ja kui selline registreerimine olekski tegelikult aset leidnud ning nende tulevased asukohad ja kiirused arvatud, ei oleks meil midagi muud kui määratu hulk arusaamatuid arve, mis vajaksid otsustavat lahtimõtestamist, enne kui nad võiksid meile mingil määral kasulikud olla. Oskussõnad «pilv», «temperatuur», «pööris» jms. on kõik oskussõnad, mis viitavad mitte mingile üksikule füüsikalisele olukorrale, vaid võimalike olukordade jaotusele, millest üksainus tegelik juhtum on aset leidnud. Kui üheaegselt oleksid võetud kõigi maapealsete meteoroloogijaamade kõik lugemid, ei annaks need miljardikkugi osa neist andmetest, mida oleks vaja, et iseloomustada atmosfääri tegelikku seisundit njuutonlikult vaatekohalt. Nad annaksid ainult teatavaid konstante, mis sobiksid kokku lõpmata paljude erisuguste atmosfääridega ja äärmisel juhul, koos teatavate eeldustega *a priori*\*, oleksid võimelised andma tõenäosuse jaotusvõime seaduse mõõdu võimalike atmosfääride hulgal. Kasutades Newtoni seadusi või mõnda mis tahes teist põhjuslike seaduste süsteemi, osutub kõik, mida me mingi tulevase aja kohta võime ennustada, süsteemi konstantide tõenäosuse jaotuseks, ja isegi see ennustusvõime aja kasvamisega tumub.

Aga isegi njuutonlikus süsteemis, kus aeg on täiesti pöörduv, viivad tõenäosuse ja ennustuse küsimused vastusteni, mis on ebasümmeetrilised mineviku ja tuleviku vahel, sest küsimused ise, millele nad on vastusteks, on ebasümmeetrilised. Kui ma sooritan füüsikalist katset, toon ma minu poolt käsitletava süsteemi minevikust olevikku sel teel, et määrän kindlaks teatavad suurused ja olen põhjendatult õigustatud eeldama, et teatavate teiste suuruste statistiline jaotus on tuntud. Seejärel ma arvestan tulemuste statistilist jaotust antud aja möödumisel. See ei ole mitte menetluseks, mille ma saan ümber pöörata. Selleks, et niiviisi talitada, oleks tingimata vaja valida süsteemide õige jaotus, mis ilma meie poolt vahele segamata lõpeks tea-

tavates statistilistes piirides, ja välja selgitada, missugused eelnevad tingimused esinesid teatud aja eest. Siiski see, et teadmata asendist lähtuv süsteem lõpeks mingis kitsalt määratletud statistilises piirkonnas, on nii harv juhus, et me võime käsitada teda imena; me ei või aga rajada oma katsetehnikat imede ootamisele ja loendamisele. Lühidalt, me oleme ajas suunatud ja meie suhe tulevikuga on erinev meie suhtest minevikuga. Kõik meie küsimused on tingitud sellest ebasümmeetriast ja kõik meie vastused neile küsimustele on samuti tingitud sellest.

Väga huvitav aja suunda puutuv astronoomiline küsimus kerkib esile seoses ajaga astrofüüsikas\*, kus me vaatleme kaugeid taevakehi üksikvaatlusel ja kus ei näi olevat mingit ühesuunalisust meie katse loomuses. Miks siis ühesuunaline termodünaamika, mis põhineb maapealsetel katsetelisel vaatlustel, osutub meile nii kasulikuks astrofüüsikas? Vastus on huvitav ja mitte väga ilmne. Meie tähevaatlused toimuvad valguse, kiirte või osakeste vahendusel, mis väljuvad vaadeldavast esemest ja mida me tajume. Me võime tajuda saabuvat valgust, kuid ei saa mitte tajuda lahkuvat valgust; või vähemalt pole lahkuva valguse tajumine saavutatav katsetamise teel nii lihtsalt ja vahetult nagu saabuva valguse oma. Saabuva valguse tajumisel me lõpetame silmaga või fotoplaadiga. Me kohandame need kujutiste vastuvõtmiseks, asetades nad mõneks ajaks möödunu eest eraldavasse olukorda: me kohandame silma pimedusega, et vältida järelkujutisi, ja me mähime oma plaadid musta paberisse, et vältida nendel valgustara. On selge, et ainult niisugusest silmast ja ainult niisugustest plaatidest on meile mingil määral kasu: kui me tajuksime eelkujutisi, oleksime sama hea kui pimedad, ja kui me oleksime pannud oma plaadid musta paberisse pärast seda, kui me oleme neid kasutanud, ning ilmutaksime nad enne tarvitamist, oleks ülesvõtmine tõepoolest keeruline kunst. See ongi põhjuseks, miks me võime näha noid taevatähti kiirgamas meile ja kogu maailmale, sest kui oleksid olemas mingid taevatähed, mille evolutsioon toimuks vastupidises suunas, siis tõmbaksid nad kiirgust külge kogu taevast ja isegi selle tõmbamine meilt endilt poleks meile mingil teel tajutav selle asjaolu tõttu, et me juba teame omaene minevikku, mitte aga oma tulevikku. Niisiis peavad meie poolt nähtaval maailmaruumi osal olema nii kaugele küündivalt, kuhu ulatub kiirguse levik, omad mineviku-tuleviku suhted,

mis on kooskõlas meie omaga. Juba ainuüksi asjaolu, et me mingit taevatahte näeme, tõendab, et tema termodünaamika on sarnane meie omaga.

Tõepoolest on väga huvitavaks vaimseks katseks luua kujutlus mõistuslikust olendist, kelle aeg peaks voolama vastupidises suunas meie omaga. Niisugusele olendile oleks igasugune sidepidamine meiega täiesti võimatu. Iga signaal, mille ta võiks saata, jõuaks meieni asjaolude loogilise järgnevusena tema vaatekohalt, kuid eelnenud sündmustena meie omalt. Need eelnenud sündmused oleksid juba olemas meie kogemuses ja oleksid olnud meid teeninud tema signaali loomuliku seletusena ilma eelduseta, et keegi mõistuslik olend võiks olla olnud neid saatnud. Kui ta joonistaks meile ruudu, näeksime tema joonise riismeid selle eelkäijatena ning joonis näiks olevat — alati täpselt seletatuna — nende riismete kummaliseks kristalliseerumiseks. Joonise tähendus näiks olevat sama juhuslik nagu näod, mida me omistame mägedele ja kaljudele. Ruudu joonistamine näiks meile tõepoolest äkilise, kuid looduseadustega seletatud katastroofina, mille tõttu ruut lakkab olemast. Meie vastandil oleksid täpselt samad kujutlused meie suhtes. *Igas maailmas, millega me saame sidet pidada, on aja suund ühesugune.*

Pöördugem tagasi njuutonliku astronoomia ja meteoroloogia vahelise vastandlikkuse juurde: enamik teadusi asetseb mingis vahepealse olukorras, kuid suurem osa on pigem lähemal meteoroloogiale kui astronoomiale. Isegi astronoomia, nagu me nägime, sisaldab mingit maailmaruumi meteoroloogiat. See sisaldab ka toda äärmiselt huvitavat ala, mida on uurinud sir George Darwin \* ning mida tuntakse loodete \* evolutsiooni teooriana. Me oleme rääkinud, et päikese ja planeetide suhtelisi liikumisi võib mõista jääkade kehade liikumistena, kuid asi pole siiski täiesti nii. Näiteks Maa on peaaegu ümbritsetud ookeanidest. Vett, mis on Kuule lähemal kui Maa kese, tõmbab Kuu tugevamini ligi kui Maa tahket osa, teisel küljel olevat vett aga tõmbab ta nõrgemini. See suhteliselt tühine mõju kisub vee kaheks valliks — üks Kuu all ja teine Kuust vastaspoolsel küljel. Täiesti vedela kera korral võiksid need vallid järgida Kuud ümber Maa ilma energia ulatusliku hajumiseta ja järelikult jääksid peaaegu täpselt Kuu alla ning Kuust vastaspoolsele küljele. Järelikult avaldaksid nad Kuule tagasimõju, mis kuigi oluliselt ei mõjutaks Kuu nurkasen-

dit taevast. Kuid loodetelaine, mille nad Maa peal tekitavad, kerkib segunedes üles ja viivitub rannikutel ning madalates meredes, sellistes nagu Beringi meri ja Iiri meri. Järelikult liigub ta Kuu asendist tagapool ja teda tekitavad jõud on tugevasti turbulentsed \*, hajutatud jõud, mille iseloom on väga sarnane meteoroloogias kohatavate jõudude omaga, ning nad vajavad statistilist käsitlust. Tõepoolest, okeanograafiat võiks nimetada pigemini hüdroosfääri \* kui atmosfääri meteoroloogiks.

Need hõordejõud kisivad Kuud tagasi tema teekonnal ümber Maa ja kiirendavad Maa pöörlemist pärisuunas. Nad püüavad tuua kuu ja päeva pikkused teineteisele ikka lähemale. Tõepoolest, Kuu päevaks on kuu ning Kuu näitab Maale peaaegu alati ühte ja sedasama nägu. Esineb vihjeid, et seda on põhjustanud loodete evolutsioon iidsetel aegadel, mil Kuul leidus mingit vedelikku või gaasi või plastilist materjali, mis Maa ligitõmbe mõjul võis vetruda ja selliselt vetrudes võis hajutada suures koguses energiat. See loodete evolutsioonis ilmnev erakordne nähtus ei piirdu ainult Maa ja Kuuga, vaid teda võib teataval määral panna tähele kõikjal kõigis gravitatsioonisüsteemides. Möödunud aegade jooksul on ta tunduvalt muutnud päikesesüsteemi ilmet, kuigi mingi teatava ajaloolise aja jooksul on see muutus tähtsusetu, võrreldes päikesesüsteemi planeetide «jäikade kehade» liikumisega.

Niisiis esineb isegi gravitatsiooniastromias mahakäivat hõördeliikumist. Ei ole olemas ühtegi teadust, mis oleks täpselt kooskõlas range njuutonliku eeskujuga. Bioloogiateadustel on kindlasti hulgaliselt omi ühesuunalisi nähtusi. Sündimine ei ole mitte täpseks vastandiks surmale, ega anabolism ehk kudede ülesehitamine pole täpseks vastandiks katabolismile — nende lammutamisele. Rakkude jagunemine ei toimu eeskuju järgi, mis oleks ajas sümmeetriline, ja idurakkude liit ei saa moodustada viljastatud munarakku. Üksikolend on nool, mis on suunatud läbi aja ühes suunas, ja ka inimtõug on samuti suunatud minevikust tulevikku.

Paleontoloogilised\* kivistised ilmutavad selget pikaajalist suundumist lihtsalt keerulisele, nii katkendlik ja keeruline kui see ka võiks olla. Möödunud sajandi keskpaiku oli see kalduvus saanud ilmseks kõigile teadlastele, kes ausalt olid valmis erapooletult otsustama, ja pole sugugi juhus, et selle arengu olemuse avastamise probleemi arendasid

ühesuguse suure sammu võrra edasi kaks umbes ühel ajal töötanud meest — Charles Darwin ja Alfred Wallace \*. Selleks sammuks osutus arusaamine, et ei millestki muust kui juhuslikust mingi liigi isendite põimendusest võiks välja kooruda enam-vähem ühesuunaline või mõnedes vähestes suundades kulgev areng iga järglaskonna suhtes, tingituna erisuguste teisendite mitmekesisest eluvõimelisuse astmest, kas siis isendi või tõu seisukohalt. Koera mutant \*, kel puuduvad jalad, kindlasti sureb nälga, kuna aga pikal peenikesel sisalikul, kes on arendanud roomamiselundeiks oma roided, võib esineda soodsamaid väljavaateid äraelamiseks, sest tal on sile joon ja ta on vabanenud takistavatest jässete väljaulatuvatest osadest. Mingi veeloom, kas kala, sisalik või imetaja, ujub paremini, kui tal on voolujooneline kuju, jõulised kehalihased ja tagajätke, mis haarab vett; ja kui ta oma sööda osas on sõltuv kärke saagi jälitamisest, siis tema eeldused elu säilitamiseks võivad sõltuda sellest, et tal just niisugune kuju ongi.

Darvinlik evolutsioon on niisugune asjaolude sõltuvus, mille põhjal mingi enam või vähem juhuslik muutlikkus on liitunud üsnagi kindlakujuliseks vormiks. Darwini põhimõte püsib veel tänapäevalgi, ent meil on palju täiuslikumad teadmised nende seoste kohta, millest ta sõltub. Mendeli \* töö on andnud meile palju täpsema ja katkelisema ettekujutuse pärilikkusest kui too, millest pidas kinni Darwin, kuna aga mutatsiooni mõiste on de Vries'i \* ajast alates täiesti muutnud meie kujutlust mutatsiooni statistilise aluse kohta. Me oleme uurinud kromosoomi \* peent anatoomiat ja lokaliseerinud tema geeni \*. Moodsate geneetikute \* nimestik on pikk ja väärikas. Mitmedki neist, nagu näiteks Haldane, on teinud mendelismi statistilise tutvumisviisi tõhusaks tööriistaks evolutsiooni tundmaõppimise jaoks.

Me oleme juba kõnelnud sir George Darwini, Charles Darwini poja loodete evolutsioonist. Ei poja mõtete seos isa omadega ega ka nimetuse «evolutsioon» valik pole juhuslik. Loodete evolutsioonis, samuti nagu liikide põlvnemises, on meil tegemist asjaolude sõltuvustega, mille põhjal juhuslik muutlikkus, nagu juhuslikkus lainete liikumistes loodetemes ja veemolekulides, on dünaamilise protsessi kaudu muudetud näidiseks arengust, mis kulgeb ühes suunas. Loodete evolutsiooni teooria on täiesti ilmekaks vanema Darwini kohaldamiseks astronoomias.

Kolmas Darwinite dünastiast, sir Charles \* on üks aja-

kohase kvantmehaanika autoriteete. See tõsiasi võib olla juhuslik, kuid ta siiski kujutab ühtlasi edasist statistika põhimõtete sissetungi njuutonlikesse põhimõtetesse. Üksteisele järgnevate nimede rida Maxwell—Boltzmann\*—Gibbs\* esindab järjest kasvavat termodünaamika taandumist statistiliseks mehaanikaks: see tähendab soojusesse ja temperatuuri puutuvate erakordsete nähtuste taandumist nähtusteks, milles Newtoni mehaanikat on rakendatud meie poolt käsitletava olukorra kohta mitte üksiku dünaamilise süsteemi, vaid dünaamiliste süsteemide statistilise jaotuse kohta, ja milles meie järeldused puutuvad mitte kõigisse niisugustesse süsteemidesse, vaid nende rõhvasse enamikku. Umbes aastal 1900 sai ilmseks, et termodünaamikas oli midagi tõsiselt korrast ära, eriti seal, kus ta puutub kiirgusesse. Eeter ilmutas palju väiksemat võimet kõrgsageduskiirguste neelamiseks — nagu tõendati Plancki\* seadusega —, kui oli möönnud mis tahes olemasolnud mehhanistlik\* kiirgusteooria. Planck andis kiirguse kvaasiatomaarse\* kiirgusteooria — kvantide teooria —, mis küllaltki rahuldavalt seletas neid erakordseid nähtusi, kuid mis oli vastuolus kogu ülejäänud füüsikaga; ja Nils Bohr\* jätkas seda samalaadse *ad hoc*\* aatomiteooriaga. Nii koostasid Newton ning Planck-Bohr vastavalt Hegeli\* antinoomia\* teesi ja antiteesi\*. Nende liitumise tulemuseks on Heisenbergi poolt 1925. aastal avastatud statistiline teooria, milles Gibbsi statistiline njuutonlik dünaamika on asendatud statistilise teooriaga, mis on väga sarnane Newtoni ja Gibbsi teooriaga laiaulatuslike nähtuste jaoks, kuid milles täielik tänapäeva ja mineviku andmete kogumik pole küllaldane, et ennustada tulevikku rohkem kui statistiliselt. Seega pole liiga palju, kui öelda, et mitte ainult njuutonlik astronoomia, vaid isegi njuutonlik füüsika on muutunud statistilise olukorra keskmiste tulemuste pil-diks ja järelikult evolutsioonikäigu kokkuvõtteks.

Sellel siirdumisel njuutonlikult pöörduvalt ajalt gibsilikule, mittepöörduvale ajale on olnud omad filosoofilised kajastused. Bergson\* rõhutas erinevust füüsika pöörduva aja, milles ei juhtu midagi uut, ja evolutsiooni ning bioloogia mittepöörduva aja vahel, milles alati on midagi uut. Arusaamisele jõudmine, et njuutonlik füüsika polnud õigeks toestikuks bioloogiale, oli võib-olla keskseks tuumaks vanas sõnasõjas vitalismi\* ja mehhanitsismi\* vahel, ehkki ta oli kujunenud keerukaks soovi tõttu säilitada ühel või teisel

kujul vähemalt hinge ja Jumala varjud materialismi sissetungi vastu. Lõpuks, nagu me oleme näinud, tõestas vitalist liiga palju. Selle asemel, et ehitada sein elu nõuete ja füüsika nõuete vahele, püstitati sein, mis ümbritseks nii laia ringkonda, millesse mahtusid nii mateeria kui ka elu. On tõsi, et uuema füüsika mateeria pole Newtoni mateeria, kuid ikkagi on ta midagi, mis on üsna kauge vitalistide antropomorfistlikest \* unistustest. Kvantideteoreetikule ei ole juhus mitte augustiinlase \* kõlbelseks vabaduseks, ning Tyche \* on sama karm valitsejanna nagu Ananke \*.

Iga ajastu mõte kajastub tema tehnikas. Muistsete aegade insenerideks olid maamõõtjad, astronoomid ja mere-sõitjad; seitsmeteistkümnendal sajandil ning kaheksateistkümnenda sajandi algul olid nendeks kellassepad ja läätse-lihvijad. Nagu muistselgi ajal, valmistasid käsitöölised oma tööriistu taeva laotust matkivatena. Kell pole midagi muud kui taskuplanetaarium \*, mis liigub paratamatusest, nagu teevad seda taevakehad; ja ehkki hõõrdumine ning energia hajumine temas mõju avaldavad, on need nähtusteks, mis tuleb ületada, nii et osutite lõplik liikumine võiks olla niivõrd perioodiline ning korrapärane kui vähegi võimalik. Selle insenerliku tegevuse peamiseks tehnikasaavutuseks, mis kujunes Huyghensi \* ja Newtoni järgi, oli meresõidu-ajastu, mille kestel esmakordselt oli võimalik arvutada geograafilisi pikkusi silmapaistva täpsusega ning muuta kaubandus suurtel ookeanidel juhuse ja seikluse asjast korrapäraselt laabuvaks äriks. Oli tekkinud kaupmeeste tehnika.

Kaupmehele järgnes tööstur, ja kronomeetritele aurumasin. Newcomeni \* masinast alates kuni peaaegu tänapäevani on tehnikas olnud keskseks alaks jõumasinate tundmaõppimine. Soojus muundati kasulikuks pöörlemise ja kulgliikumise energiaks ning Newtoni füüsikat täiendati Rumfordi \*, Carnot' \* ja Joule'i \* omaga. Ilmus termodünaamika, teadus, milles aeg on ilmselt mittepöörduv; ja kuigi selle teaduse varasemad arengujärgud näivad kujutavat mõtiskluste valdkonda, millel peaaegu polnud kokkupuudet njuutonliku dünaamikaga, siiski energia jäävuse teooria ja hilisem statistiline seletus Carnot' printsiibi \* ehk termodünaamika teise seaduse ehk energia mandumise printsiibi kohta — tolle printsiibi kohta, mis viib aurumasinaga saavutatava suurima kasuteguri \* sõltuvusse katla ja kondensaatori töötemperatuurist —, kõik need on sulatanud termodünaamika ja njuutonliku dünaamika kokku ühe ja

sellesama teaduse statistilisteks ning mittestatistilisteks külgedeks.

Kui seitsmeteistkümnes sajand ja kaheksateistkümnenenda sajandi algus olid kellade ajastuks ning kaheksateistkümnenenda sajandi lõpp ja üheksateistkümnes sajand moodustavad aurumasinaajastu, siis käesolev aeg on side ja juhtimise ajastuks. Elektrotehnikas on olemas lõhe, mida Saksa maal tuntakse lõhena tugevvoolutehnika ja nõrkvoolutehnika vahel ning mida meie tunneme erinevusena energeetika \* ja sidetehnika vahel. See on too lõhe, mis eraldab äsja möödunud ajastut sellest, milles me praegu elame. Tegelikult võib sidetehnika tegelda kui tahes tugevate vooludega ja massiivsete kahuritornide pööramiseks küllalt võimsate masinate liikumisega; mis aga teda energeetikast eristab, on see, et tema peamiseks huviks on mitte energia säästmine, vaid täpne signaali taasestamine. Selleks signaaliks võib olla morsevõtme koputus, mida tuleb teises otsas taasestada telegraafivastuvõtja koputusena; või temaks võib olla üleantud ja telefoniaparaadi abil vastuvõetud heli; temaks võib olla ka laeva rooliratta pööre, mis võetakse vastu tüüri nurgaasendina. Niisiis olid sidetehnika alustajateks Gauss, Wheatstone \* ja esimesed telegraferid. Ta sai oma esimese teaduslikult põhjendatud tõlgenduse lord Kelvinilt \*, pärast äpardust esimese Atlandi kaabliga möödunud sajandi keskpaiku, ja kaheksakümnenadest aastatest alates oli võib-olla Heaviside \* see, kes tegi kõige rohkem, et viia teda ajakohasesse olukorda. Radari avastamine ja selle kasutamine Teises maailmasõjas koostungiva vajadusega õhukaitsekahurite tule juhtimiseks on tõmmanud sellele alale suure hulga hea ettevalmistusega matemaatikuid ja füüsikuid. Automaatsete arvutite imed kuuluvad sellesesamasse mõtteilma, kuhu minevikus kindlasti pole kunagi püütud nii innukalt jõuda, kui seda tehakse tänapäeval.

Tehnika igas arengujärgus, alates Daidalosest \* või Aleksandria Heronist \*, on köitnud alati inimeste huvi leidurite võime valmistada elusolendi töötavat teisikkuju. See soov valmistada ja tundma õppida automaate on alati leidnud väljendust ajastu elava tehnika keeles. Nõiakunsti päevil oli meil tegemist pentsiku ja õudse mõistega Golemist \*, tollest savikujust, millele Praha rabi \* püha Jumala nime teotades puhus sisse elu. Newtoni ajal muutus automaat kellavärgiga mängutoosiks väikese jäigalt piruette \* soori-

tava kujuga kaanel. Uheksateistkümnendal sajandil on automaadiks aupaistes ülistatud soojusmasin, milles põleb mingi kergesti süttiv kütus glükogeeni\* asemel inimese lihastes. Lõpuks, tänapäeva automaat avab uksi fotorakude abil, või suunab kahurid sellesse kohta, kus radarikiir leidis üles lennuki, või arvutab välja diferentsiaalvõrrandi lahendi.

Ei kreeka ega ka nõiakunstiaegne automaat asu ajakohase masina arengusuuna peateel ega näi neil olevat olnud suurt mõju tõsisele filosoofilisele mõttele. Hoopis teisiti on üleskeeratava automaadiga. Tema põhimõte on etendanud väga õiget ja tähtsat osa tänapäeva filosoofia varasemas ajaloo, kuigi me pigem kaldume seda mitte arvestama.

Alakem sellest, et Descartes\* käsitab algelisemaid loomi automaadidena. Seda on tehtud selleks, et vältida kahtlusi õigeuskliku kristluse seisukohtade suhtes, mille järgi loomadel pole hinge, mida tuleks päästa või hukka mõista. Aga kuidas need elusad automaadid tegutsevad, seda pole Descartes, niipalju kui mina tean, kunagi käsitlenud. Ent sellega ühenduses olevat tähtsat küsimust sellest, mil moel on inimhing niihästi aistingu kui ka tahte kaudu oma materiaalse ümbrusega seoses, Descartes käsitleb, ehkki väga ebarahuldaval viisil. Tema eelduse kohaselt peitub see seos peaaegu teatavas keskosas, talle tuntud käbikahas. Mis puutub selle seose olemusse — kas see kujutab või ei kujuta vaimu otsest toimet materiale ja materia toimet vaimule —, see pole talle sugugi päris selge. Tõenäoliselt käsitas ta seda mõlemal viisil toimuva otsese toimena; et aga välismaailma mõjutamisel kehtivad inimlikud kogemused, seda peab ta Jumala headuse ja õigluse tunnuseks.

Selles asjas Jumalale omistatud osa on ebaselge. Jumal kas on täiesti passiivne, millisel juhul on raske näha, kuidas Descartes'i seletus tegelikult üldse midagi seletab, või on Ta aktiivseks osaliseks, millisel juhul on raske näha, kuidas Tema õigluse põhjal antud tagatis saab olla midagi muud kui aktiivne osavõtt aistimisvõimest. Nii on materiaalse nähtuste põhjuslik ahel kõrvutatud Jumala tegevusest lähtuva põhjusliku ahelaga, mille kohaselt Tema tekitab meis kogemusi vastavalt antud materiaalsele olukorrale. Kui seda juba kord on eeldatud, on täiesti loomulik panna vastavus meie tahte ja nende tulemuste vahel,

mida meie tahe näib välismaailmas tekitavat, samasuguse jumaliku vahelesegamise arvele. See on rada, mida mööda on läinud okasionalistid \* Geulincx \* ja Malebranche \*. Spinozal \*, kes mitmes suhtes on selle koolkonna jätkajaks, omandab okasionalismi doktriin \* rohkem mõistusepärasema tõendamisevormi, et vastavus vaimu ja materia vahel on vastavuseks Jumalas sisalduva kahe tunnuse vahel; kuid Spinozal ei ole kalduvust dünaamikasse ja ta pöörab vähe või ei pööra üldse tähelepanu selle vastavuse sisulisele olemusele.

See on olukord, millest lähtub Leibniz; kuid Leibnizil on samavõrra kalduvus dünaamikasse nagu Spinozal on kalduvus geomeetrias. Esiteks asendab ta vastavuses olevate elementide, vaimu ja materia paari mingi vastavuses olevate elementide kontiinumiga \*: monaadidega \*. Kuigi need on mõttes hinge eeskujul loodud, hõlmavad nad palju juhtumeid, mis ei küüni täiuslikkude hingede iseteadlikkuse määrani ja mis moodustavad osa sellest maailmast, mida Descartes oli pidanud materiaiks. Igaüks nendest elab omaenese suletud maailmas ühes täpselt põhjusliku ahelaga, alates loomisest ehk negatiivsest lõpmatusest ajas kuni määramatult kauge tulevikuni; kuid ehkki nad on suletud, vastavad nad üksteisele Jumala ettemääratud harmoonia kaudu. Leibniz võrdleb neid kelladega, mis on üles keeratud selliselt, et säilitavad aega ühesugusena loomisest alates kogu igavikuks. Erinevalt inimeste poolt tehtud kelladest ei teki nende käigus erinevusi; see aga on tingitud Looja imeväärselt täpsest tööosavusest.

Nii käsitleb Leibniz automaatide maailma, mille ta, nagu Huyghensi õpilase kohta on täiesti loomulik, ehitab üles kellavärgi eeskujul. Kuigi monaadid üksteist peegeldavad, ei seisne see peegeldumine põhjuslikku ahelat mööda ühelt teiselt ülekandumises. Tegelikult on nad samavõrd endasse sulgunud või pigem veel rohkemgi endasse sulgunud kui passiivselt tantsivad kujud mängutoosi kaanel. Neil ei ole mingit tõelist mõju välismaailmale ega ole nad tõhusal määral sellest ise mõjustatud. Nagu ta ütleb, neil pole aknaid. Maailma ilmne organiseeritus, mida me näeme, on midagi väljamõeldise ja ime vahepealset. Monaad on njuutonlik päikesesüsteem, kirjutatuna väike-tähtedega.

Uheksateistkümnendal sajandil on inimese ehitatud automaate ja neid teisi looduslikke automaate — materia-

listi loomi ning taimi — õpitud tundma väga erisugusest küljest. Energia jäävus ja mandumine on olnud juhtivateks päevaküsimusteks. Elusolend on eelkõige soojusmasinaks, põletades glükoosi \* või glükogeeni või tärklist, rasvasid ja proteiine \* süsihappegaasiks, veeks ning karbamiidiks \*. Ainevahetuslik tasakaal on selleks, mis püsib tähelepanu keskuses; ja kui äratavad tähelepanu madalad töötemperatuurid looma lihastes, vastandatuina kõrgetele temperatuuridele samasuguse kasuteguriga soojusmasinas, siis surutakse see tõsiasi nurka ning seletatakse teda kõneosavalt vastandlikkusega elusolendi keemilise energia ja soojusmasina termilise energia vahel. Kõigiks põhilisteks mõisteteks on need, mis on seoses energiaga, ja peamiseks nendest on potentsiaali mõiste. Keha ehitusviisi käsitlev tehnikaala osutub vaid energeetika haruks. Isegi tänapäeval on see rohkem klassikaliselt mõtlevate vanameelsete psühholoogide ülevõimu omavaks vaatekohaks; ja niisuguste biofüüsikute nagu Rashevsky ning tema koolkonna kogu mõttelaad pakub tunnistust nende seisukohtade mõjuvõimu edasikestmisest.

Tänapäeval me hakkame jõudma arusaamisele, et keha on väga kaugel mingist tardunud süsteemist ja et tema koostisosad töötavad ümbruses, kus käepärast olev energia on palju vähem piiratud, kui me oleme seda eeldanud. Elektronlamp on meile näidanud, et mingi süsteem välise energiaallikaga, mille energia on peaaegu täielikult kulutatud, võib olla väga tõhusaks vahendiks nõutud toimingute sooritamiseks, eriti kui ta töötab madalal energiatasemel. Me hakkame nägema, et sellised tähtsad algosakesed, nagu neuronid, meie keha närvide kogumi aatomid, teevad oma tööd peaaegu samades tingimustes nagu vaakuumtorud, tolle suhteliselt väikese energiaga, mida väljastpoolt vereringe teel saadakse, ja et nende ülesannete kirjeldamise jaoks pole kõige olulisemaks raamatupidamiseks mitte energiaraamatupidamine. Lühidalt, viimaseaegne tutvumine, olgu metallist või lihast automaatidega, on side- tehnika haruks ja tema peamisteks mõisteteks on sellised, nagu teade, häirekogus ehk «müra» — oskussõna, mis on võetud üle telefoniinsenerilt, informatsioonikogus, koodimistehnika ja nii edasi.

Sellises teoorias me tegeleme automaatidega, mis on tihedas seoses välismaailmaga mitte ainult oma energivoo, oma ainevahetuse kaudu, vaid ka muljetevooga —

saabuvate teadete ja lahkuvate teadete mõjudega. Elundid, mille abil muljeid vastu võetakse, on samaväärsed inimese ja looma meeleeelunditega. Nad sisaldavad fotoelektrilisi rakke ja teisi valguse tajureid; radarisüsteeme, mis võtavad vastu omaenese lühikesi Hertzi\* laineid\*; vesinikuioonide potentsiaali registreerijaid, mis, võiks öelda, maitsevad; termomeetreid, mitmesugust liiki surve-mõõtjaid, mikrofone ja muud. Täituriteks<sup>1</sup> võivad olla elektrimootorid või solenoidid või küttemähised või väga mitut liiki muud riistad. Tajuri ehk meeleeelundi ja täituri vahel asub vahepealne kogum üksikosi, mille ülesandeks on saabuvate muljete taasliitmine sellisekujulisteks, et täituris tekiks soovitud laadi vastukaja. Informatsioon, millega seda kesket juhtimisseadmestikku toidetakse, sisaldab väga sageli teateid, mis puutuvad täiturite eneste tegevusse. Need vastavad muu hulgas kinesteetilistele elunditele ja teistele inimsüsteemi proprioretseptoritele, sest ka meil on elundid, mis registreerivad liigeste asendit või mingi lihase kokkutõmbumise määra jne. Pealegi ei tarvitseta automaadi poolt vastuvõetud informatsiooni kasutada kohe, vaid see võidakse salvestada, nii et ta muutuks kättesaadavaks kunagi tulevikus. See on samaväärne mälu. Lõpuks, niikaua kui automaat töötab, toimuvad kogu tema tegutsemiskorras mõningad muutused nende andmete põhjal, mis on mõjutanud tema tajureid minevikus, ja see ei erine mitte palju õppimistegevusest.

Masinad, millest me praegu kõneleme, pole mitte kõmuharrastaja unistuseks ega mingi tulevase aja lootuseks. Nad on juba olemas termostaatidena\*, vurrkompassiga\* automaatsete laeva tüürimisseadmetena, iselendavate mürskudena — eriti sellistena, mis otsivad oma märki, õhukaitse tulejuhtimisseadmetikena, automaatselt juhitud õlikrakkimisaparaatidena\*, ülikiirete arvutitena ja muude sellistena. Neid hakati kasutama ammu enne sõda — tõepoolest, nende hulka kuulub päris vana aurumasinaregulaator, kuid Teise maailmasõja ulatuslik mehhaniseerimine aetas nad oma õigele kohale, ja äärmiselt hädaohtliku aatomienergia käsitlemise vajadus viib neid tõenäoliselt veelgi kõrgemale arengutasemele. Vaevalt möödub mõni

<sup>1</sup> Elusolendi teostuselundi kohta on käesolevas tõlkes kasutatud ladinakeelset nimetust *efektor*, temaga samastatavat mehhanismi täitevõlli aga on nimetatud *täituriks*, ehkki algtekstis esineb mõlema kohta ühesuguse nimetusena oskussõna *effector*. (Toim.)

kuu, kui jälle ilmub nende niinimetatud juhtimismehhanismide ehk jälgivseadmete kohta uus raamat, ja käesolev ajastu on sama õigusega jälgivseadmete ajastu nagu üheksateistkümnes sajand oli aurumasina ajastu või kaheksateistkümnes sajand kella ajastu.

Kokkuvõttes: paljud kaasaegsed automaadid on seostatud välismaailmaga nii muljete tajumiseks kui ka tegevuse sooritamiseks. Nad sisaldavad tajureid, täitureid ja närvisüsteemiga samaväärseid lüüsid, mis kõik kokku moodustavad terviku informatsiooni üleandmiseks ühelt teiselt. Nad lasevad end väga hästi kirjeldada füsioloogiliste oskussõnadega. Pole sugugi ime, et neid võib koos füsioloogiliste elundkondadega hõlmata ühe ühise teooria alla.

Nende mehhanismide seos ajaga nõuab hoolikat tundmaõppimist. On muidugi selge, et sisandi ja välje seos on ajas muutumatu ning sisaldab määratletud mineviku ja tuleviku järjekorda. Võib-olla pole aga nii selge see asjaolu, et tundlike automaatide teooria on statistiline. Vaevalt me kunagi oleme huvitatud sidetehnika teaduse tegutsemisest mingi üheainsa sisandi puhul. Et nõuetekohaselt oma ülesannet täita, peab tema tegutsemine rahuldama nõudeid kogu sisandite klassi ulatusel, see aga tähendab statistiliselt rahuldavat tegutsemist sisandite klassi ulatusel, mille vastuvõtmist temalt statistiliselt oodatakse. Seega kuulub see teooria pigem Gibbsi statistilisse mehaanikasse kui klassikalisse Newtoni mehaanikasse. Me õpime teda üksik-asjalisemalt tundma sideteooriale pühendatud peatükis.

Nii oleleb ajakohane automaat sama liiki bergsonlikus ajas nagu elusolend ja järelikult pole alust Bergsoni kaalutlustes, nagu peaks elusolendi põhiline talitusviis olema teistsugune kui taolist tüüpi automaadil. Vitalism on võitnud sellisel määral, et isegi mehhanismid vastavad vitalismi ajastruktuurile; aga nagu me ütlesime, on see võit täielik lüüasaamine, sest igalt vaatekohalt, millel on vähimgi seos moraali või usundiga, osutub uus mehaanika täpselt sama mehhanistlikuks nagu vana. Kas me peaksime nimetama uut vaatekohta materialistlikuks, see on suurel määral sõnade küsimus: materia ülevõim iseloomustab üheksateistkümnenenda sajandi füüsikat kaugelt rohkem kui praegusaegset ja «materialismist» on saanud ainult pisut rohkem kui vaba teisendsõna «mehhanismi» jaoks. Tegelikult on kogu mehhanismi-vitalismi vaidlus heidetud halvasti püstitatud küsimuste kolikambrisse.

## RÜHMAD JA STATISTILINE MEHAANIKA

Umbes käesoleva sajandi alguses töötasid kaks teadlast, üks Ühendriikides ja teine Prantsusmaal, kumbki nüüsguses suunas, mis oleks neile näinud täielikult ilma igasuguse seoseta, kui kummalgi neist oleks olnud teise olemasolust vähimatki aimu. New Havenis arendas Willard Gibbs oma uut vaatekohta statistilises mehaanikas. Pariisis võistles Henri Lebesgue\* oma õpetaja Emile Boreli\* kuulsusega, avastades täiuslikuma ja tõhusama integreerimisteooria kasutamiseks trigonomeetriliste ridade tundmaõppimisel. Need mõlemad avastajad olid sarnased selles, et kumbki neist oli rohkem kabineti- kui laboratooriumiini-mene, kuid peale selle ühise joone olid kõik nende vaated teadusele risti vastukäivad.

Gibbs, kuigi ta oli matemaatik, pidas alati matemaatikat füüsika abiteaduseks. Lebesgue oli puhtaimat tüüpi analüütik, osav matemaatilise ranguse äärmiselt täpsete ajakohaste eeskujude esindaja, ja autor, kelle teosed, niipalju kui mina tean, ei sisalda ainsatki näidet probleemist või meetodist, mis tuleneks otseselt füüsikast. Sellest hoolimata moodustab nende kahe mehe töö ühtse terviku, milles Gibbsi poolt püstitatud küsimused leiavad vastuse mitte tema enese, vaid Lebesgue'i töös.

Gibbsi mõtete tuum peitus järgnevas: Newtoni dünaamikas selle algkujul on meil tegemist üksiksüsteemiga, mille algkiirused ja algmomentid on antud ja milles põhjustab muutusi teatud jõusüsteem kooskõlas Newtoni seadustega, mis seostavad jõudu ning kiirendust. Tegelikult oleme rõhuval enamikul juhtudel siiski kaugel sellest, et tunda kõiki algkiirusi ja algmomente. Kui me eeldame, et süsteemi osaliselt tuntud asendite ja momentide esialgne jaotus on teada, määrab see täiesti njuutonlikul viisil ka momentide ja asendite jaotuse igasugusel ajal tulevikus. Siis oleks võimalik avaldada need jaotused ja mõnedel neist oleks väite iseloom, et tulevasel süsteemil oleksid tea-

tud tunnused tõenäosusega üks või teatud teised tunnused tõenäosusega null.

Tõenäosused üks ja null on mõisted, mis hõlmavad täielikku õigsust ja täielikku võimatust, kuid sisaldavad ka palju muud. Kui ma tulistan märklaua pihta kuuliga, millel on punkti mõõdud, siis võimalus selleks, et ma taban mingit kindlat punkti märklaual, oleks üldiselt võrdne nulliga, kuigi pole võimatu, et ma teda taban; ja tõepoolest pean ma igal erijuhul tegelikult tabama mingit kindlat punkti, mis on sündmuseks tõenäosusega null. Seega võib sündmus tõenäosusega üks, s. o. nähtus, et ma taban *mingit* punkti, olla koostatud parvest erijuhtudest tõenäosusega null.

Siiski, üheks võtteks, mida kasutatakse Gibbsi statistilist mehaanikat rakendades, kuigi teda kasutatakse enesestmõistetavalt ja Gibbs pole temas kusagil selgesti teadlik, on keeruka võimaluse lahutamine erilisemate võimaluste lõputuks jadaks — esimeseks, teiseks, kolmandaks jne., millest igaühel on teatud tõenäosus; ja selle suurema võimaluse tõenäosuse väljendamine lõputut jada moodustavate erilisemate võimaluste tõenäosuste summana. Seega *ei saa* me liita tõenäosusi igal mõeldaval juhul, et leida kogu sündmuse tõenäosust — sest mis tahes arvul nullide summa on null, küll aga *võime* me neid liita, kui on olemas esimene, teine, kolmas jne. liige, moodustades võimaluste jada, milles igal avaldisel on kindel koht, mis on väljendatud positiivse täisarvuna.

Nende kahe juhu eristamine toob kaasa üsnagi teravmeelseid kaalutlusi, mis puutub erijuhtude hulga olemusse, ja Gibbs, kuigi väga tugev matemaatik, ei olnud kunagi väga teravmeelne matemaatik. Kas on võimalik, et klass võiks olla lõpmatu ja siiski võimsuses oluliselt erinev teisest lõpmatust klassist, kas või sellisest, nagu on positiivsete täisarvude oma? Selle probleemi lahendas möödunud sajandi lõpul Georg Cantor ja vastuseks on «jah». Kui me hõlmaksime kõik erisugused kümnendmurrud, lõplikud või lõpmatud, mis asuvad nulli ja ühe vahel, siis on teada, et neid ei saa korraldada järjekorda üks, kaks, kolm, — ehkki, nii imelik kui see ongi, kõik *lõplikud* kümnendmurrud saab niimoodi korraldada. Seega pole eristatavus, mida Gibbsi statistiline mehaanika nõuab, välimuse järgi otsustades võimatu. Lebesgue'i poolt Gibbsi teooriale osutatud teene seisneb tõestuses, et statistilise mehaanika enesestmõistetavad eeldused, mis puutuvad võimalustesse tõenäosusega null ja

võimaluste tõenäosuste liitmisesse, on tegelikult rahuldavad, ja et Gibbsi teooria ei sisalda vasturääkivusi.

Lebesgue'i töö põhines siiski mitte otseselt statistilise mehaanika vajadustel, vaid millelgi, mis näib nagu hoopis erisuguse teooriana — trigonomeetriliste ridade teorial. See ulatub tagasi kaheksateistkümnenda sajandi füüsikani lainetest ja võnkumistest ning tol ajal vaidlusi tekitanud küsimuseni sellest, kas lineaarses süsteemis on põhilisteks need liikumiste hulgad, mida võidakse saada liitumise teel süsteemi lihtvõnkumistest — teiste sõnadega, neist võnkumistest, mille suhtes aja möödumine lihtsalt mitmekordistab süsteemi kõrvalekaldumisi oma tasakaaluasendist teatud positiivse või negatiivse suuruse võrra, mis sõltub ainult ajast, kuid ei sõltu asukohast. Seega väljendub üksik funktsioon mingi rea summana. Selles reas on kordajad väljendatud esitatava funktsiooni ja antud kaalfunktsiooni \* korrutise keskmistena. Kogu teooria sõltub rea keskvärtuse omadustest, väljendatuna üksikliikme keskmise kaudu. Peame silmas, et suurus, mis nulli ja  $A$  vahemikus on üks ning  $A$  ja  $1$  vahel null, saavutab keskvärtuseks  $A$  ja teda võib käsitada tõenäosusena, et juhuslik punkt satub  $0$  ja  $A$  vahemikku, kui on teada, et see punkt asub  $0$  ja  $1$  vahel. Teiste sõnadega, rea keskvärtuse teooria on väga lähedane teooriaga, mida on vaja juhtude lõpmatust jadast koosnevate tõenäosuste samaväärseks käsitlemiseks. See on põhjuseks, miks Lebesgue' omaenese probleemi lahendamiseks oli ühtlasi lahendanud ka Gibbsi oma.

Gibbsi poolt käsitletud erijuhtudena ilmnevatel jaotustel on oma dünaamiline tõlgendus. Kui me käsitame  $N$  vabadusastmega konservatiivse \* dünaamilise süsteemi teatavat üldjuhtu, leiame, et tema asendi ja kiiruse koordinaadid on võimalik taandada kindlaks hulgaks  $2N$  koordinaatideks, millest  $N$  koordinaati nimetatakse üldistatud asendikoordinaatideks ja  $N$  koordinaati üldistatud momentideks. Nad määravad mingi  $2N$ -mõõtmelise ruumi, mis määratleb mingit  $2N$ -mõõtmelist ruumala; ja kui me võtame mingi piirkonna selles ruumis ning laseme punktidel lennata ajas, millega koordinaatide iga  $2N$  hulk muutub uueks hulgaks, mis sõltub möödunud ajast, siis ei muuda piirkonna raja pidev muutmine mitte tema  $2N$ -mõõtmelist ruumala. Üldiselt aga hulkadele, mis pole nii lihtsalt määratletavad nagu need piirkonnad, moodustab ruumala mõiste Lebesgue'i tüüpi mõõdusüsteemi. Selles mõõdusüsteemis ja conserva-

tiivsetes dünaamilistes süsteemides, mida on sellisel viisil teisendatud, et säilitada seda mõõtu konstantsena, on olemas teine arvuliselt hinnatav entiteet\*, mis samuti püsib konstantsena: energia. Kui kõik kehad süsteemis mõjuvad ainult üksteisele ega esine jõude, mis oleksid rakendatud ruumis kindlatesse kohtadesse ja kindlates sihtides, siis on olemas veelgi kaks matemaatilist avaldist, mis samuti püsivad konstantsetena. Mõlemad nad on vektorid: hoog ja süsteemi kui terviku hoomoment. Neid ei ole raske elimineerida\*, nii et süsteem asenduks süsteemiga, millel on väiksem arv vabadusastmeid.

Ülimal määral eriotstarbelistes süsteemides võivad olla muud suurused, kui energia, hoo ja hoomomendi kaudu määratud suurused nendeks, mis püsivad muutumatuina, kui süsteem areneb. Siiski on teada, et süsteemid, milles esineb teine invariantne\* suurus, mis sõltub dünaamilise süsteemi algkoordinaatidest ja algmomentidest ning on küllalt korrapärase, et alluda Lebesgue'i moodsule tuginevale integreerimissüsteemile, on päris täpses tähenduses tõepoolest väga harukordsed<sup>1</sup>. Süsteemides, milles teised invariantid puuduvad, võime kindlaks määrata energiale, hoole ning hoo peamomendile vastavad koordinaadid ja ülejäänud koordinaatide ruumis määrab asendi ning hoo koordinaatidega määratud mõõt ise teatud liiki allmõõdu, nagu mõõt ruumis määraks pindala kahe-mõõtmelisel pinnal kahe-mõõtmeliste pindade parvest. Näiteks kui meil selleks parveks on kontsentriliste kerapindade parv, siis ruumala kahe teineteisega lähestikuse kontsentri-lise kera vahel, normeerituna sel teel, et kahe kera vahel oleva piirkonna kogu ruumala võrrutatakse ühega, annaks piirväärtusena kerapinna pindala mõõdu.

Kandkem nüüd see uus mõõt üle faasiruumis\* olevale piirkonnale, mille suhtes energia, kogu hoog ja hoo peamoment on määratud, ja oletagem, et süsteemis teisi mõõdetavaid invariantseid suurusi ei ole. Olgu selle kindlaksmääratud piirkonna peamõõt konstantne või üks, nagu me seda mõõtkava muutmise teel võime saavutada. Kuna meie mõõt on tuletatud ajas invariantsest mõõdust ajas invariantisel viisil, on ka ta ise invariantne. Nimetame seda mõõtu *faa-*

---

<sup>1</sup> Oxtoby J. C.\* and Ulam S. M.\*, «Measure-Preserving Homeomorphisms and Metrical Transitivity». *Ann. of Math.* (2), 42, pp. 874—920 (1941).

*simõõduks* ja tema suhtes võetud keskmisi *faasikeskmis-*  
*teks.*

Ent igal suurusel, mis on ajas muutuv, võib olla ka *ajakeskmine*. Näiteks kui  $f(t)$  sõltub  $t$ -st, siis oleks tema ajakeskmine mineviku kohta:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^0 f(t) dt, \quad (2.01)$$

ja tema ajakeskmine tuleviku kohta:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt. \quad (2.02)$$

Gibbsi statistilises mehaanikas esinevad niihästi aja-  
keskmised kui ka ruumikeskmised. Gibbsil oli hiilgav mõte  
püüda näidata, et need kahte liiki keskmised on teatavas  
mõttes üks ja seesama. Eeldades, et need kaht liiki kesk-  
mised on tihedas seoses, oli Gibbsil täielik õigus; ja ometi-  
gi meetodis, mille abil ta püüdis seda seost näidata,  
eksis ta täielikult ning lootusetult. Selle eest saab teda  
aga vaevalt laita. Parajasti tema surma ajal oli just haka-  
nud tungima Ameerikasse Lebesgue'i integraali kuulsus.  
Järgnenud viieteistkümnne aasta jooksul oli see muuseumi-  
harulduseks, mida kasutati ainuüksi selleks, et näidata  
noortele matemaatikutele ranguse vajadusi ja võimalusi.  
Niisugune silmapaistev matemaatik nagu W. P. Osgood<sup>1</sup>  
ei tahtnud kuni oma surmatunnini temaga mingit tege-  
mist teha. Oli midagi 1930. aasta paiku, mil rühm mate-  
maatikuid — Koopman\*, von Neumann, Birkhoff\*<sup>2</sup> —  
lõpuks rajas Gibbsi statistilise mehaanika õiged alused.  
Milles need alused peitusid, seda me näeme hiljem, õppi-  
des lähemalt tundma ergoodilist\* teooriat.

Gibbs ise mõtles, et süsteemis, millest kõik invarian-  
did on eraldi koordinaatidena kõrvaldatud, läbivad pea-  
aegu kõik punktide rajad faasiruumis kõiki sellise ruumi  
koordinaate. Sellele hüpoteesile andis ta nimetuseks  
*ergoodiline hüpotees*, kreeka keelsetest sõnadest *εργον* —  
töö ja *ὅδος* — rada. Ometi, esiteks, nagu Plancherel\* ja

<sup>1</sup> Ometigi kujutab mõnigi Osgoodi\* varasematest töödest olu-  
list sammu Lebesgue'i integraali suunas.

<sup>2</sup> Hopf, E.\* «Ergodentheorie», *Erg. d. Math.*, 1936.

teised on näidanud, ei esine ühtegi olulist juhtu, mille suhtes see hüpotees oleks õige. Ükski eristatav rada, isegi kui ta on lõpmatu pikkusega, ei saa katta pinda tasapinnas. Gibbsi järglased, kaasa arvatud lõpuks ka võib-olla Gibbs ise, taipasid seda kuidagi ebamääraselt ja asendasid tolle hüpoteesi *kvaasiergoodilise* hüpoteesiga, mis üksnes väidab, et süsteem aja kulgedes tavaliselt möödub igast punktist tuntud invariantide kaudu määratud faasiruumi piirkonnas piiramatult läheduses. Loogiliselt pole muud vastuväidet, peale selle tõsiasja, et see väide on üksnes täiesti ebapiisav nende järelduste tegemiseks, mida Gibbs tema abil põhjendab. Ta ei lausu midagi suhtelisest ajast, mille süsteem iga punkti naabruses veedab.

Peale mõistete *keskmine* ja *mõõt* — keskmine univerversumi\* ulatusel funktsioonist, mis on üks kogu mõõdetaval hulgal ja null mujal —, mis olid kõige hädavajalikumad Gibbsi teooriast arusaamiseks, et hinnata ergoodilise teooria tõelist tähtsust, me vajame *invariandi* mõiste ning samuti ka *teisendusühik* mõiste täpsemat analüüsi. Need mõisted olid Gibbsile kindlasti tuttavad, nagu tema tutumamine vektoranalüüsiga\* seda tõendab. Sellest hoolimata on aga võimalik väita, et ta ei hinnanud neid nende täielikus filosoofilises tähenduses. Nagu tema kaasaegne Heaviside, on Gibbs üks neid teadlasi, kelle füüsikalismatemaatiline taip sageli ületab tema loogika ja kellel on üldiselt õigus, kuigi ta sageli ei suuda seletada, miks ja kuidas tal on õigus.

Iga teaduse olemasoluks on vaja, et ilmneks nähtusi, mis ei esine eraldatuina. Äkilistest veidratest tujudest ajenduva, mõistusega mittehaaratava Jumala poolt sooritatud imede jada abil valitsetavas maailmas me oleksime sunnitud ootama iga uut katastroofi hämmeldava tegevusetuse olukorras. Pilt sellisest maailmast kriketimängus esineb meil raamatus «*Alice'i seiklused Imedemaal*»<sup>1</sup>; siin on kriketikurikateks flamingod\*; pallideks okassiidid, kes rahulikult lahti rulluvad ja oma ülesande kallale asuvad; traatväravateks on mängukaartide sõdurid, kes samuti on võimelised end liigutama omaenese algatusel; ja mängujuhisteks on turtsaka, üllatusi pakkuva Ärtuemanda ülemvalitsejalikud käsud.

<sup>1</sup> Üks esimesi Lewis Carroli\* raamafuid, mis ilmus 1865. a. (Toim.)

Tõhusa mängujuhise või kasuliku füüsikaseaduse põhituum seisneb selles, et ta peab olema ette kindlaks-määratav ja et ta peab kehtima rohkema kui ühe juhu kohta. Ideaalselt peaks ta kujutama käsitletava süsteemi omadust, mis eriolukordade alalisel muutumisel püsib samasugusena. Lihtsaimal juhul osutub ta omaduseks, mis on *invariantne* teatava hulga *teisenduste* suhtes, millele süsteem on allutatud. Nii olemegi jõudnud mõisteteri *teisendus*, *teisendusrühm* ja *invariant*.

Süsteemi teisendus on mingi muutus, mille käigus iga element siirdub teiseks. Päikesesüsteemi kujumuutus, mis siirdumisel toimub hetke  $t_1$  ja hetke  $t_2$  vahel, on planeetide koordinaatide teisenduseks. Samalaadi teisenduseks on muutus nende koordinaatides, kui me nihutame nende algpunkti või pöörame oma geomeetrilisi telgi. Mõõtkava muutumine, mis esineb, kui me vaatleme preparaati mikroskoobi suurendava mõju all, on samuti teisenduseks.

Tulemus, mis saadakse, kui teisendusele  $A$  järgneb teisendus  $B$ , on jällegi teisenduseks, mida tuntakse *korrutisena* ehk *resultandina*  $BA$ . Tuleb silmas pidada, et üldiselt sõltub see  $A$  ja  $B$  järjekorrast. Seega kui  $A$  on teisendus, mis muudab koordinaadi  $x$  koordinaadiks  $y$  ja  $y$ -i  $x$ -ks, kusjuures  $z$  on muutumatu, kuna aga  $B$  muudab  $x$ -i  $z$ -ks,  $z$ -i  $x$ -ks ja  $y$  on muutumatu, siis  $BA$  muudaks  $x$ -i  $y$ -ks,  $y$ -i  $z$ -ks ja  $z$ -i  $x$ -ks, kuna aga  $AB$  muudaks  $x$ -i  $z$ -ks,  $y$ -i  $x$ -ks ja  $z$ -i  $y$ -ks. Kui  $AB$  ja  $BA$  on üks ja seesama, siis ütleme, et  $A$  ja  $B$  on *kommutatiivsed*\* ehk vahetatavad.

Teisendus  $A$  mõnikord, kuid mitte alati, mitte ainult muudab süsteemi iga elemendi mingiks elemendiks, vaid tal on ka omadus, et iga element osutub mingi elemendi teisenduse tulemuseks. Sel juhul on olemas ainus teisendus  $A^{-1}$ , mispuhul niihästi  $AA^{-1}$  kui ka  $A^{-1}A$  on selleks erili-seks teisenduseks, mida tähistatakse  $I$  ja nimetatakse sama-seks *teisenduseks*, mis teisendab iga elemendi iseeneseks. Sel juhul me nimetame teisendust  $A^{-1}$  teisenduse  $A$  *inversiooniks*\*. On selge, et  $A$  osutub  $A^{-1}$  inversiooniks, et  $I$  on omaenese inversiooniks ja et  $AB$  inversiooniks on  $B^{-1}A^{-1}$ .

On olemas teisenduste teatud hulgad, milles iga hulka kuuluval teisendusel on oma inversioon, mis samuti kuulub hulgale, ja milles mingi kahe hulgale kuuluva teisenduse korrutis ise ka kuulub hulgale. Neid hulki tuntakse *teisendusrühmadena*. Hulk kõigist lüketest mööda sirgjoont või mingil tasapinnal või mingis kolmemõõtmelises ruu-

mis osutub teisendusrühmaks; isegi rohkem, ta osutub eriliiki teisendusrühmaks, mida tuntakse *Abeli*<sup>1</sup> teisendusrühmana, milles igasugused kaks rühma kuuluvat teisendust on kommutatiivsed. Mingi punkti ümber toimuvate pöörete hulk ja ruumis toimuvate mingi jäiga keha liikumiste hulk kujutavad mitte-Abeli rühmi.

Oletame, et meil on mingi suurus omistatud kõigile teatava teisendusrühma poolt teisendatud elementidele. Kui see suurus jääb muutumatuks, ehkki iga element muutub rühma ühe- ja sellesamase teisenduse teel, ükskõik milline see teisendus ka oleks, siis nimetatakse teda *rühma invariantiks*. Selliseid rühma invariante on olemas üsna mitut liiki, millest kaks on meie eesmärkidel eriti tähtsad.

Esimesteks on niinimetatud *lineaarsed invariantid*. Olgu Abeli rühma poolt teisendatud elemendid avaldisteks, mis me esitame  $x$ -na, ja olgu  $f(x)$  nende elementide kompleksväärtusega funktsiooniks teatavate sobivate pidevus- ehk integreerimisomadustega. Siis juhul, kui  $Tx$  tähistab elementi, mis saadakse  $x$ -st teisenduse  $T$  abil, ja kui  $f(x)$  on funktsiooniks absoluutväärtusega 1, selliselt et

$$f(Tx) = \alpha(T) f(x), \quad (2.03)$$

kus  $\alpha(T)$  on ainult  $T$ -st sõltuv arv absoluutväärtusega 1, me ütleme, et  $f(x)$  on rühma *karakteristik*. See on veidi üldistatud mõttes rühma invariantiks. Kui  $f(x)$  ja  $g(x)$  on rühma karakteristikud, siis kahtlemata on seda ka  $f(x)g(x)$ , samuti nagu  $[f(x)]^{-1}$ . Kui me võime esitada mingi funktsiooni  $h(x)$ , mis on määratletud rühmal rühma karakteristikute lineaarse kombinatsioonina mingil sellisel kujul nagu

$$h(x) = \sum A_k f_k(x), \quad (2.04)$$

kus  $f_k(x)$  on rühma karakteristik ja  $\alpha_k(T)$  on  $f_k(x)$ -ga samasuguses seoses nagu  $\alpha(T) f(x)$ -ga avaldises (2.03), siis

$$h(Tx) = \sum A_k \alpha_k(T) f_k(x). \quad (2.05)$$

Seega kui me võime avaldada  $h(x)$  rühma karakteristikute hulga avaldiste kaudu, siis võime avaldada karakte-

<sup>1</sup> Üheksateistkümnendast sajandist pärineva norra matemaatiku Abeli\* nime järgi. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

ristikute kaudu ka  $h(Tx)$  mis tahes  $T$  kohta karakteristikute avaldiste kaudu.

Meile on selgunud, et rühma karakteristikud tekitavad korrutamise ja inversiooni teel teisi karakteristikuid, ja üsna hõlpus on veenduda, et konstant 1 osutub karakteristikuks. Korrutamine rühma karakteristikuga tekitab seega rühma karakteristikute eneste teisendusrühma, mis on tuntud lähterühma *karakteristliku rühmana*.

Kui lähterühmaks on lõpmatu sirge lükete rühm, nii et operaator  $T$  muudab  $x$ -i  $x+T$ -ks, saame avaldisest (2.03):

$$f(x+T) = \alpha(T) f(x), \quad (2.06)$$

mis on rahuldatud kui  $f(x) = e^{i\lambda x}$ ,  $\alpha(T) = e^{i\lambda T}$ . Karakteristikuteks on funktsioonid  $e^{i\lambda x}$  ja karakteristlikuks rühmaks on rühm lüketest, mis muudavad  $\lambda$   $\lambda + \tau$ -ks, olles seega sama-suguse koostisega nagu lähterühm<sup>1</sup>. Asi ei oleks aga nii, kui lähterühm koosneks pööretest mööda ringjoont. Sel juhul muudab operaator  $T$   $x$ -i mingiks 0 ja  $2\pi$  vahel olevaks arvuks, mis erineb  $x+T$ -st väärtuse  $2\pi$  täisarvukordselt ja kuigi (2.06) veel kehtib, esineb meil lisatingimus, et

$$\alpha(T+2\pi) = \alpha(T). \quad (2.07)$$

Kui me nüüd asendame  $f(x) = e^{i\lambda x}$  nagu varemgi, siis saame:

$$e^{i2\pi\lambda} = 1, \quad (2.08)$$

mis tähendab, et  $\lambda$  peab olema reaalne positiivne või negatiivne täisarv või null. Karakteristlik rühm vastab seega reaalsete täisarvude lüketele. Kui, teisest küljest, lähterühm on täisarvude lükete rühmaks, siis on  $x$  ja  $T$  avaldises (2.05) täisarvuliste väärtuste piires ja  $e^{i\lambda x}$  hõlmab ainult arve 0 ja  $2\pi$  vahel, millega ta erineb  $\lambda$ -st väärtuse  $2\pi$  täisarvukordselt. Seega on karakteristlik rühm põhiliselt ringjoonpöörete rühmaks.

Igas karakteristlikus rühmas on antud karakteristliku  $f$  korral  $\alpha(T)$  väärtused jaotatud selliselt, et jaotus ei muutu, kui neid kõiki korrutada  $\alpha(S)$ -ga, mis tahes elemendi  $S$  puhul rühmas. Tähendab, kui on olemas mingi vastuvõetav alus keskmise leidmiseks nendest väärtustest, mida ei

<sup>1</sup> See tähendab, et nimetatud karakteristlik rühm on lähterühmaga *isomorjne*. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

mõjuta rühma teisendus iga teisenduse korrutamise teel tema teatud kindla teisendusega, siis kas  $\alpha(T)$  on alati 1 või see keskmine on invariantne korrutatuna mingi arvuga, mis pole 1, ning peab olema 0. Sellest võib järeldada, et keskmine mingi karakteristiku korrutisest tema kaasavaldisega (mis samuti osutub karakteristikuks) omandab väärtuse 1 ja et keskmine mingi karakteristiku korrutisest mingi teise karakteristiku kaasavaldisega omandab väärtuse 0. Teiste sõnadega, kui me võiksime väljendada  $h(x)$  nagu avaldises (2.04), siis saaksime:

$$A_k = \text{keskmine } [h(x)f_k(x)]. \quad (2.09)$$

Juhul kui on tegemist ringjoonpöörete rühmaga, saame otseselt, et kui

$$f(x) = \sum a_n e^{inx}, \quad (2.10)$$

siis

$$a_n = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) e^{-inx} dx; \quad (2.11)$$

ja piki lõpmatut sirget toimunud lükete tulemus on tihedas seoses asjaoluga, et kui mingis sobivas mõttes

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} a(\lambda) e^{i\lambda x} d\lambda, \quad (2.12)$$

siis mingis teatud mõttes

$$a(\lambda) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\lambda x} dx. \quad (2.13)$$

Need tulemused on siin esitatud väga üldjoontes ja ilma nende kehtivuse tingimusi selgesti väljendamata. Teooria täpsemaks selgitamiseks peaks lugeja otsima abi viites mainitud allikast<sup>1</sup>.

Peale rühma lineaarsete invariantide teooria on olemas ka üldine teooria tema meetriliste invariantide kohta. Need on Lebesgue'i mõõdusüsteemid, milles ei esine mingit muutust, kui rühma poolt teisendatavad esemed on asendatud

<sup>1</sup> Wiener, «The Fourier Integral and Certain of its Applications», Cambridge Univ. Press (1932).

rühma operaatoritega. Sellega seoses peaksime mainima huvitavat rühma mõõduteooriat, mille autoriks on Haar<sup>1</sup>. Nagu me nägime, on iga rühm ise kogum esemeid, mis on asendatud korrutatuina rühma enese tehetega. Sellisena võib tal olla invariantne mõõt. Haar on tõestanud, et teatud küllaltki ulatuslik rühmade klass omab üheselt määratud invariantset mõõtu, mis on määratletav rühma enese struktuuriga.

Teisenduste rühma meetriliste invariantide teooria tähtsaimaks rakenduseks on faasikeskmise ja ajakeskmise vastastikuse vahetatavuse õigustuse näitamine, mida, nagu me juba nägime, Gibbs tagajärjetult püüdis kindlaks teha. Alust, millele tuginedes see on teostunud, tuntakse ergoodilise teooriana.

Tavalised ergoodilised teoreemid lähtuvad valdkonnast  $E$ , mille suhtes võime eeldada, et selle mõõt on 1, ja mis on teisendatud iseeneseks mõõtusäilitava teisenduse  $T$  teel või mõõtusäilitavate teisenduste rühma  $T^\lambda$  teel, kusjuures  $-\infty < \lambda < \infty$  ja

$$T^\lambda \cdot T^\mu = T^{\lambda + \mu}. \quad (2.14)$$

Ergoodiline teooria ise käsitleb valdkonna  $E$  elementide  $x$  kompleksväärtusega funktsioone  $f(x)$ . Kõigil juhtudel eeldatakse, et  $f(x)$  on mõõtuv  $x$  suhtes ja kui meil on tegemist pideva teisendusrühmaga, siis eeldatakse, et  $f(T^\lambda x)$  on mõõtuv üheaegselt  $x$  ja  $\lambda$  suhtes.

Koopmani ja von Neumanni keskmises ergoodilises teoreemis eeldatakse, et  $f(x)$  kuulub klassi  $L^2$ ; see tähendab

$$\int_E |f(x)|^2 dx < \infty. \quad (2.15)$$

Teoreem väidab siis, et

$$f_N(x) = \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N f(T^n x) \quad (2.16)$$

või

$$f_A(x) = \frac{1}{A} \int_0^A f(T^\lambda x) d\lambda, \quad (2.17)$$

<sup>1</sup> Haar, H., «Der Maßbegriff in der Theorie der Kontinuierlichen Gruppen», *Ann. of Math.* (2), 34, pp. 147—169 (1933).

nagu seda võib esineda, koondub keskmiselt piirväärtusele  $f^*(x)$ , kui vastavalt  $N \rightarrow \infty$  või  $A \rightarrow \infty$  selles mõttes, et

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \int_E |f^*(x) - f_N(x)|^2 dx = 0 \quad (2.18)$$

ja

$$\lim_{A \rightarrow \infty} \int_E |f^*(x) - f_A(x)|^2 dx = 0. \quad (2.19)$$

Birkhoffi «peaaegu kõikjal» ergoodilises teoreemis eeldatakse, et  $f(x)$  kuulub klassi  $L$ , mis tähendab, et

$$\int_E |f(x)| dx < \infty. \quad (2.20)$$

Funktsioonid  $f_N(x)$  ja  $f_A(x)$  on määratletud nagu avaldistes (2.16) ja (2.17).

Siis teoreem väidab, et välja arvatud  $x$  väärtuste hulgal mõõduga 0, kehtivad seosed:

$$f^*(x) = \lim_{N \rightarrow \infty} f_N(x) \quad (2.21)$$

ja

$$f^*(x) = \lim_{A \rightarrow \infty} f_A(x). \quad (2.22)$$

Väga huvitavaks on niinimetatud *ergoodiline* ehk meetriliselt *transitiivne* juhtum, mille puhul teisendus  $T$  või teisenduste hulk  $T^{\lambda}$  ei jäta invariantseks ühtegi hulka punktidest  $x$ , mille mõõt ei ole 1 ega 0. Sellisel juhul on (mõlema ergoodilise teoreemi kohta) väärtuste hulk  $x$ , mille puhul  $f^*(x)$  omandab teatava suurusjärgu, peaaegu alati kas 1 või 0. See osutub võimatuks ainult siis, kui  $f^*(x)$  on peaaegu alati konstant. Väärtuseks, mille  $f^*(x)$  siis peaaegu alati omandab, on

$$\int_0^1 f(x) dx. \quad (2.23)$$

Seega Koopmani teoreemi põhjal saame:

$$\text{l. i. m.}_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N f(T^n x) = \int_0^1 f(x) dx \quad (2.24)$$

ja Birkhoffi teoreemi põhjal saame:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_{n=0}^N f(T^n x) = \int_0^1 f(\xi) d\xi, \quad (2.25)$$

välja arvatud  $x$  väärtuste hulk, mille mõõt on null või tõe-  
näosus 0. Samasugused tulemused esinevad pideva juhu  
korral. See on piisavaks õigustuseks Gibbsi poolt faasi-  
keskmise ja ajakeskmise vahetamiseks.

Juhtudeks, mil teisendus  $T$  või teisendusrühm  $T^n$  pole  
ergoodiline, on von Neumann väga üldistel tingimustel näi-  
danud, et neid võib taandada ergoodilistele komponentidele.  
See tähendab, et, välja arvatud  $x$  väärtuste hulk mõõduga  
null, võib  $E$  lahutada lõplikuks või loenduvaks klasside  $E_n$   
hulgaks ja klasside  $E(y)$  kontiinumiks selliselt, et igal  $E_n$   
ja  $E(y)$  oleks määratud mõõt, mis on invariantne  $T$  või  $T^n$   
suhtes. Need teisendused on kõik ergoodilised; kui  $S(y)$  on  
 $S$  ja  $E(y)$  lõikeks ning  $S_n S$  ja  $E_n$  lõikeks, siis

$$\text{mõõt}_E(S) = \int \text{mõõt}_{E(y)}[S(y)] dy + \sum_{E_n} \text{mõõt}_{E_n}(S_n). \quad (2.26)$$

Teiste sõnadega, kogu mõõtusäilitavate teisenduste teooria  
võib taandada ergoodiliste teisenduste teooriale.

Olgu mõõdamannes märgitud, et kogu ergoodiline teo-  
ria on rakendatav üldisemate teisendusrühmade kohta, kui  
seda on sirge lükete rühmaga isomorfsed rühmad. Eriti on  
ta rakendatav  $n$ -mõõtmelise lükete rühma suhtes. Füüsika-  
liselt tähtsaks on kolmemõõtmeline juhtum. Ajalise tasa-  
kaalu ruumiliseks analoogiks on ruumiline homogeensus,  
ja sellised teooriad, nagu homogeense gaasi, vedeliku või  
tahkekeha teooria, sõltuvad kolmemõõtmelise ergoodilise  
teooria rakendatavusest. Mitteergoodiline kolmes mõõt-  
mes lüketeisenduste rühm kujutab muuseas selliste mit-  
mesuguste seisundite segu teisenduste hulka, millest antud  
hetkel esineb kas üks või teine seisund, ei esine aga mõle-  
mate segu.

Üheks statistilise mehaanika põhimõisteks, mis leiab  
rakendust ka klassikalises termodünaamikas, on *entroopia*  
mõiste. See on eelkõige piirkondade omaduseks faasiruumis  
ja väljendab logaritmi nende tõenäosuse mõõdust. Vaat-

leme näiteks  $n$  osakese liikumist mingis anumas, mis on jaotatud kaheks osaks  $A$  ja  $B$ . Kui  $m$  osakest on osas  $A$  ja  $n-m$  osas  $B$ , siis on meil teatav piirkond faasiruumis iseloomustatud ja tal on teatud tõenäosuse mõõt. Logaritm on jaotuse entroopia:  $m$  osakest osas  $A$ ,  $n-m$  osas  $B$ . Süsteem vedab suurema osa oma ajast seisundis, mis on lähedane kõige suuremale entroopiale selles mõttes, et kõige pikemat aega asuvad ligikaudu  $m_1$  osakest osas  $A$ , ligikaudu  $n-m_1$  osas  $B$ , kusjuures suurema tõenäosusega esineb kombinatsioon, et  $m_1$  osakest on osas  $A$  ja  $n-m_1$  osas  $B$ . Suure osakeste arvuga süsteemide ja tegelikult eristatavates piirides erinevate seisundite suhtes tähendab see, et võtnud suurimast entroopiast erineva seisundi ja jälgides, mis temaga toimub, entroopia peaaegu alati kasvab. Tavalistes soojusmasinate termodünaamilistes ülesannetes on meil tegemist tingimustega, milles esineb ligikaudne soojuslik tasakaal suurtes piirkondades, nagu seda on masina silinder. Seisundid, mille suhtes me entroopiat tundma õpime, on seisundid, mis kutsuvad esile suurima entroopia antud temperatuuri ja ruumala korral, antud ruumalade väikese arvu piirkondade puhul ning antud eeldataval temperatuuril. Isegi põhjalikumalt käsitledes soojusmasinaid, eriti selliseid soojusmasinaid, nagu on turbiin, milles gaas paisub palju keerukamal viisil kui silindris, need tingimused väga tunduvalt ei muutu. Me võime rahulikult kõnelda kohalikest temperatuuridest ja seda väga suure lähendusega isegi siis, kui ükski temperatuur pole täpselt määratud, välja arvatud tasakaaluseisundis ja sellisel viisil, mis selle tasakaalu esile kutsub. Ent elusaines puudub meil suurelt osalt isegi see ligikaudne homogeensus. Valgukoe siseehitus, nagu näitab elektronmikroskoop, on erakordselt täpne ja peenetoimeline ning tema füsioloogia on selle peenetoimelisusega kindlasti kooskõlas. See ehedus on kaugelt suurem kui tavalise termomeetri ruumi ja aja astmikul, mistõttu tavaliste termomeetrite abil eluskudedes mõõdetud temperatuurid ongi vaid labasteks keskväärtusteks ning hoopiski mitte tõelisteks termodünaamika temperatuurideks. Gibbsi statistiline mehaanika võib väga hästi olla täiesti adekvaatseks mudeliks selle kohta, mis toimub kehas; pilt, mille loob tavaline soojusmasin, seda kindlasti pole. Lihaste tegevuse soojuslik kasutegur ei oma peaaegu mingit tähtsust, ja kindlasti ei tähenda seda, mida ta näib tähendavat.

Uheks väga tähtsaks mõtteks statistilises mehaanikas on kujutus Maxwelli deemonist. Kujutlegem gaasi, milles osakesed liiguvad korrapäratult, kusjuures nende kiirused on jaotunud statistilises tasakaalus vastavalt antud temperatuurile. Ideaalse gaasi \* puhul on selleks Maxwelli jaotus\*. Olgu see gaas mahutatud jäika mahutisse, milles on vahesein ja selles ava, mida katab väike värav. Viimast liigutavaks väravavahiks on kas inimesekujuline deemon või väga täpne mehhanism. Kui osake, mille kiirus on keskmisest suurem, läheneb väravale kambrist *A* või osake, mille kiirus on keskmisest väiksem, läheneb väravale kambrist *B*, avab väravavaht värava ja osake pääseb läbi; kui aga osake, mille kiirus on keskmisest väiksem, läheneb väravale kambrist *A* või osake, mille kiirus on keskmisest suurem, läheneb väravale kambrist *B*, siis jääb värav suletuks. Sel teel kasvab suure kiirusega osakeste sisaldus kambris *B* ja kahaneb kambris *A*. See kutsub esile ilmselt entroopia vähenemist; kui aga need kaks kambrit oleksid nüüd ühendatud soojusmasina kaudu, siis näib, nagu oleks meil kujunenud teist liiki perpetuum mobile\*.

Lihtsam on Maxwelli deemonina püstitatud küsimust kummutada, kui talle vastata. Pole ju midagi kergemat, kui eitada selliste olendite või seadmete võimalikkust. Meile tõepoolest selgub, et tasakaalus olevas süsteemis Maxwelli deemonid selle sõna rangeimas mõttes esineda ei saa, kui me aga algusest peale seda tunnustame ega püüagi neid tõestada, siis kaotame harukordselt soodsa võimaluse saada midagi teada entroopia kohta ja võimalike füüsikaliste, keemiliste ning bioloogiliste süsteemide kohta.

Et Maxwelli deemon saaks tegutseda, peab ta saama lähenevatelt osakestelt informatsiooni selle kohta, mis puutub nende kiirusesse ja seina vastu põrkamise punktisse. Ükskõik kas need impulsid kutsuvad esile energia siirdumist või mitte, peavad nad kutsuma esile deemoni ja gaasi ühinemise. Kuid entroopia kasvamise seadus kehtib täielikult eraldatud süsteemi suhtes, ei kehti aga sellise süsteemi eraldamata osa kohta. Järelikult on entroopiaks, mis meid huvitab, ainult süsteemi gaas—deemon entroopia, ja mitte üksinda gaasi oma. Gaasi entroopia on vaid üheks koostisosaks suurema süsteemi koguentroopiast. Kas me võime leida koostisosi, mis sisaldavad deemonit samuti nagu neid, mis mõjuvad kaasa sellele koguentroopiale?

Usna kindlasti võime. Deemon saab tegutseda ainult informatsiooni vastu võttes ja selleks informatsiooniks, nagu me järgmises peatükis näeme, on negatiivne entroopia. Informatsiooni tuleb üle anda mingi füüsikalise protsessi, ütleme mingit liiki kiirguse teel. Võib väga hästi eeldada, et seda informatsiooni antakse üle väga madalal energia tasemel ja et tunduva aja ulatusel on energia siirdumine osakese ning deemoni vahel kaugelt vähem tähtis kui informatsiooni siirdumine. Kuid siiski on kvantmehaanika põhjal võimatu saada mingit informatsiooni, mis annaks mõne osakese asukoha või hoo, veel vähem need mõlemad korraga ilma katsetatava osakese energiat oluliselt mõjutamata, ületades teatava miinimumi sõltuvalt katsetamiseks kasutatud valguse sagedusest. Seega on kogu ühinemine rangelt võttes niisuguseks ühinemiseks, millest võtab osa energia; ja statistilises tasakaalus olev süsteem on tasakaalus nii entroopia kui ka energia mõttes. Pikapeale allub ka Maxwelli deemon ise juhuslikule liikumisele vastavalt oma ümbruskonna temperatuurile ja nagu Leibniz mõnede oma monaadide kohta ütleb, võtavad nad vastu suure hulga väikseid muljeid, kuni nad saavad «täieliku peapöörituse» ja on võimetud selgesti tajuma. Tegelikult nad lakkavad tegutsemast Maxwelli deemonina.

Sellest hoolimata võib mööduda küllalt pikk ajavahe-  
mik, enne kui deemon oma kohaldumisvõime kaotab, ja seda aega on võimalik niivõrd pikendada, et võime kõnelda deemoni tegevulukorrast kui metastabiilsest\*. Pole põhjust arvata, et metastabiilseid deemoneid tegelikult ei esine; tõepoolest, väga kergesti võib olla nii, et ensüümid on metastabiilseteks Maxwelli deemoniteks, kahandades entroopiat võib-olla mitte kiirete ja aeglase osakeste teineteisest eraldamisega, vaid mingite muude samaväärsete menetluste teel. Väga hästi võime selles valguses käsitada ka selliseid elusolendeid nagu inimest ennast. Kindlasti on ensüümid ja elusolendid ühevõrra metastabiilsed: ensüümi stabiilseks seisundiks on ebatoimekuse olukord ja elusolendi stabiilseks seisundiks on surnudolek. Kõik katalüsaatorid on viimseni rikutud: nad muudavad reaktsiooni kiirusi, kuid ei muuda tegelikku tasakaalu. Kuid ometi on katalüsaatoritel ja samuti ka inimesel küllaltki kindlad metastabiilsed seisundid, et neid seisundeid õigusega tunnustada suhteliselt püsivate olukordadena.

Ma ei tahaks lõpetada seda peatükki ilma märkimata, et ergoodilisel teoorial on märksa laiem sisu, kui me seda eespool oleme maininud. On olemas ergoodilise teooria teatud ajakohaseid arendusi, milles teisenduste hulga korral invariantseena säiliv mõõt on määratletud vahetult selle hulga enese kaudu, mitte aga enesestmõistetavana eeldatud. Ma viitaksin eriti Krõlovi ja Bogoljubovi töödele ning mõningatele Hurewiczi\* ja jaapani koolkonna töödele.

Järgnev peatükk on pühendatud aegridade statistilisele mehaanikale. See on teiseks alaks, kus tingimused on väga kaugel soojusmasinate statistilise mehaanika omadest ja mis on seega igati sobiv täitma mudeli aset selle kohta, mis toimub elusolendeis.

## AEGREAD, INFORMATSIOON JA SIDE

Leidub ulatuslik klass erilisi nähtusi, milles on vaatluse all kas numbriline suurus või ajas jaotatud numbriliste suuruste jada. Temperatuur, üleskirjutatuna pidevalt registreeriva termomeetri abil, või päevast päeva tehtavad aktsiate lõppnoteeringud börsil, või ilmajaama poolt päev-päevalt avaldatavate ilmavaatluste andmete kokkuvõtted — kõik need on aegread, pidevad või sõredad, lihtsad või kordsed. Need aegread on suhteliselt aeglaselt muutuvad ja sobivad hästi tõlgendamiseks käsitsiarvutamise või tavaliste arvutamismahendite, nagu arvutuslülkatite ja arvutite kasutamise teel. Nende tundmaõppimine kuulub statistika teooria kõige tavalisemate osade hulka.

Mida aga veel üldiselt pole taibatud, on see, et mingis telefoniliinis või televisioonivooluringis või radariseadme osas kiiresti muutuvad pingete jadad kuuluvad täielikult statistika ja aegridade alale, ehkki seadmed, mille abil nad moodustuvad ja muunduvad, peavad üldiselt olema väga kiiretoimelised ning olema tegelikult võimelised väljama tulemusi *pari passu*\* väga kiirete sisandi vaheldumistega. Need seadmeosad — telefonivastuvõtjad, lainefiltrid, automaatsed kõnekoodimisseadmed, nagu Belli Telefonilaboratooriumi «Vocoder»<sup>1</sup> sagedusmoduleerimise lülitused ja neile sobivad vastuvõtjad — on põhiolemuselt kõik kiiretoimelised aritmeetilised seadmed, mis vastavad kogu arvutite ja programmimisseadmete aparatuurile ning arvutuskeskuse arvutajate koosseisule. Nende kasutamiseks vajalik täiendus on neisse juba eelnevalt sisse ehitatud, nagu see on mahutatud õhukaitse tulejuhtimisseadmetiku automaatsesse kaugusmõõdikutesse ja sihtimisseadmetesse; ning ka

<sup>1</sup> «Vocoder» on «sünteesiline» telefoneerimise seade, milles sidekanalite kaudu antakse tavaliste loomulike kõnesignaali asemel üle lihtsustatud käsklussignaale, mida saadakse kõneluse analüüsimise teel saateotsas. Vastuvõtuotsas kõne kunstlikul teel sünteesitakse käsklussignaali põhjal, mis määravad helide kõrguse ja tugevuse, rütmi jne. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

selsamal põhjusel. Toimingute ahelikku on vaja teenindada liiga kiiresti selleks, et seal saaksid esineda mingid inimlülid.

Erandita kõik aegread ja aparaadid, milles on nendega tegemist, kas siis arvutuskeskuses või telefonivooluringis, tegelevad informatsiooni vastuvõtmise, säilitamise, üleandmise ja ärakasutamise. Mis on see informatsioon ja kuidas teda mõõdetakse? Üheks lihtsaimaks, kõige algeliseks informatsiooni vormiks on valiku kindlakstegemine kahe võrdse tõenäosusega lihtsa võimaluse vahel, millest üks või teine kindlasti peab toimuma, näiteks valik vapi ja kirja vahel mündi viskamisel. Nimetame seda liiki ainsat valikut *otsustuseks*. Kui me nüüd küsime informatsioonikoguse järele, mõõtes ülimalt täpsusega suurust, mille kohta on teada, et ta asub  $A$  ja  $B$  vahel, võides ühesuguse *a priori* tõenäosusega asuda selles ulatuses kus tahes, siis me näeme, et, võtnud  $A=0$  ja  $B=1$  ning esitanud suuruse kahend-süsteemis lõpmatu kahendarvuna  $0, a_1a_2 \dots a_n \dots$ , milles  $a_1, a_2, \dots$ , igaüks omavad väärtust  $0$  või  $1$ , osutub lõpmatuks ka tehtud valikute arv ja järelduv informatsioonikogus. Siin

$$0, a_1 a_2 a_3 \dots a_n \dots = \frac{1}{2} a_1 + \frac{1}{2^2} a_2 + \dots + \frac{1}{2^n} a_n + \dots \quad (3.01)$$

Kuid ükski mõõtmine, mille me tegelikult teeme, ei toimu täiusliku täpsusega. Kui mõõtmises esineb ühtlaselt jaotunud viga, mis asub teatava pikkuse  $0, b_1 b_2 \dots b_n \dots$  ulatusel, kus  $b_k$  on esimeseks numbriks, mis ei võrdu nulliga, siis näeme, et kõik otsustused alates  $a_1$  kuni  $a_{k-1}$  ja võib-olla  $a_k$ -ni, omavad tähendust, kuna aga kõik järgmised otsustused seda ei oma. Tehtud otsustuste arv kindlasti ei erine kuigi palju väärtusest

$$\log_2 \frac{0, a_1 a_2 \dots a_n \dots}{0, b_1 b_2 \dots b_n \dots}, \quad (3.02)$$

ja me vaatame sellele suurusele kui informatsioonikoguse määratelule ja tema täpsele valemile.

Me võime teda sõnastada järgmisel viisil: me teame *a priori*, et mingi muutuja asub  $0$  ja  $1$  vahel, ning *a posteriori* \*, et ta asub vahemikus  $(a, b)$  seespool  $(0, 1)$ . Siis on informatsioonikoguseks, mille me oma *a posteriori* teadmisest saame,

$$-\log_2 \frac{(a, b) \text{ mõõt}}{(0, 1) \text{ mõõt}}. \quad (3.03)$$

Kuid käsitlegem nüüd juhtu, mil meie *a priori* teadmiseks on see, et teatud suurus asub  $x$  ja  $x+dx$  vahel tõenäosusega  $f_1(x)dx$ , ning *a posteriori* tõenäosuseks on  $f_2(x)dx$ . Kui palju uut informatsiooni meil *a posteriori* tõenäosus annab?

Selleks probleemiks on põhiliselt kõverate  $y=f_1(x)$  ja  $y=f_2(x)$  vahelise piirkonna laiuse leidmine. Olgu märgitud, et meie eelduse kohaselt on siin muutuja põhiliselt jagunenud ühtlasena: see tähendab, et meil tulemused pole üldiselt samasugused, kui me  $x$ -i asendame  $x^3$ -ga, või mõne muu funktsiooniga  $x$ -st. Kuna  $f_1(x)$  osutub tõenäosustiheduseks, siis

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) dx = 1, \quad (3.04)$$

nii et  $f_1(x)$  poolt ümbritsetava piirkonna laiuse keskmist logaritmi võib pidada teatud liiki keskmiseks  $f_1(x)$  pöördväärtuse logaritmi kõrgusest. Seega on kõveraga  $f_1(x)$  seoses oleva informatsioonikoguse mõistlikuks mõõduks<sup>1</sup>

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\log_2 f_1(x)] f_1(x) dx. \quad (3.05)$$

Suurus, mille me siin määratleme informatsioonikoguseks, on taolises olukorras tavaliselt entroopia määratletava suuruse negatiivseks väärtuseks. Siin esitatud määratelu pole mitte too, mille on statistiliste ülesannete jaoks andnud R. A. Fisher, ehkki ta on statistiline määratelu ja kasutatav statistilistes arvutustes Fisheri määratelu asemel.

Kui  $f_1(x)$  on konstantne ( $a, b$ ) vahel ja null mujal, siis

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\log_2 f_1(x)] f_1(x) dx = \frac{b-a}{b-a} \log_2 \frac{1}{b-a} = \log_2 \frac{1}{b-a}. \quad (3.06)$$

<sup>1</sup> Siin kasutab autor ära J. von Neumanni isiklikku teadet.

Kasutades seda avaldist võrdlemiseks informatsiooni-  
niga sellest, et mingi punkt on piirkonnas  $(0, 1)$ , saame  
vahe mõõduks:

$$\log_2 \frac{1}{b-a} - \log_2 1 = \log_2 \frac{1}{b-a}. \quad (3.07)$$

Määratelu, mille me oleme andnud informatsiooni-  
koguse kohta, kehtib, kui muutuja  $x$  on asendatud muutu-  
jaga, mis ulatub üle kahe või rohkema mõõtme. Kahemõõt-  
melisel juhul on  $f_1(x, y)$  selline funktsioon, et

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy f_1(x, y) = 1 \quad (3.08)$$

ja informatsioonikogus on

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy f_1(x, y) \log_2 f_1(x, y). \quad (3.081)$$

Paneme tähele, et kui  $f_1(x, y)$  omab kuju  $\varphi(x)\psi(y)$  ja

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(y) dy = 1, \quad (3.082)$$

siis

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy \varphi(x)\psi(y) = 1 \quad (3.083)$$

ja

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy f_1(x, y) \log_2 f_1(x, y) = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} dx \varphi(x) \log_2 \varphi(x) + \int_{-\infty}^{\infty} dy \psi(y) \log_2 \psi(y); \quad (3.084) \end{aligned}$$

seega on sõltumatutest allikatest pärinevad informatsioo-  
nid koguseliselt liidetavad.

Väga huvitav on küsimus sellest, kuidas määrata infor-  
matsiooni, mida saadakse juhul, kui mingis ülesandes üks

või rohkem muutujaid on kindlad. Näiteks oletame, et muutuja  $u$  asub  $x$  ja  $x+dx$  vahel tõenäosusega  $\frac{1}{\sqrt{2\pi a}} e^{-\frac{x^2}{2a}} dx$ , kuna aga muutuja  $v$  asub nendesamade kahe piirväärtuse vahel tõenäosusega  $\frac{1}{\sqrt{2\pi b}} e^{-\frac{x^2}{2b}} dx$ . Kui palju informatsiooni me saame  $u$  kohta, kui me teame, et  $u+v=w$ ? Sel juhul on ilmne, et  $u=w-v$ , kus  $w$  on teada. Me eeldame, et  $u$  ja  $v$  *a priori* jaotused on sõltumatud. Siis on  $u$  *a posteriori* jaotus võrdeline avaldisega

$$e^{-\frac{x^2}{2a}} e^{-\frac{(x-w)^2}{2b}} = c_1 e^{-(w-c_2)^2 \frac{a+b}{2ab}}, \quad (3.09)$$

kus  $c_1$  ja  $c_2$  on konstandid. Nad mõlemad puuduvad valemis, mis väljendab informatsiooni kasvu, tingituna sellest, et  $w$  oli kindel.

Lisainformatsioon  $x$  kohta, kui me teame, et  $w$  on seline, nagu me olime eeldanud, on

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{ab}{a+b}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x-c_2)^2 \frac{a+b}{2ab}} \left[ -\frac{1}{2} \log_2 2\pi \frac{ab}{a+b} - \right. \\ & \left. - (x-c_2)^2 \frac{a+b}{2ab} \right] dx - \frac{1}{\sqrt{2\pi a}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2a}} \left( -\frac{1}{2} \log_2 2\pi a - \right. \\ & \left. - \frac{x^2}{2a} \right) dx = \frac{1}{2} \log_2 \frac{a+b}{b}. \end{aligned} \quad (3.091)$$

Paneme tähele, et avaldis (3.091) on positiivne ja et ta on sõltumatu  $w$ -st. Ta on pool  $u$  ja  $v$  ruutkeskmiste summa ning  $v$  ruutkeskmise suhte logaritmist. Kui  $v$ -l on vaid väike muutumisulatus, siis  $u$  informatsioonikogus, mille annab  $u+v$  teadmine, on suur ja muutub lõpmatuks, kui  $b$  läheneb nullile.

Seda tulemust võime näha järgmises valguses: olgu käsitatud  $u$ -d mingi teatena ja  $v$ -d mürana. Siis on täpse teatega üleantud informatsioon müra puudumisel lõpmatu. Müra esinemisel aga on selle informatsiooni kogus lõplik ja kui müra tugevus kasvab, läheneb ta väga kiiresti nullile.

Me oleme rääkinud, et informatsioonikogus, olles negatiivseks logaritmi suurus, mida me võime käsitada tõenäosusena, osutub põhiliselt negatiivseks entroopiaks. On huvitav näidata, et keskmiselt on tal samad omadused, mida me eeldame olevat entroopiaal.

Olgu  $\varphi(x)$  ja  $\psi(x)$  kaks tõenäosustihedust; siis on ka  $\frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2}$  tõenäosustiheduseks. Seega

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2} \log \frac{\varphi(x)+\psi(x)}{2} dx \leq \leq \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \log \frac{\varphi(x)}{2} dx + \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) \log \frac{\psi(x)}{2} dx \right]. \quad (3.10)$$

See järeldub asjaolust, et

$$\log \left( \frac{P+Q}{2} \right) \leq \log \frac{P}{2} + \log \frac{Q}{2}. \quad (3.11)$$

Teiste sõnadega  $\varphi(x)$  ja  $\psi(x)$  poolt ümbritsetavate piirkondade osaline kattumine taandab suurimat informatsiooni, mida sisaldab  $\varphi(x)+\psi(x)$ . Teiselt poolt, kui  $\varphi(x)$  on tõenäosustihedus, mis väljaspool  $(a, b)$  muutub nulliks, siis

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) \log \varphi(x) dx \quad (3.12)$$

on vähim kui  $\varphi(x) = \frac{1}{b-a}$  vahemikus  $(a, b)$  ja võrdub nulliga mujal. See järeldub tõsiasiast, et logaritmiline kõver on ülespoole kumer.

Sellest on näha, et protsessid, mis põhjustavad informatsioonikadu, on eeldatavasti väga sarnased protsessidega, mis põhjustavad entroopia kasvu. Nad seisnevad selles, et tõenäosuse piirkonnad, mis esialgu olid eristatavad, sulavad kokku. Näiteks kui me asendame teatava muutuja jaotuse selle muutuja funktsiooni jaotusega, kusjuures funktsioon omandab erisuguste argumentide\* puhul ühe ja sellesama väärtuse, või kui me mitme muutuja funktsionis lubame mõnel muutujal tõkestamatult ulatuda oma loomuliku muutumise ulatusest väljapoole,

siis me kaotame informatsiooni. Mitte ükski toiming teate kallal ei saa informatsiooni keskmiselt suurendada. Siin esineb meil täpne teise termodünaamika seaduse kehtimine sidetehnikas. Vastupidi, ebaselge olukorra suurem täpsustus, nagu me juba nägime, keskmiselt võttes üldiselt suurendab informatsiooni ja mitte kunagi ei kaota seda.

Huvitav juhtum esineb siis, kui meil on  $n$ -kordne tõenäosustiheduse jaotus  $f(x_1, \dots, x_n)$  muutujatel  $(x_1, \dots, x_n)$  ja mil meil on  $m$  sõltuvat muutujat  $y_1, \dots, y_m$ . Kui palju informatsiooni me saame nende  $m$  muutuja kindlaksmääramisega? Olgu nad esiteks määratud kindlaks piires  $y_1^*, y_1^* + dy_1^*; \dots; y_m^*, y_m^* + dy_m^*$ . Olgu võetud uueks muutujate hulgakaks  $y_1, \dots, y_m, x_{m+1}, \dots, x_n$ .

Siis on meie jaotusfunktsioon uuel muutujate hulgal võrdeline funktsiooniga  $f(x_1, \dots, x_n)$  piirkonnal  $R$ , mis väljendub  $y_1^* \leq y_1 \leq y_1^* + dy_1^*, \dots, y_m^* \leq y_m \leq y_m^* + dy_m^*$  kaudu ja null väljaspool. Seega avaldub informatsioonikogus, mis on tuletatud  $y$ -de täpsustamise teel, järgmiselt:

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{\int dx_1 \dots \int dx_n}_{R} f(x_1, \dots, x_n) \log_2 f(x_1, \dots, x_n) \times \\
 & \quad \times \underbrace{\int dx_1 \dots \int dx_n}_{R} f(x_1, \dots, x_n) - \\
 & - \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_n f(x_1, \dots, x_n) \log_2 f(x_1, \dots, x_n) = \\
 & = \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_{n-m} \left| J \begin{pmatrix} y_1^*, \dots, y_m^* \\ x_{n-m+1}, \dots, x_m \end{pmatrix} \right| \times \\
 & \quad \times f(x_1, \dots, x_n) \log_2 f(x_1, \dots, x_n) \times \\
 & \times \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_{n-m} \left| J \begin{pmatrix} y_1^*, \dots, y_m^* \\ x_{n-m+1}, \dots, x_m \end{pmatrix} \right| f(x_1, \dots, x_n) - \\
 & - \int_{-\infty}^{\infty} dx_1 \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_n f(x_1, \dots, x_n) \log_2 f(x_1, \dots, x_n). \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

Mainitud ülesandega on tihedas seoses selle üldistamine, mida me käsitlesime avaldises (3.09): kui palju on

meil praegu käsitletud juhul informatsiooni ainuüksi muutujate  $x_1, \dots, x_{n-m}$  suhtes? Siin on nende muutujate *a priori* tõenäosustiheduseks

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx_{n-m+1} \dots \int_{-\infty}^{\infty} dx_n f(x_1, \dots, x_n); \quad (3.14)$$

ja tõenäosuse normaliseerimata tihedus pärast  $y^*$ -de kindlaksmääramist on

$$\sum \left| J \begin{pmatrix} y_1^*, \dots, y_m^* \\ x_{n-m+1}, \dots, x_n \end{pmatrix} \right| f(x_1, \dots, x_n), \quad (3.141)$$

kus  $\Sigma$  on võetud punktide  $(x_{n-m+1}, \dots, x_n)$  kõigil hulka del, vastavalt  $y^*$ -de antud hulga le. Selle alusel võime hõlpsasti kirjutada oma ülesande lahendi, ehkki see võib tulla veidi pikk. Kui me käsitleme hulka  $(x_1, \dots, x_{n-m})$  üldistatud teatena, hulka  $(x_{n-m+1}, \dots, x_n)$  üldistatud mürana ja  $y^*$ -de üldistatud vigase teatena, siis ilmneb, et oleme saanud üldistatud lahenduse ülesandele, mida väljendab (3.091).

Nii on meil vähemalt vormilinegi lahendus teate ja müra vahelise probleemi üldistamiseks, mida me juba oleme maininud. Vaatluste hulk sõltub mingist tuntud vahekorras jaotuvate teadete ja mürade hulga st mingil meelevaldsel viisil. Me tahame kindlaks teha, kui palju informatsiooni annavad need vaatlused üksnes teadete suhtes. See on üheks sidetehnika keskmeks probleemiks. Ta võimaldab meil hinnata mitmesuguseid süsteeme; nagu amplituudi-modulatsiooni\*, sagedusmodulatsiooni\* või faasimodulatsiooni\*, niipalju kui see puutub tõhususse seoses informatsiooni üleandmisega. See on tehnika probleemiks ja pole sobiv teda siinkohal üksikasjaliselt käsitleda; ent siiski teatavad märkused oleksid siin omal kohal. Esiteks, lähtudes käesolevas informatsiooni kohta antud määratlusest, on võimalik näidata, et niihästi sageduse kui ka võimsuse poolest ühtlaselt jagunenud juhuslike «staatiliste» atmosfäärihäirete\* puhul kui ka teate puhul, mis on koondatud kindlasse sagedusribasse, omades selle ulatusel kindla võimsusega väljet, pole ükski informatsiooni üleandmise viis tõhusam kui amplituudi-modulatsioon, ehkki ka teised viisid võivad olla sama tõhusad. Teiselt poolt pole sel viisil üleantud informatsioon mitte tingimata sellises kujus, mis oleks kõige sobivam tajumiseks kõrva või mingi muu antud tajuri

abil. Seejuures tuleb kõrva ja teiste tajurite iseloomulikke tunnuseid võtta arvesse sel teel, et rakendataks teooriat, mis on väga sarnane just arendatuga. Üldiselt tuleb amplituudimodulatsiooni või mõnda muud liiki modulatsiooni nende eduka rakendamise otstarbel täiustada, võttes kasutusele lahtikoodivad seadmed, mis on kohaldatud selleks, et teisendada vastuvõetud informatsioon niisugusele kujule, mida oleksid suutelised tajuma inimese retseptorid\* või ära kasutama mehaanilised tajurid. Samuti tuleb ka esialgset teadet koodida, et teda üleandmiseks ülimal määral kokku suruda. Seda probleemi on rünnatud, vähemalt osaliseltki, Belli Telefonilaboratoriumis «vocoder»-süsteemi kavandamise teel, tema juurde kuuluva põhiteooria on aga väga rahuldaval kujul esitanud doktor C. Shannon sealtsamast laboratoriumist.

Nii palju siis informatsiooni määratluse ja mõõtmisviisi kohta. Nüüd käsitleme seda, mil teel saab informatsiooni esitada ajaliselt ühtlikul kujul. Olgu märgitud, et enamik telefonidest ja muudest sidevahenditest ei ole tegelikult seoses mingi aja nullpunktiga. Esineb küll tõepoolest üks toiming, mis näib olevat selle väitega vastuolus, mis aga seda tegelikult siiski pole. Selleks on moduleerimistoiming. See oma lihtsamal kujul muundab teate  $f(t)$  kujule  $f(t)\sin(at+b)$ . Kui me siiski käsitame tegurit  $\sin(at+b)$  seadmesse suunatud lisateatena, siis ilmneb, et mainitud olukord mahub meie üldise väite alla. Lisateade, mida me nimetame *kandjaks*, ei anna midagi juurde kiirusele, millega see süsteem informatsiooni üle annab. Kogu informatsioon, mida ta sisaldab, toimetatakse edasi kui tahes lühikese ajavahemiku jooksul ja seejärel enam midagi uut ei teatata.

Ajaliselt ühtlik teade ehk, nagu statistikud teda nimetavad, *aegrida*, mis on statistilises tasakaalus, on seega aja üksikuks funktsiooniks või funktsioonide hulgaks, mis moodustavad ühe selliste hulkade mingist valdkonnast täpselt määratletud tõenäosuste jaotusega, mis ei muutu, kui kõigjal võtta  $t$  asemel  $t+\tau$ . See tähendab, et teisendusrühm, mis koosneb operaatoreist  $T^\lambda$ , mis muudavad  $f(t)$   $f(t+\lambda)$ -ks, jätab valdkonna tõenäosuse invariantseks. See rühm rahuldab tingimusi, et

$$T^\lambda [T^\mu f(t)] = T^{\mu+\lambda} f(t), \quad (-\infty < \lambda < \infty, \quad -\infty < \mu < \infty). \quad (3.15)$$

Sellest järeldub, et juhul kui  $\Phi[f(t)]$  on  $f(t)$  «funktsionaal» — see tähendab arvuks, mis sõltub  $f(t)$  kogu ajaloost — ja kui  $f(t)$  keskvärtus kogu valdkonna ulatusel on lõplik, siis on meil võimalik kasutada Birkhoffi ergoodilist teoreemi, mis on esitatud eelmises peatükis, ja jõuda järeldusele, et välja arvatud  $f(t)$  väärtuste hulk, mille tõenäosus on null, esineb  $\Phi[f(t)]$  ajakeskmise ehk tähiste kaudu väljendatuna:

$$\lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_0^A \Phi[f(t+\tau)] d\tau = \lim_{A \rightarrow \infty} \frac{1}{A} \int_{-A}^0 \Phi[f(t+\tau)] d\tau. \quad (3.16)$$

Esineb seniöeldust isegi midagi rohkemat. Me oleme eelmises peatükis tõendanud, et on olemas veel teine ergoodilise iseloomuga teoreem, mille autoriks on von Neumann ja mis väidab, et välja arvatud tõenäosusega null esinevate elementide hulk, iga element süsteemis, mille teisendab iseeneseks mõõtusäilitavate teisenduste rühm, mida näiteks väljendab (3.15), kuulub alamhulka (mis võibki olla kogu hulgaks), mille teisendab iseeneseks seesama teisendus ja millel on iseene kaudu määratletud mõõt ning mis jääb teisendamisel invariantseks, ja millel on pealegi veel omadus, et selle alamhulga iga osa, mille mõõt säilib teisenduste rühmas, kas omab alamhulga suurimat mõõtu või mõõtu 0. Kui me jätaksime ära kõik teised elemendid peale sellise alamhulga omade ja kasutaksime nende sobivat mõõtu, siis leiaksime, et avaldisena (3.16) väljenduv ajakeskmise on peaaegu kõigil juhtudel funktsionaali  $\Phi[f(t)]$  keskmiseks kogu funktsioonide  $f(t)$  ruumi ulatusel, ehk niinimetatud *faasikeskmiseks*. Seega on meil võimalik juhul, mil esineb funktsioonide  $f(t)$  niisugune valdkond, välja arvatud tõenäosusega null juhtude hulk, tuletada valdkonna iga statistilise parameetri keskmine — tõepoolest, me saame üheaegselt tuletada igasuguse loenduva hulga valdkonna selliseid parameetreid — aegrea ükskõik missuguse liikme üleskirjutusest, kasutades faasikeskmise asemel ajakeskmist. Pealegi tarvitseb meil vaid teada klassi peaaegu ükskõik millise aegrea minevikku. Teiste sõnadega, kui on antud kogu ajalugu kuni olevikuni mingi aegrea kohta, millest on teada, et ta kuulub statistilises tasakaalus olevasse valdkonda, siis me võime arvutada, säilitades tõenäolise vea võrdsena nulliga, kogu statistiliste parameetrite hulga mingi statistilises tasakaalus oleva valdkonna

kohta, mille juurde see aegrida kuulub. Siiani me oleme seda nentinud lihtsate aegridade suhtes; see on aga sama-võrra õige siiski ka kordsete aegridade kohta, milles meil on tegemist mitmete suurustega, mis muutuvad samaaegselt, mitte aga üksiku muutuva suurusega.

Meil on nüüd kujunenud võimalus käsitleda mitmesuguseid aegridadesse puutuvaid probleeme. Me koondame oma tähelepanu neile juhtudele, mil mingi aegrea kogu mineviku võib väljendada loenduva hulga suurustega. Näiteks üsnagi laialdase funktsioonide  $f(t)$  ( $-\infty < t < \infty$ ) klassi puhul on meil  $f$  täielikult määratud, kui me teame suuruste hulka

$$a_n = \int_{-\infty}^0 e^{tn} f(t) dt \quad (n=0, 1, 2, \dots). \quad (3.17)$$

Olgu nüüd  $A$  mingi funktsioon  $t$  väärtustest tulevikus: see tähendab, argumentidest, mis on suuremad kui 0. Siis me võime määrata suuruste  $(a_0, a_1, \dots, a_n, A)$  üheaegse jaotuse peaaegu iga lihtsa aegrea mineviku järgi, kui  $f$ -de hulk on võetud tema kõige kitsamas võimalikus mõttes. Eriti, kui  $a_0, \dots, a_n$  on kõik antud, võime määrata  $A$  jaotuse. Seejuures me kasutame ära Nikodemose tuntud teoreemi tinglike tõenäosuste kohta. Nimetatud teoreem väidab meile, et see jaotus väga üldistel tingimustel läheneb piirväärtusele, kui  $n \rightarrow \infty$ , ja see piirväärtus annab meile täieliku teadmise selle kohta, mis puutub mingi tuleviku suuruse jaotusesse. Samasugusel viisil võime määrata üheaegse jaotuse igasuguse tuleviku suuruste hulga väärtuste kohta või igasuguse suuruste hulga kohta, mis sõltub niihästi minevikust kui ka tulevikust eeldusel, et minevik on teada. Kui meil nüüd oleks antud teatav adekvaatne tõlgendus mingite nende statistiliste parameetrite või statistiliste parameetrite hulkade «parima väärtuse» kohta — võib-olla kesk-väärtuse või mediaani\* või moodi\* mõttes —, siis me võime ta teadaoleva jaotuse põhjal arvutada ja saavutada ennustuse, mis suudab rahuldada igasugust soovitud kriteeriumi\* ennustuse headuse kohta. Me võime arvutada ennustuse usaldatavuse, kasutades selle usaldatavuse kohta mingit soovitud statistilist alust — ruutkeskmist viga või maksimumalset viga või keskmist absoluutset viga jne. Me võime arvutada informatsioonikoguse igasuguse statistilise para-

meetri või statistiliste parameetrite hulga suhtes, mis on meile antud mineviku kindlaksmääramise teel. Me võime isegi arvutada täieliku informatsioonikoguse, mille meile annab mineviku teadmine, kogu tuleviku kohta teisel pool teatavat punkti; ehkki, kui selleks punktiks on olevik, me saame üldiselt teada hilisemat minevikust ja meie teadmine oleviku kohta sisaldab lõpmatut informatsioonikogust.

Teiseks huvitavaks olukorraks on kordse aegrea oma, milles me teame täpselt ainult mõnede komponentide minevikke. Kuidas jaotub mingi suurus, mis sisaldab rohkem kui need minevikud, seda võib õppida tundma abinõude varal, mis on väga sarnased nendega, millele on juba vihjatud. Eriti võiksime tahta teada mingi teise komponendi väärtuse või teiste komponentide väärtuste hulga jaotust mingil hetkel minevikus, olevikus või tulevikus. Sellesse klassi kuulub ka lainefiltri põhiprobleem. Meil on mingi teade, mis koos müraga on mingil viisil segunenud vigaseks teateks, mille minevikku me teame. Ka teame me teate ja müra ühist statistilist jaotust aegridadena. Meil on vaja teada teate väärtuste jaotust mingil antud hetkel minevikus, olevikus ja tulevikus. Samuti on meil vaja teada mingit operaatorit vigase teate mineviku jaoks, mis *parimalt* väljendaks õiget teadet mingis antud statistilises mõttes. Meil võib olla vaja teada mingit meil teate kohta olevas teadmises esineva vea mingisuguse mõõdu statistilist hinnangut. Lõpuks võib meil olla vaja teada informatsioonikogust, mis meil teate suhtes on olemas.

Esineb aegridade valdkond, mis on eriti lihtne ja keskne. Selleks osutub Browni \* liikumisega seoses olev valdkond. Browni liikumine kujutab endast mingi osakese liikumist gaasis, põhjustatuna juhuslikest kokkupõrgetest soojuslikus liikumises olevate teiste osakestega. Selle teooria on välja arendanud mitmed autorid, sealhulgas Einstein \*, Smoluchowski\*, Perrin\* ja käesoleva autor.<sup>1</sup> Kuni me vaid ei lasku ajaastmikus nii lühikeste ajavahemikeni, et oleksid eristatavad osakeste üksikud kokkupõrked üksteisega, ilmneb liikumises huvitaval kombel avalduv mitteeristatus. Ruutkeskmise liikumise antud sihis ja antud aja jooksul on võrdeline selle ajavahemiku pikkusega ja liikumised

<sup>1</sup> Paley, R. E. A. C.\* and Wiener, N. «Fourier Transforms in the Complex Plane». *American Math. Soc. Col. Pub.* (1933, viimane peatükk).

üksteisele järgnevale ajavahemike jooksul on täielikult seostatamatud. See on täielikus kooskõlas füüsikaliste tähelepanekutega. Kui me normaliseerime Browni liikumise astmiku kooskõlasse ajaastmikuga ja peame silmas liikumise ühteainsat koordinaati  $x$  ning kui me eeldame, et  $x(t)$  hetkel  $t=0$  võrdub nulliga, siis on tõenäosus selleks, et tingimusel  $0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$  asuvad osakesed  $x_1$  ja  $x_1 + dx_1$  vahel hetkel  $t_1$ ,  $x_2$  ja  $x_2 + dx_2$  hetkel  $t_2, \dots$ , ning  $x_n$  ja  $x_n + dx_n$  vahel hetkel  $t_n$ , võrdne:

$$\exp \left[ \frac{-x_1^2}{2t_1} - \frac{(x_2 - x_1)^2}{2(t_2 - t_1)} - \dots - \frac{(x_n - x_{n-1})^2}{2(t_n - t_{n-1})} \right] \frac{dx_1 \dots dx_n}{\sqrt{(2\pi)^n t_1 (t_2 - t_1) \dots (t_n - t_{n-1})}} \quad (3.18)$$

Tuginedes sellele vastavale tõenäosuse süsteemile, mis on ühemõtteline, võime moodustada mitmesugustele võimalikele Browni liikumistele vastavate radade hulga sõltuvalt 0 ja 1 vahel olevast parameetrist  $\alpha$  sel teel, et iga rada on funktsiooniks  $x(t, \alpha)$ , kus  $x$  sõltub ajast  $t$  ja jaotumise parameetrist  $\alpha$ , ning kus tõenäosus, et mingi rada asub teatavas hulgas  $S$ , on sama suur nagu hulgas  $S$  sisalduvatele radadele vastavate  $\alpha$  väärtuste hulga mөөt. Selle põhjal on peaaegu kõik rajad pidevad ja mitteeristatavad.

Väga huvitavaks on küsimus  $x(t_1, \alpha) \dots x(t_n, \alpha)$  keskvaertuse kindlakstegemisest  $\alpha$  suhtes. Selleks kujuneb:

$$\int_0^1 d\alpha x(t_1, \alpha) x(t_2, \alpha) \dots x(t_n, \alpha) = \\ = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} [t_1(t_2 - t_1) \dots (t_n - t_{n-1})]^{-\frac{1}{2}} x \times \\ \times \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 \dots \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_n \cdot \xi_1 \xi_2 \dots \xi_n \exp \left[ -\frac{\xi_1^2}{2x_1} - \frac{(\xi_2 - \xi_1)^2}{2(x_2 - x_1)} - \dots - \frac{(\xi_n - \xi_{n-1})^2}{2(x_n - x_{n-1})} \right] \quad (3.19)$$

eeldusel, et  $0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_n$ . Võtame

$$\xi_1 \dots \xi_n = \sum_k A_k \xi_1^{\lambda_{k,1}} (\xi_2 - \xi_1)^{\lambda_{k,2}} \dots (\xi_n - \xi_{n-1})^{\lambda_{k,n}}, \quad (3.20)$$

kus  $\lambda_{k,1} + \lambda_{k,2} + \dots + \lambda_{k,n} = n$ . Kui võtame  $\xi_0 = 0$ , siis avaldis (3.19) omandab kuju:

$$\begin{aligned}
& \sum_k A_k (2\pi)^{-n/2} [t_1^{\lambda_{k,1}} (t_2 - t_1)^{\lambda_{k,2}} \dots (t_n - t_{n-1})^{\lambda_{k,n}}]^{-\frac{1}{2}} \times \\
& \quad \times \prod_j \int_{-\infty}^{\infty} d\xi \xi^{\lambda_{k,j}} e^{-\frac{\xi^2}{2(t_j - t_{j-1})}} = \\
& = \sum_k A_k \prod_j \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \xi^{\lambda_{k,j}} e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi (t_j - t_{j-1})^{-\frac{\lambda_{k,j}}{2}} = \\
& = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ kui mõni } \lambda_j \text{ on paaritu;} \\ \sum_k A_k \prod_j (\lambda_{k,j-1}) (\lambda_{k,j-3}) \dots 5 \cdot 3 \cdot (t_j - t_{j-1})^{-\frac{\lambda_{k,j}}{2}}, \\ \text{kui kõik } \lambda_{k,j} \text{ on paarisarvud;} \end{array} \right\} = \\
& = \sum_k A_k \prod_j (\lambda_{k,j} \text{ liikme paarideks lahutamise viiside arv}) \times \\
& \quad \times (t_j - t_{j-1})^{-\frac{\lambda_{k,j}}{2}} = \sum_k A_k (n \text{ liikme selliselt paarideks} \\
& \text{lahutamise viiside arv, et iga paari kumbki element kuuluks} \\
& \text{samasse } \lambda_{k,j} \text{ liikme rühma, milleks } n \text{ elementi on} \\
& \text{lahutatud}) \times (t_j - t_{j-1})^{-\frac{\lambda_{k,j}}{2}} = \sum_j A_j \cdot \sum \prod \int_0^1 d\alpha [x(t_k, \alpha) - \\
& \quad - (t_{k-1}, \alpha)] \times [x(t_q, \alpha) - x(t_{q-1}, \alpha)]. \quad (3.21)
\end{aligned}$$

Siin esimene  $\Sigma$  liidab üle  $j$ ; teine aga üle kõigi viiside, mis kujunevad  $n$  liikme lahutamisel paarideks vastavalt  $\lambda_{k,1}, \dots, \lambda_{k,n}$  arvuga rühmades; ning  $\Pi$  on võetud üle  $k$  ja  $q$  selliste väärtusepaaride, mille puhul  $\lambda_{k,1}$  neist  $t_k$  ning  $t_q$  hulgast valitud elementidest on  $t_1$ ,  $\lambda_{k,2}$  on  $t_2$  ja nii edasi. Siit tuleneb otseselt, et:

$$\begin{aligned}
& \int_0^1 d\alpha x(t_1, \alpha) x(t_2, \alpha) \dots x(t_n, \alpha) = \\
& = \sum_j \prod \int_0^1 d\alpha x(t_j, \alpha) x(t_k, \alpha), \quad (3.22)
\end{aligned}$$

kus  $\Sigma$  on võetud  $t_1, \dots, t_n$  üle kõigi erisugusteks paarideks lahutuste ja  $\Pi$  üle kõigi paaride igas lahutuses. Teiste

sõnadega, kui meil on teada  $x(t_j, \alpha)$  paarikaupa võetud korrutiste keskmised, siis me teame ka kõigi neis suurustes sisalduvate hulkliikmete keskmisi ja seega kogu nende statistilist jaotust.

Seni me oleme käsitlenud Browni liikumisi  $x(t, \alpha)$ , milles  $t$  on positiivne. Kui me võtame:

$$\left. \begin{aligned} \xi(t, \alpha, \beta) &= x(t, \alpha) & (t \geq 0) \\ \xi(t, \alpha, \beta) &= x(-t, \beta) & (t < 0) \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

kus  $\alpha$  ja  $\beta$  on iseseisva ühtlase jaotusega  $(0, 1)$  ulatusel, siis saavutame  $\xi(t, \alpha, \beta)$  jaotuse, milles  $t$  muutub üle kogu lõpmatu reaaltelje. On olemas tuntud matemaatiline võte kujutada ruut sirglõigule nii, et tema pind teisendub pikuseks. Selleks tuleb meil vaid kirjutada oma ruudu punktide koordinaadid kümnendkujul:

$$\alpha = 0, \alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \dots; \quad \beta = 0, \beta_1 \beta_2 \dots \beta_n \dots \quad (3.24)$$

ja võtta

$$\gamma = 0, \alpha_1 \beta_1 \alpha_2 \beta_2 \dots \alpha_n \beta_n \dots;$$

ning me saavutame sellist liiki kujutuse, mis on üksühene peaaegu kõigile punktidele niihästi sirgjoone lõigul kui ka ruudul. Selle asenduse ärakasutamiseks me määratleme:

$$\xi(t, \gamma) = \xi(t, \alpha, \beta). \quad (3.25)$$

Nüüd tahame määratleda

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t) d\xi(t, \gamma). \quad (3.26)$$

Ilmselt võiks seda määratleda Stieltjes'i\* integraalina<sup>1</sup>, kuid  $\xi$  on väga korrapäratu funktsioon  $t$ -st ega ole piisav, et selline määratelu saaks olla võimalik. Siiski, kui  $K$  läheb küllalt kiiresti nullile  $t \rightarrow \pm \infty$  puhul ja kui tema on küllalt sale funktsioon, osutub otstarbekohaseks võtta

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t) d\xi(t, \gamma) = - \int_{-\infty}^{\infty} K'(t) \xi(t, \gamma) dt. \quad (3.27)$$

<sup>1</sup> Stieltjes, Annales de la Fac. des Sc. de Toulouse, 1894; Lebesgue, H., Leçons sur l'Intégration, Paris, 1928.

Sellistel tingimustel saame vormiliselt:

$$\begin{aligned}
 & \int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K_1(t) d\xi(t, \gamma) \int_{-\infty}^{\infty} K_2(t) d\xi(t, \gamma) = \\
 & = \int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K_1'(t) \xi(t, \gamma) dt \int_{-\infty}^{\infty} K_2'(t) \xi(t, \gamma) dt = \\
 & = \int_{-\infty}^{\infty} K_1'(s) ds \int_{-\infty}^{\infty} K_2'(t) dt \int_0^1 \xi(s, \gamma) \xi(t, \gamma) d\gamma. \quad (3.28)
 \end{aligned}$$

Kui nüüd  $s$  ja  $t$  on vastandmargilised, siis

$$\int_0^1 \xi(s, \gamma) \xi(t, \gamma) d\gamma = 0; \quad (3.29)$$

kui aga nad on samamargilised ja  $|s| < |t|$ , siis

$$\begin{aligned}
 & \int_0^1 \xi(s, \gamma) \xi(t, \gamma) d\gamma = \int_0^1 x(|s|, \alpha) x(|t|, \alpha) d\alpha = \\
 & = \frac{1}{2\pi\sqrt{|s|(|t|-|s|)}} \int_{-\infty}^{\infty} du \int_{-\infty}^{\infty} dv uv \exp\left[-\frac{u^2}{2|s|} - \frac{(v-u)^2}{2(|t|-|s|)}\right] = \\
 & = \frac{1}{\sqrt{2\pi|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} u^2 e^{-\frac{u^2}{2|s|}} du = |s| \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} u^2 e^{-\frac{u^2}{2}} du = |s|. \quad (3.30)
 \end{aligned}$$

Seega

$$\begin{aligned}
 & \int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K_1(t) d\xi(t, \gamma) \int_{-\infty}^{\infty} tK_1'(t) dt = \\
 & = - \int_0^{\infty} K_1'(s) ds \int_0^s tK_2'(t) dt - \int_0^{\infty} K_2'(s) ds \int_0^s tK_1'(t) dt + \\
 & + \int_{-\infty}^0 K_1'(s) ds \int_s^0 tK_2'(t) dt + \int_{-\infty}^0 tK_2'(s) ds \int_s^0 tK_1'(t) dt =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= - \int_0^{\infty} K_1'(s) ds \left[ sK_2(s) - \int_0^s K_2(t) dt \right] - \\
&\quad - \int_0^{\infty} K_2'(s) ds \left[ sK_1(s) - \int_0^s K_1(t) dt \right] + \\
&\quad + \int_{-\infty}^0 K_1'(s) ds \left[ -sK_2(s) - \int_s^0 K_2(t) dt \right] + \\
&\quad + \int_{-\infty}^0 K_2'(s) ds \left[ -sK_1(s) - \int_s^0 K_1(t) dt \right] = \\
&= - \int_{-\infty}^{\infty} s d[K_1(s)K_2(s)] = \int_{-\infty}^{\infty} K_1(s)K_2(s) ds. \quad (3.31)
\end{aligned}$$

Eriti,

$$\begin{aligned}
&\int_0^1 d\gamma \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau_1) d\xi(t, \gamma) \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau_2) d\xi(t, \gamma) = \\
&\quad = \int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+\tau_2-\tau_1) ds. \quad (3.32)
\end{aligned}$$

Pealegi,

$$\begin{aligned}
&\int_0^1 d\gamma \prod_{k=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau_k) d\xi(t, \gamma) = \\
&= \sum \prod_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+\tau_j-\tau_k) ds, \quad (3.33)
\end{aligned}$$

kus summa on üle  $\tau_1 \dots \tau_n$  kõigi paaridekslahutuste ja kor-  
rutus üle paaride igas lahutuses.

Avaldis

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau) d\xi(\tau, \gamma) = f(t, \gamma) \quad (3.34)$$

esitab väga tähtsat aegridade valdkonda muutujaga  $t$ , mis sõltub jaotuse parameetrist  $\gamma$ . Meie poolt äsja selgitatu osutub väiteks, et kõik hetked ja järelikult kõik selle jaotuse statistilised parameetrid sõltuvad funktsioonist:

$$\begin{aligned}\Phi(\tau) &= \int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+\tau) ds = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} K(s+t)K(s+t+\tau) ds, \quad (3.35)\end{aligned}$$

mis osutub statistikute autokorrelatsiooni \* funktsiooniks.

Seega on  $f(t, \gamma)$  jaotuse statistika samasugune nagu  $f(t+\tau, \gamma)$  statistika; ja õigupoolest võib näidata, et kui

$$f(t+\tau, \gamma) = f(t, \Gamma), \quad (3.36)$$

siis  $\gamma$  teisendus  $\Gamma$ -ks säilitab moodsu. Teiste sõnadega, meie aegrida  $f(t, \gamma)$  on statistilises tasakaalus. Pealegi, kui me vaatleme avaldise

$$\left[ \int_{-\infty}^{\infty} K(t-\tau) d\xi(t, \gamma) \right]^m \left[ \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\sigma-\tau) d\xi(t, \gamma) \right]^n \quad (3.37)$$

keskmist, siis selgub, et see koosneb täpselt liikmetest avaldises

$$\begin{aligned}& \int_0^1 d\gamma \left[ \int_{-\infty}^{\infty} K(t-\tau) d\xi(t, \gamma) \right]^m \times \\ & \times \int_0^1 d\gamma \left[ \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\sigma-\tau) d\xi(t, \gamma) \right]^n \quad (3.38)\end{aligned}$$

koos lõpliku arvu liikmetega, mis sisaldavad tegurina avaldise

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(\sigma+\tau) K(\tau) d\tau \quad (3.39)$$

astmeid; ja viimase lähenedes nullile, kui  $\sigma \rightarrow \infty$ , osutub (3.38) neil tingimustel avaldise (3.37) piirväärtuseks. Teiste sõnadega,  $f(t, \gamma)$  ja  $f(t+\sigma, \gamma)$  on oma jaotuses asümptootiliselt sõltumatud, kui  $\sigma \rightarrow \infty$ . Üldisemalt sõnas-  
tatud, kuid täiesti samasuguse põhjenduse najal on võimalik näidata, et  $f(t_1, \gamma), \dots, f(t_n, \gamma)$  ja  $f(\sigma+s_1, \gamma), \dots, f(\sigma+s_m, \gamma)$  üheaegne jaotus läheneb esimese ja teise hulga ühisele jaotusele, kui  $\sigma \rightarrow \infty$ . Hoopis teiste sõnadega, iga

tõkestatud mõõtvu funktsionaal või suurus, mis sõltub  $t$  funktsiooni  $f(t, \gamma)$  väärtuste kogu jaotusest, mille me võime kirjutada kujul  $\mathcal{F}[f(t, \gamma)]$ , peab olema omadusega, et

$$\lim_{\sigma \rightarrow \infty} \int_0^1 \mathcal{F}[f(t, \gamma)] \mathcal{F}[f(t+\sigma, \gamma)] d\gamma = \left\{ \int_0^1 \mathcal{F}[f(t, \gamma)] d\gamma \right\}^2. \quad (3.40)$$

Kui nüüd  $\mathcal{F}[f(t, \gamma)]$  on invariantne  $t$  lükete suhtes ja omandab ainult väärtuse 0 või 1, siis saame:

$$\int_0^1 \mathcal{F}[f(t, \gamma)] d\gamma = \left\{ \int_0^1 \mathcal{F}[f(t, \gamma)] d\gamma \right\}^2, \quad (3.41)$$

nii et teisendusrühm  $f(t, \gamma)$  teisendamisel  $f(t+\sigma, \gamma)$ -ks on *meetriselt transitiivne*\*. Järeldub, et juhul kui  $\mathcal{F}[f(t, \gamma)]$  on mingi  $t$  funktsiooni  $f$  integreeruv funktsionaal, siis ergoodilise teoreemi põhjal:

$$\begin{aligned} \int_0^1 \mathcal{F}[f(t, \gamma)] d\gamma &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{F}[f(t, \gamma_1)] dt = \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^0 \mathcal{F}[f(t, \gamma_1)] dt \end{aligned} \quad (3.42)$$

$\gamma$  kõigi väärtuste puhul, välja arvatud hulk mõõduga null. See tähendab, et me võime peaaegu alati lugeda välja sellise aegrea mingi statistilise parameetri ja isegi statistiliste parameetrite igasuguse loendamatu hulga üheainsa näite eelnenud ajaloost. Tõepoolest, kui me sellise aegrea kohta teame, et

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^0 f(t, \gamma_1) f(t-\tau, \gamma_1) dt, \quad (3.43)$$

siis on meil teada  $\Phi(t)$  peaaegu igal juhul ja meil on aegrida statistiliselt täiesti teada.

Esineb mõningaid seda liiki aegridadest sõltuvaid suurusi, millel on väga huvitavad omadused. Eriti on huvitav teada suuruse

$$\exp \left[ i \int_{-\infty}^{\infty} K(t) d\xi(t, \gamma) \right] \quad (3.44)$$

keskväärtust, vormiliselt võib kirjutada:

$$\begin{aligned} & \int_0^1 d\gamma \sum_{n=0}^{\infty} \frac{i^n}{n!} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} K(t) d\xi(t, \gamma) \right]^n = \\ & = \sum_m^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m)!} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} [K(t)]^2 dt \right\}^m (2m-1)(2m-3)\dots 5 \cdot 3 \cdot 1 = \\ & = \sum_m^{\infty} \frac{(-1)^m}{2^m m!} \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} [K(t)]^2 dt \right\}^m = \\ & = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t)]^2 dt \right\}. \quad (3.45) \end{aligned}$$

On väga huvitavaks ülesandeks püüda kujundada lihtsast Browni liikumise reast nii üldine aegrida kui võimalik. Nagu Fourier' \* arenduste näide tõendab, osutuvad selleks otstarbeks kõige sobivamateks ehituskivideks taolised arendused nagu (3.44). Eriti õppigem tundma järgnevas erikujus aegrida

$$\int_a^b d\lambda \exp \left[ i \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau, \lambda) d\xi(\tau, \gamma) \right]. \quad (3.46)$$

Eeldame, et me teame  $\xi(\tau, \gamma)$ , samuti ka avardust (3.46). Siis, nagu avaldises (3.45), kui  $t_1 > t_2$ :

$$\int_0^1 d\gamma e^{i s [\xi(t_1, \gamma) - \xi(t_2, \gamma)]} \int_a^b d\lambda \exp \left[ i \int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau, \lambda) d\xi(t, \gamma) \right] =$$

$$= \int_a^b d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t+\tau, \lambda)]^2 dt - \frac{s^2}{2} (t_2 - t_1) - s \int_{t_2}^{t_1} K(t, \lambda) dt \right\}. \quad (3.47)$$

Kui me nüüd korrutame suurusega  $e^{\frac{s^2(t_2-t_1)}{2}}$  ja võtame  $s(t_2-t_1) = i\sigma$  ning  $t_2 = t_1$ , siis saame:

$$\int_a^b d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t+\tau, \lambda)]^2 dt - i\sigma K(t_1, \lambda) \right\}. \quad (3.48)$$

Võtame  $K(t_1, \lambda)$ , uue sõltumatu muutuja  $\mu$  ja lahendame  $\lambda$  suhtes, saades

$$\lambda = Q(t_1, \mu). \quad (3.49)$$

Siis omandab (3.48) järgneva kuju:

$$\int_{K(t_1, a)}^{K(t_1, b)} e^{i\mu\sigma} d\mu \frac{\partial Q(t_1, \mu)}{\partial \mu} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t-\tau, Q(t_1, \mu))]^2 dt \right\}. \quad (3.50)$$

Siit võime Fourier' teisendusega määrata

$$\frac{\partial Q(t_1, \mu)}{\partial \mu} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t-\tau, Q(t_1, \mu))]^2 dt \right\} \quad (3.51)$$

funktsioonina  $\mu$ -st, kui  $\mu$  asub  $K(t_1, a)$  ja  $K(t_1, b)$  vahel. Integreerinud selle funktsiooni  $\mu$  järgi, määrame

$$\int_a^\lambda d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t-\tau, \lambda)]^2 dt \right\} \quad (3.52)$$

funktsioonina  $K(t_1, \lambda)$ -st ja  $t_1$ -st. Tähendab, on olemas tuntud funktsioon  $F(u, v)$ , selline et

$$\int_a^\lambda d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t-\tau, \lambda)]^2 dt \right\} = F[K(t_1, \lambda), t_1]. \quad (3.53)$$

Kuna selle võrrandi vasak pool ei sõltu  $t_1$ -st, võime ta tähistada  $G(\lambda)$ , ja võtta

$$F[K(t_1, \lambda), t_1] = G(\lambda). \quad (3.54)$$

Siin  $F$  on tuntud funktsioon ja me võime leida inversiooni tema esimese argumendi suhtes, ning võtta

$$K(t_1, \lambda) = H[G(\lambda), t_1], \quad (3.55)$$

kus sisaldub samuti tuntud funktsioon. Siis

$$G(\lambda) = \int_a^\infty d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty [H(G(\lambda), t)]^2 dt \right\}. \quad (3.56)$$

Nüüd kujuneb funktsioon

$$\exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^\infty [H(u, t)]^2 dt \right\} = R(u) \quad (3.57)$$

tuntud funktsiooniks, ja

$$\frac{dG}{d\lambda} = R(G). \quad (3.58)$$

Seega

$$\frac{dG}{R(G)} = d\lambda, \quad (3.59)$$

või

$$\lambda = \int \frac{dG}{R(G)} + \text{const} = S(G) + \text{const}. \quad (3.60)$$

Selle konstandi annab seos

$$G(a) = 0 \quad (3.61)$$

ehk

$$a = S(0) + \text{const}. \quad (3.62)$$

On hõlpus näha, et siis kui  $a$  on lõplik, pole tähtis, millise väärtuse me talle anname, sest meie operaator ei muutu, kui me kõigile  $\lambda$  väärtustele lisame juurde konstandi. Me võime ta järelikult võrdsustada nulliga. Seega oleme mäa-

ranud  $\lambda$  funktsioonina  $G$ -st ja seega ka  $G$  funktsioonina  $\lambda$ -st. Nii oleme me (3.55) põhjal määranud  $K(t, \lambda)$ . Et lõpetada avaldise (3.52) määramine, tarvitseb vaid teada  $b$ . Selle võib aga määrata, võrreldes avaldist

$$\int_a^x d\lambda \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [K(t, \lambda)]^2 dt \right\} \quad (3.63)$$

avaldisega

$$\int_0^1 d\lambda \int_a^b d\lambda \exp \left[ i \int_{-\infty}^{\infty} K(t, \lambda) d\xi(t, \gamma) \right]. \quad (3.64)$$

Niisiis kui teatavatel tingimustel, mis tuleb alles täpselt sõnastada, võib aegrea kirjutada kujul (3.52) ja me teame ka  $\xi(t, \gamma)$ , siis võime määrata  $K(t, \lambda)$  avaldises (3.52) ning arvud  $a$  ja  $b$ , välja arvatud suurustele  $a, \lambda$  ja  $b$  liidetud mingi määramata konstant. Pole erilisi raskusi, kui  $b = +\infty$ , ja muidugi pole raske laiendada seda arutlust ka juhule, mil  $a = -\infty$ . Hea tükk tööd jääb teha, et käsitleda inversiooni probleemi funktsioonidel, mis moodustavad inversiooni, kui tulemused pole ühese väärtusega, ja käsitleda sellesse puutuvate arenduste kehtivuse üldtingimusi. Siiski oleme vähemalt teinud esimese sammu selles suunas, et lahendada probleemi suure aegridade klassi taandamisest mingile vääramatule eeskujule, ja see on kõige tähtsam ennustuse ning informatsiooni mõõtmise teooriate konkreetse vormilise rakenduse jaoks, nagu me seda oleme üldjoontes kavandanud selles peatükis juba varemalt.

Ent on olemas ilmne kitsendus, mille me peaksime kõrvaldama sellisest lähenemisest aegridade teooriale: vajadus, mis meil seisneb selles, et tuleb tunda  $\xi(t, \gamma)$  samuti nagu aegridu, mis me arendame kujul (3.46). Küsimuseks on: millistel tingimustel me võime esitada tuntud statistiliste parameetritega aegrea määratuna Browni liikumise kaudu või vähemalt Browni liikumiste kaudu määratud aegridade piirväärtusena ühes või teises tähenduses? Me piirdume aegridadega, millel on meetrilise transitiivsuse omadus ja isegi veel rangem omadus, et kui võtta kindla pikkusega, kuid ajaliselt üksteisest kauged vahemikud, läheneb aegrea lõikude mis tahes funktsionaalide jaotus

nende vahemike ulatusel sõltumatusele vastavalt sellele, kuidas need vahemikud üksteisest taanduvad<sup>1</sup>. Teooria, mida siin arendatakse, on autori poolt juba üldjoontes kavandatud.

Kui  $K(t)$  on küllalt pidev funktsioon, siis on võimalik näidata, et

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(t+\tau) d\xi(t, \gamma) \quad (3.65)$$

nullidel on M. Kaci\* teoreemi järgi peaaegu alati kindel tihedus ja et selle tiheduse võib  $K$  sobiva valiku teel teha nii suureks, nagu me soovime. Olgu  $K_D$  valitud sellisena, et selleks tiheduseks on  $D$ . Olgu nüüd

$$\int_{-\infty}^{\infty} K_D(t-\tau) d\xi(\tau, \gamma)$$

nullkohtade jada  $-\infty$  kuni  $\infty$  vahel tähistatud  $Z_n(D, \gamma)$ ,  $-\infty < n < \infty$ . Muidugi on nende nullkohtade numeratsioonis  $n$  määratud ainult mingi aditiivse\* konstantse täisarvuni.

Olgu nüüd  $T(t, \mu)$  mingi aegrida pideva muutujaga  $t$ , kuna  $\mu$  on mingisugune jaotuse parameeter aegreal, mis muutub ühtlaselt  $(0, 1)$  vahel. Edasi olgu

$$T_D(t, \mu, \gamma) = T[t - Z_n(D, \gamma)], \quad (3.66)$$

kus  $Z_n$  on võetud mingi just  $t$ -le eelneva hetke kohta. Selgub, et  $x$ -i väärtuste  $t_1, t_2, \dots, t_v$  mingi lõpliku hulga kohta läheneb  $T_D(t_k, \mu, \gamma)$  ( $k=1, 2, \dots, v$ ) üheaegne jaotus  $T(t_k, \gamma)$  üheaegsele jaotusele nendesamade  $t_k$ -de puhul, kui  $D \rightarrow \infty$ , peaaegu igal  $\mu$  väärtusel. Siiski täielikult on  $T_D(t, \mu, \gamma)$  määratud suuruste  $t, \mu, D$  ja  $\xi(\tau, \gamma)$  kaudu. Seetõttu pole sugugi ebakohane püüda väljendada  $T_D(t, \mu, \gamma)$ , antud  $D$  ja antud  $\mu$  kohta, kas otsesel kujul (3.52) või mingil ühel või teisel viisil aegreana, mille jaotus oleks (eelmainitud laias mõttes) piirväärtuseks sellekujulistele jaotustele.

<sup>1</sup> See on Koopmani segunemisomadus, mis osutub hädavajalikuks ja piisavaks ergoodiliseks eelduseks, et statistilist mehaanikat õigustada.

Tuleb mõnnda, et see kujutab programmi, mille täideviimine jääb tulevikule, kui mitte arvestada seda osa, mida me võime käsitada juba teostatuna. Sellele vaatamata on ta programmiks, mis autori arvates pakub parimaid väljavaateid selleks, et käsitleda järjekindlalt ja otstarbekalt paljusid probleeme, mis on seoses mittelineaarse ennustusega, mittelineaarse filtreerimisega, informatsiooni mittelineaarses olukorras üleandmise hindamisega ja tiheda gaasi ning turbulentsi teooriaga. Nende probleemide hulgas on võib-olla kõige pakilisemaisks need, mis seisavad sidetehnika ees.

Pöördugem nüüd ennustuse probleemi juurde aegridade osas, mis esinevad kujul (3.34). Me näeme, et aegrea ainukeseks sõltumatuks statistiliseks parameetriks on  $\Phi(t)$ , väljendatuna avaldisega (3.35), mis tähendab, et ainsaks ilmekaks  $K(t)$ -ga seoses olevaks suuruseks on

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+t) ds. \quad (3.67)$$

Siin muidugi on  $K$  reaalne.

Võtame

$$K(s) = \int_{-\infty}^{\infty} k(\omega) e^{i\omega s} d\omega, \quad (3.68)$$

rakendades Fourier' teisendust. Teada  $K(s)$ -si tähendab teada  $k(\omega)$ -at ja vastupidi. Niisiis

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(s)K(s+\tau) ds = \int_{-\infty}^{\infty} k(\omega)k(-\omega) e^{i\omega\tau} d\omega. \quad (3.69)$$

Seega on  $\Phi(\tau)$  tundmine samaväärne  $k(\omega)k(-\omega)$  tundmisega. Kuna aga  $K(s)$  on reaalne, siis

$$K(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{k(\omega)} e^{-i\omega s} d\omega. \quad (3.70)$$

millest  $k(\omega) = \overline{k(-\omega)}$ . Nii on  $|k(\omega)|^2$  tuntud funktsiooniks, mis tähendab, et ka  $\log|k(\omega)|$  reaalosa on tuntud funktsiooniks.

Kui me kirjutame

$$F(\omega) = \operatorname{Re} \log [k(\omega)], \quad (3.71)^1$$

siis on  $K(s)$  määramine samaväärne  $\log [k(\omega)]$  imaginaarosa määramisega. See ülesanne ei ole määratud, kuni me pole püstitanud  $k(\omega)$  kohta veel mingit kitsendust. Kitsendus, mille me püstitame, on seda laadi, et  $\log [k(\omega)]$  peab olema algteguriteks lahutatav ja küllalt väikesel määral kasvav  $\omega$  suhtes ülemisel pooltasapinnal. Et seda kitsendust teha, tuleb eeldada  $k(\omega)$  ja  $[k(\omega)]^{-1}$  piki reaaltelge algebraliseks kasvavateks. Siis oleks  $[F(\omega)]^2$  paarisarvuline ja mitte rohkem kui logaritmiliselt lõpmatu, ning suurusel

$$G(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(u)}{u - \omega} du \quad (3.72)$$

on Cauchy' \* peaväärtus olemas. Teisendust, millele (3.72) viitab ja mida tuntakse Hilberti teisendusena, muudab  $\cos \lambda \omega$   $\sin \lambda \omega$ -ks ja  $\sin \lambda \omega$   $-\cos \lambda \omega$ -ks. Seega on  $F(\omega) + iG(\omega)$  funktsioon kujul

$$\int_0^{\infty} e^{i\lambda \omega} d[M(\lambda)] \quad (3.73)$$

ja rahuldab nõutud tingimusi  $\log |k(\omega)|$  suhtes alumisel pooltasapinnal. Kui me nüüd võtame

$$k(\omega) = \exp [F(\omega) + iG(\omega)], \quad (3.74)$$

siis on võimalik näidata, et  $k(\omega)$  osutub funktsiooniks, mis väga üldistel tingimustel osutub selliseks, et  $K(s)$ , nagu on määratletud avaldises (3.68), muutub kõigil negatiivsetel argumentidel võrdseks nulliga. Niisiis

$$f(t, \gamma) = \int_{-t}^{\infty} K(t+\tau) d\xi(\tau, \gamma). \quad (3.75)$$

Teiselt poolt on võimalik näidata, et me võime  $1/k(\omega)$  kirjutada kujul

<sup>1</sup> Siin  $\operatorname{Re}$  tähistab võrdsuse parema poole reaalosa. (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{\infty} e^{i\lambda\omega} dN_n(\lambda), \quad (3.76)$$

kus  $N_n$ -id on sobivalt määratud, ja et seda võib teha nii, et

$$\xi(\tau, \gamma) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_0^{\tau} ds \int_{-t}^{\infty} Q_n(t+\sigma) f(\sigma, \gamma) d\sigma. \quad (3.77)$$

Siin peab  $Q_n$ -del olema vormiline omadus, et

$$f(t, \gamma) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-t}^{\infty} K(t+\tau) d\tau \int_{-\tau}^{\infty} Q_n(\tau+\sigma) f(\sigma, \gamma) d\sigma. \quad (3.78)$$

Üldiselt saame:

$$\psi(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-t}^{\infty} K(t+\tau) d\tau \int_{-\tau}^{\infty} Q_n(\tau+\sigma) \psi(\sigma) d\sigma, \quad (3.79)$$

või, kui me kirjutame [nagu avaldises (3.68)]:

$$\left. \begin{aligned} K(s) &= \int_{-\infty}^{\infty} k(\omega) e^{i\omega s} d\omega \\ Q_n(s) &= \int_{-\infty}^{\infty} q_n(\omega) e^{i\omega s} d\omega \\ \mathcal{P}(s) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi(\omega) e^{i\omega s} d\omega \end{aligned} \right\}, \quad (3.80)$$

siis

$$\overline{\mathcal{P}(\omega)} = \lim_{n \rightarrow \infty} (2\pi)^{3/2} \mathcal{P}(\omega) q_n(-\omega) k(\omega). \quad (3.81)$$

Niisiis

$$\lim_{n \rightarrow \infty} q_n(-\omega) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} k(\omega)}. \quad (3.82)$$

Meile on see tulemus kasulik selle poolest, et ta võimaldab muuta ennustuse operaatori kujule, milles avaldub sagedus, mitte aga aeg.

Seega määravad  $\xi(t, \gamma)$  [või õigemini «diferentsiaali»  $d\xi(t, \gamma)$ ] minevik ja olevik  $f(t, \gamma)$  mineviku ja oleviku ning vastupidi.

Nüüd, kui  $A > 0$ ,

$$f(t+A, \gamma) = \int_{t-A}^{\infty} K(t+A+\tau) d\xi(\tau, \gamma) = \\ = \int_{-t-A}^{-t} K(t+A+\tau) d\xi(\tau, \gamma) + \int_{-t}^{\infty} K(t+A+\tau) d\xi(\tau, \gamma). \quad (3.83)$$

Siin sõltub viimase avaldise esimene liige  $d\xi(\tau, \gamma)$  piirkonnast, mille kohta  $f(\sigma, \gamma)$  tundmine  $\sigma \leq t$  puhul ei ütle meile midagi ja on täiesti sõltumatu teisest liikmest. Tema ruutkeskmine väärtus on

$$\int_{-t-A}^{-t} [K(t+A+\tau)]^2 d\tau = \int_0^A [K(\tau)]^2 d\tau, \quad (3.84)$$

ja see ütleb meile kõik, mis tema kohta on statistiliselt teada. On võimalik näidata, et tal peab olema Gaussi jaotus sellise ruutkeskmise väärtusega. Ta on  $f(t+A, \gamma)$  parima võimaliku ennustuse veaks.

Parimaks võimalikuks ennustuseks eneseks on avaldise (3.83) viimane liige

$$\int_{-t}^{\infty} K(t+A+\tau) d\xi(\tau, \gamma) = \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-t}^{\infty} K(t+A+\tau) d\tau \int_{-\tau}^{\infty} Q_n(\tau+\sigma) f(\sigma, \gamma) d\sigma. \quad (3.85)$$

Kui me nüüd võtame:

$$k_A(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K(t+A) e^{-i\omega t} dt \quad (3.86)$$

ja kui me rakendame  $e^{i\omega t}$  suhtes operaatorit avaldisest (3.85), saades:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-t}^{\infty} K(t - A + \tau) d\tau \int_{-\tau}^{\infty} Q_n(\tau + \sigma) e^{i\omega\sigma} d\sigma = A(\omega) e^{i\omega A}, \quad (3.87)$$

siis leiame [teataval määral nagu avaldises (3.81)], et

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \lim_{n \rightarrow \infty} (2\pi)^{3/2} q_n(-\omega) k_A(\omega) = k_A(\omega) / k(\omega) = \\ &= \frac{1}{2\pi k(\omega)} \int_{-A}^{\infty} e^{-i\omega(t-A)} dt \int_{-\infty}^{\infty} k(\omega) e^{iut} du. \end{aligned} \quad (3.88)$$

See on siis parima ennustusoperaatori sageduskuju.

Filtreerimise küsimus selliste aegridade puhul nagu (3.34) on väga tihedas seoses ennustuse probleemiga. Olgu meie teade koos müraga esitatud kujul

$$m(t) + n(t) = \int_0^{\infty} K(\tau) d\xi(t - \tau, \gamma) \quad (3.89)$$

ja olgu teade avaldatud kujul

$$m(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Q(\tau) d\xi(t - \tau, \gamma) + \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) d\xi(t - \tau, \delta), \quad (3.90)$$

kus  $\gamma$  ja  $\delta$  on jaotatud sõltumatult  $(0, 1)$  vahel. Siis ilm-  
selt on teate  $m(t+a)$  ennustatavaks osaks

$$\int_0^{\infty} Q(\tau+a) d\xi(t - \tau, \gamma), \quad (3.901)$$

ja ennustuse ruutkeskmiseks veaks

$$\int_{-\infty}^a [Q(\tau)]^2 d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} [R(\tau)]^2 d\tau. \quad (3.902)$$

Pealegi, eeldagem, et me teame järgmisi suurusi:

$$\begin{aligned} \Phi_{22}(t) &= \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta n(|t| + \tau) n(\tau) = \\ &= \int_0^{\infty} [K(|t| + \tau) - Q(|t| + \tau)] [K(\tau) - Q(\tau)] d\tau + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \int_{-|t|}^0 [-Q(|t|+\tau)][K(\tau) - Q(\tau)]' d\tau + \\
& + \int_{-\infty}^{-|t|} Q(|t|+\tau)Q(\tau) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} R(|t|+\tau)R(\tau) d\tau = \\
& = \int_0^{\infty} K(|t|+\tau)K(\tau) d\tau - \int_{-|t|}^{\infty} Q(|t|+\tau)K(\tau) d\tau + \\
& + \int_{-\infty}^{\infty} Q(|t|+\tau)Q(\tau) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} R(|t|+\tau)R(\tau) d\tau; \quad (3.903)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi_{11}(t) & = \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(|t|+\tau)m(\tau) d\tau = \\
& = \int_{-\infty}^{\infty} Q(|t|+\tau)Q(\tau) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} R(|t|+\tau)R(\tau) d\tau; \quad (3.904)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi_{12}(t) & = \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(t+\tau)n(\tau) d\tau = \\
& = \int_0^1 d\gamma \int_0^1 d\delta m(t+\tau)[m(\tau) + n(\tau)] - \Phi_{11}(t) d\tau = \\
& = \int_0^1 d\gamma \int_{-t}^{\infty} K(\sigma+t) d\xi(\tau-\sigma, \gamma) \int_{-t}^{\infty} Q(\sigma) d\xi(\tau-\sigma, \gamma) - \\
& - \Phi_{11}(t) = \int_{-t}^{\infty} K(t+\tau)Q(\tau) d\tau - \Phi_{11}(t). \quad (3.905)
\end{aligned}$$

Nende kolme suuruse Fourier' teisendused on vasta-  
valt:

$$\left. \begin{aligned}
\Phi_{22}(\omega) & = |k(\omega)|^2 + |q(\omega)|^2 - q(\omega)\overline{k(\omega)} - \\
& \quad - \overline{k(\omega)}q(\omega) + |r(\omega)|^2; \\
\Phi_{11}(\omega) & = |q(\omega)|^2 + |r(\omega)|^2; \\
\Phi_{12}(\omega) & = k(\omega)\overline{q(\omega)} - |q(\omega)|^2 - |r(\omega)|^2;
\end{aligned} \right\} (3.906)$$

kus

$$\left. \begin{aligned} k(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K(s) e^{-i\omega s} ds; \\ q(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Q(s) e^{i\omega s} ds; \\ r(\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(s) e^{i\omega s} ds. \end{aligned} \right\} \quad (3.907)$$

Seega on

$$\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{12}(\omega) + \overline{\Phi_{12}(\omega)} + \overline{\Phi_{22}(\omega)} = |k(\omega)|^2 \quad (3.908)$$

ja

$$q(\omega) \overline{k(\omega)} = \Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega), \quad (3.909)$$

kus me sümmeetria mõttes kirjutame:  $\Phi_{21}(\omega) = \Phi_{12}(\omega)$ . Me võime nüüd leida  $k(\omega)$  võrrandist (3.908), nagu me oleme määranud  $k(\omega)$  varemalt (3.74) põhjal. Siin me võtame  $\Phi_{11}(t) + \Phi_{22}(t) + 2\text{Re}[\Phi_{12}(t)]$  asemel  $\Phi(t)$ . See annab meile:

$$q(\omega) = \frac{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)}{k(\omega)}. \quad (3.910)$$

Järelikult

$$Q(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)}{k(\omega)} e^{i\omega t} d\omega; \quad (3.911)$$

ja seega on  $m(t)$  parimaks määramiseks, vähima ruutkeskmise veaga:

$$\int_0^{\infty} d\xi(t - \tau, \gamma) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)}{k(\omega)} e^{i\omega t} d\omega. \quad (3.912)$$

Kõrvutades seda võrrandiga (3.89) ja lähtudes samadest kaalutlustest, mille põhjal me saime võrrandi (3.88), näeme, et operaatoriks funktsioonile  $m(t) + n(t)$ , mille abil me saavutame  $m(t)$  «parima» esitise kirjutatuna sagedusastmikus, on

$$\frac{1}{2\pi k(\omega)} \int_a^\infty e^{-i\omega(t-a)} dt \int_{-\infty}^\infty \frac{\Phi_{11}(u) + \Phi_{21}(u)}{k(\omega)} e^{iut} du. \quad (3.913)$$

See operaator kujutab elektrikutele *lainefiltrina* tuntud seadise iseloomulikku operaatorit. Suurus  $a$  on filtris tekivaks faasis *hilinemiseks*. Ta võib olla kas positiivne või negatiivne; kui ta on negatiivne, siis nimetatakse  $-a$ -d faasis *ettetõttamiseks*. Seadmed, mis vastavad võrrandile (3.913), võidakse alati ehitada nii suure täpsusega, nagu meil on vaja. Nende ehituse üksikasjad on rohkem määratud elektrotehnika eriteadlastele kui selle raamatu lugejatele. Neid võib leida mujalt<sup>1</sup>.

Filtri läbimisel esineva vea ruutkeskmine (3.902) on esitatav summana, mille moodustavad ruutkeskmised veast filtri läbimisel lõpmatu hilinemisega:

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^\infty [R(\tau)]^2 d\tau = \Phi_{11}(0) - \int_{-\infty}^\infty [Q(\tau)]^2 d\tau = \\ & = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \Phi_{11}(\omega) d\omega - \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \left| \frac{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)}{k(\omega)} \right|^2 d\omega = \\ & = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \left[ \Phi_{11}(\omega) - \frac{|\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)|^2}{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{12}(\omega) + \Phi_{21}(\omega) + \Phi_{22}(\omega)} \right] d\omega = \\ & = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^\infty \frac{\left| \begin{array}{cc} \Phi_{11}(\omega) & \Phi_{12}(\omega) \\ \Phi_{21}(\omega) & \Phi_{22}(\omega) \end{array} \right|}{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{12}(\omega) + \Phi_{21}(\omega) + \Phi_{22}(\omega)} d\omega \quad (3.914) \end{aligned}$$

ja osa, mis sõltub faasis hilinemisest:

$$\int_{-\infty}^a [Q(\tau)]^2 dt = \int_{-\infty}^a dt \left| \int_{-\infty}^\infty \frac{\Phi_{11}(\omega) + \Phi_{21}(\omega)}{k(\omega)} e^{i\omega t} d\omega \right|^2. \quad (3.915)$$

Selgub, et filtri läbimisel tekkiva vea ruutkeskmine on monotoonselt kahanev funktsioon hilinemisest.

Teiseks küsimuseks, mis pakub huvi juhul, kui on tege- mist teadetega ja Browni liikumisest tulenevate mürade- ga, on informatsiooni üleandmiskiiruse küsimus. Liht- suse mõttes olgu käsitletud juhtumit, mil teade ja müra on

<sup>1</sup> Me viitaksime eriti äsjastele doktor Y. W. Lee kirjutistele.

sõltumatud, s. t. mil

$$\Phi_{12}(\omega) \equiv \Phi_{21}(\omega) \equiv 0. \quad (3.916)$$

Sel juhul eeldagem:

$$\left. \begin{aligned} m(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} M(t) d\xi(t - \tau, \gamma); \\ n(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} N(t) d\xi(t - \tau, \delta); \end{aligned} \right\} \quad (3.917)$$

kus  $\gamma$  ja  $\delta$  on jaotunud sõltumatult. Oletagem, et meil on teada  $m(t) + n(t)$  ( $-A, A$ ) vahel; kui palju informatsiooni on meil olemas  $m(t)$  suhtes? Märgime, et heuristiliselt\* me võime oodata, et see ei peaks väga erineva informatsiooni-kogusest, mis tuleneb avaldisest

$$\int_{-A}^A M(\tau) d\xi(t - \tau, \gamma), \quad (3.918)$$

mis meil on olemas, kui me teame kõiki väärtusi avaldises

$$\int_{-A}^A M(\tau) d\xi(t - \tau, \gamma) + \int_{-A}^A N(\tau) d\xi(t - \tau, \delta), \quad (3.919)$$

kus  $\gamma$  ja  $\delta$  jaotused on sõltumatud. Ent siiski on võimalik näidata, et  $n$ -ndal Fourier' kordajal võrrandis (3.918) on Gaussi jaotus, mis on sõltumatu kõigist teistest Fourier' kordajatest, ja et tema ruutkeskmine väärtus on võrdeline avaldisega

$$\left| \int_{-A}^A M(\tau) e^{i \frac{\pi n \tau}{A}} d\tau \right|^2. \quad (3.920)$$

Seega on (3.09) põhjal täielik  $M$  suhtes ära kasutatav informatsioonikogus

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \log_2 \frac{\left| \int_{-A}^A M(\tau) e^{i \frac{\pi n \tau}{A}} d\tau \right|^2 + \left| \int_{-A}^A N(\tau) e^{i \frac{\pi n \tau}{A}} d\tau \right|^2}{\left| \int_{-A}^A N(\tau) e^{i \frac{\pi n \tau}{A}} d\tau \right|^2} \quad (3.921)$$

ja energia edasiandmise ajaliseks tiheduseks osutub seesama suurus jagatuna  $2A$ . Kui nüüd  $A \rightarrow \infty$ , siis läheneb võrrand (3.921) kujule:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} du \log_2 \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} M(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2 + \left| \int_{-\infty}^{\infty} N(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} N(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2}. \quad (3.922)$$

See on täpselt sama tulemus, mille olid autor ja Shannon juba saavutanud sel juhul esineva informatsiooni üleandmiskiiruse kohta. Nagu võib näha, sõltub see mitte ainult teate üleandmiseks kasutatava sagedusriba laiusest, vaid ka müratasemest. Õigupoolest on sellel tihe seos audiogrammidega \*, mida kasutatakse selleks, et mõõta kuuldeulatust ja kuulmiskaotust teataval isikul. Siin on abstsissiks sagedus, alampiiri ordinaadiks on kuuldelävele \* vastava helitugevuse logaritm, mida me võime nimetada logaritmiiks vastuvõtusüsteemi *sisemüra* tugevusest, ülempiiriks aga on logaritm tugevusest, mis ilmneb kõige suuremal teatel, mida süsteem on võimeline taluma. Pindalal nende vahel, mis on suuruseks (3.922)-e mõõtmega, võib siis pidada mõõduks informatsiooni üleandmiskiirusele, millega kõrv on võimeline toime tulema.

Browni liikumisest lineaarselt sõltuvate teadete teoorial on mitmeid olulisi variante. Olulisemateks valemiteks on (3.88), (3.914) ja (3.922), muidugi koos nende tõlgendamiseks vajalike määratlustega. On olemas suur hulk selle teooria variante. Esiteks, teooria annab meile parima võimaliku ennustusseadmete ja lainefiltrite kavanduse, juhul, mil teated ja mürad kujutavad lineaarsete resonatorite vastukaja Browni liikumisele; kuid palju üldisematel juhtudel kujutab ta mingit võimalikku kavandust ennustusseadmete ja filtrite jaoks. See pole küll absoluutselt parimaks võimalikuks kavanduseks, kuid ta vähendab ennustuse ja filtreerimise ruutkeskmise vea alammäärani niivõrd, kuivõrd seda lineaarseid tehteid sooritavates seadmetes on võimalik teha. Kuid siiski võib üldiselt esineda mingeid mittelinearseid seadmeid, mis annavad veelgi

paremaid tulemusi, kui neid esineb mis tahes lineaarsef seadmel.

Järgmiseks, aegread on siin olnud lihtsateks aegridadeks, milles ajast sõltub üksainus arvmuutuja. On olemas ka kordseid aegridu, milles ajast sõltub korruga hulk selliseid muutujaid; ja just neil ongi suurim tähtsus majandusteaduses, meteoroloogias ja muudel sellistel aladel. Täielik ilmastikukaart Ameerika Ühendriikide kohta, koostatuna päevast päeva, moodustab sellise aegrea. Sel juhul tuleb meil väljendada üheaegselt hulk funktsioone sageduse kaudu ilmutatud liikmetena ja teises astmes olevad suurused, nagu (3.35) ja  $|k(\omega)|^2$  põhjendustes, mis järgnevad avaldisele (3.70), tuleb asendada suurusepaaride reastustega, s. o. *maatriksitega*.<sup>\*</sup> Ülesanne  $k(\omega)$  määramisest avaldatuna  $|k(\omega)|^2$  kaudu sel teel, et rahuldada teatavaid lisatingimusi komplekstasapinnal\*, muutub palju raskemaks, eriti kuna maatriksite korrutamise pole mitte kommutatiivne tehe. Ent ometi on selles mitmemõõtmeliste aegridade teoorias sisalduvad probleemid Kreini ja autori poolt lahendatud, vähemalt osaliseltki.

Mitmemõõtmeliste aegridade teooria kujutab äsjaesitatud keerukamat juhtu. On olemas veel teine, suhteliselt lähedane teooria, mis osutub tema lihtsustuseks. See on ennustuse, filtreerimise ja informatsioonikoguse teooriaks sõredates aegridades. Selline rida on parameetri  $\alpha$  funktsioonide  $f_n(\alpha)$  jada, kus  $n$  läbib kõik täisarvulised väärtused  $-\infty$  kuni  $\infty$ . Suurus  $\alpha$  on samuti nagu eespoolgi jaotuse parameetriks ja võidakse eeldada, et ta läbib ühtlaselt vahemikku  $(0, 1)$ . Aegrida öeldakse olevat *statistilises tasakaalus*, kui  $n$ -i muutus  $n+\nu$ -ks ( $\nu$  — mingi täisarv) ei sõltu  $n$ -ist.

Sõredate aegridade teooria on mõnes suhtes lihtsam kui pidevate ridade teooria. Näiteks on hulga kergem teha neid sõltuvaiks mingist sõltumatute valikute jadast. Iga liige on (segunemise juhtumil) väljendatav eelmiste liikmete kombinatsioonina suurusega, mis on sõltumatu kõigist eelmistest liikmetest, jaotunud ühtlaselt  $(0, 1)$  vahel, ja nende sõltumatute tegurite jada võib kasutada selleks, et asendada Browni liikumist, mis on nii tähtis pideval juhtumil.

Kui  $f_n(\alpha)$  on statistilises tasakaalus olev aegrida ja ta on meetriliselt transitiivne, siis on tema autokorrelatsioonitegur

$$\Phi_m = \int_0^1 f_m(\alpha) f_0(\alpha) d\alpha \quad (3.923)$$

ja me saame

$$\begin{aligned} \Phi_n &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_0^N f_{k+m}(\alpha) f_k(\alpha) = \\ &= \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N+1} \sum_0^N f_{-k-m}(\alpha) f_k(\alpha) \end{aligned} \quad (3.924)$$

peaaegu kõigil  $\alpha$  väärtustel. Võtame

$$\Phi_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi(\omega) e^{in\omega} d\omega \quad (3.925)$$

või

$$\Phi(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} \Phi_n e^{in\omega}. \quad (3.926)$$

Olgu

$$\frac{1}{2} \log \Phi(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} p_n \cos n\omega \quad (3.927)$$

ja

$$G(\omega) = \frac{p_0}{2} + \sum_1^{\infty} p_n e^{in\omega}. \quad (3.928)$$

Olgu

$$e^{g(\omega)} = k(\omega). \quad (3.929)$$

Väga üldistel tingimustel on siis  $k(\omega)$  niisuguse funktsiooni rajaväärtuseks ühikringil, millel pole nullkohti või singulaarsusi ühikringi sees, kusjuures  $\omega$  on nurk. Me saame:

$$|k(\omega)|^2 = \Phi(\omega). \quad (3.930)$$

Kui me nüüd võtame parimaks lineaarseks ennustuseks  $f_n(\alpha)$  kohta, ettetõttamisega  $\nu$

$$\sum_0^{\infty} f_{n-\nu}(a) W_{\nu}, \quad (3.931)$$

siis leiame, et

$$\sum_0^{\infty} W_{\mu} e^{i\mu\omega} = \frac{1}{2\pi k(\omega)} \sum_{\mu=\nu}^{\infty} e^{i\omega(\mu-\nu)} \int_{-\pi}^{\pi} k(u) e^{i\mu u} du. \quad (3.932)$$

See on analoogiline võrrandiga (3.88). Olgu märgitud, et kui me võtame

$$k_{\mu} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} k(u) e^{i\mu u} du, \quad (3.933)$$

siis

$$\begin{aligned} \sum_0^{\infty} W_{\mu} e^{i\mu\omega} &= e^{-i\nu\omega} \frac{\sum_0^{\infty} k_{\mu} e^{i\mu\omega}}{\sum_0^{\infty} k_{\mu} e^{i\mu\omega}} = \\ &= e^{-i\nu\omega} \left( 1 - \frac{\sum_0^{\nu-1} k_{\mu} e^{i\mu\omega}}{\sum_0^{\infty} k_{\mu} e^{i\mu\omega}} \right). \end{aligned} \quad (3.934)$$

Ilmselt kujuneb selle tulemuseks, mil teel me oleme  $k(\omega)$  moodustanud, et juhtude väga üldises hulgas me võime võtta

$$\frac{1}{k(\omega)} = \sum_0^{\infty} q_{\mu} e^{i\mu\omega}. \quad (3.935)$$

Siis (3.934) omandab kuju

$$\sum_0^{\infty} W_{\mu} e^{i\mu\omega} = e^{-i\nu\omega} \left( 1 - \sum_0^{\nu-1} k_{\mu} e^{i\mu\omega} \sum_0^{\infty} q_{\lambda} e^{i\lambda\omega} \right). \quad (3.936)$$

Erijuhul, mil  $\nu = 1$ ,

$$\sum_0^{\infty} W_{\mu} e^{i\mu\omega} = e^{-i\omega} \left( 1 - k_0 \sum_0^{\infty} q_{\lambda} e^{i\lambda\omega} \right), \quad (3.937)$$

või

$$W_{\mu} = -q_{\lambda+1} k_0. \quad (3.938)$$

Seega on ühe sammu võrra etteennustamiseks parimaks  $f_n(\alpha)$  väärtuseks

$$-k_0 \sum_0^{\infty} q_{\lambda+1} f_{n-\lambda}(\alpha) \quad (3.939)$$

ja samm-sammult ennustamise käigus me võime lähendada kogu sõredate aegridade lineaarse ennustamise ülesande. Samuti nagu pideval juhulgi, osutub parimaks võimalikuks ennustuseks mis tahes meetodil, kui

$$f_n(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} K(n - \tau) d\xi(\tau, \alpha). \quad (3.940)$$

Filtreerimise ülesande üleviimine pidevalt sõredale juhule toimub mitmeti samasuguse põhjenduse teel. Valem (3.913) parima filtri sagedustunnusjoone jaoks omändab kuju

$$\frac{1}{2\pi k(\omega)} \sum_a^{\infty} e^{-i\omega(\nu-a)} \int_{-\pi}^{\pi} [\Phi_{11}(u) + \Phi_{21}(u)] e^{iua} du, \quad (3.941)$$

kus kõigil liikmetel on samad tähendused nagu pideval juhul, välja arvatud see, et kõik integraalid  $\omega$  või  $u$  järgi võetakse  $-\pi$  kuni  $\pi$  selle asemel, et võtta neid  $-\infty$  kuni  $\infty$ , ja kõik  $\nu$  summad on sõredateks summadeks selle asemel, et olla integraalideks  $t$  järgi. Filtrid sõredatele aegridadele pole tavaliselt mitte niivõrd füüsiliselt ehitatavateks seadmeteks, mida saaks kasutada elektrilistes lülitustes, kuivõrd nad on matemaatilisteks menettlusteks, mis võimaldavad statistikutel saada parimaid tulemusi ebatäpsetest statistilistest andmetest.

Lõpuks, informatsiooni üleandmiskiirus sõreda aegreaga kujul

$$\int_{-\infty}^{\infty} M(n - \tau) d\xi(t, \gamma) \quad (3.942)$$

koos kaasneva müraga

$$\int_{-\infty}^{\infty} N(n - \tau) d\xi(t, \delta), \quad (3.943)$$

kui  $\gamma$  ja  $\delta$  on sõltumatud, osutub täpselt analoogiliseks (3.922)-ga; nimelt:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} du \log_2 \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} M(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2 + \left| \int_{-\infty}^{\infty} N(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} N(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2}, \quad (3.944)$$

kus

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} M(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2 \quad (3.945)$$

üle  $(-\pi, \pi)$  kujutab teate võimsuse jaotust sageduse järgi, ja

$$\left| \int_{-\infty}^{\infty} N(\tau) e^{iu\tau} d\tau \right|^2 \quad (3.946)$$

sedasama müra kohta.

Siin arendatud statistilised teooriad kutsuvad esile vajaduse täielikult teada meie poolt vaadeldavate aegridade minevikku. Rahulduda tuleb meil aga igal juhul vähemaga, sest meie vaatlus ei ulatu piiramatult minevikku. Meie teooria selles osas edasiarendamine praktiliseks statistika teooriaks nõuab olemasolevate proovivõtmise meetodite avardamist. Autor ja teised<sup>1</sup> on selles suunas algust teinud. See toob kaasa kõik keerused, mida

<sup>1</sup> Wiener, N. and Doob, ilmumas olev raamat, Wiley, New York.

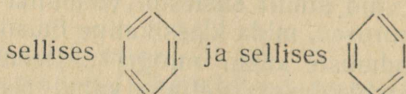
esineb ühelt poolt kas Bayes'i\* seaduste või teiselt poolt nende terminoloogiliste võtete kasutamise osas sarnasusteoorias<sup>1</sup>, mis näib vältivat vajadust Bayes'i seaduste kasutamiseks, kuid mis tõeliselt kannab vastutuse nende kasutamise eest üle töötavale statistikule või isikule, kes lõplikult tema tulemusi rakendab. Kuid samal ajal on statistika teoreetik võimeline täiesti ausalt ütleva, et ta pole ütelnud midagi, mis poleks täielikult range ja vaieldamatu.

Viimaks peaks see peatükk lõppema ajakohase kvantmehaanika käsitlusega. Viimane kujutab endast kõige tähtsamat aegridade teooria poolt vallutatud küsimust ajakohases füüsikas. Njuutonlikus füüsikas on füüsikaliste nähtuste jada täielikult määratud nende minevikuga ja eriti kõigi asendite ning momentide määramisega igal üksikul hetkel. Täieliku Gibbsi teooria alusel on siiski õige, et kordsete aegridade täpse määramise teel kogu universumi kohta oleks kõigi, igal üksikul hetkel esinevate asendite ja momentide teadmise kaudu määratud kogu tulevik. Ning ainult sellest, et esineb tundmatuid mittevaadeldud koordinaate ja momente, ongi tingitud, et aegread, millega me tegelikult arvutame, omandavad teatava segunemisomaduse, millega me selles peatükis oleme tutvunud Browni liikumisest tulenevate aegridade osas. Heisenbergi suureks panuseks füüsikasse oli selle veel kvaasinjuutonliku Gibbsi maailma asendamine maailmaga, kus aegridu pole mingil teel võimalik taandada aja arengulõngade määratud koguks. Kvantmehaanikas ei määra üksiku süsteemi kogu minevik mitte selle süsteemi tulevikku mingil absoluutsel kujul, vaid ainult süsteemi võimalike tulevikude jaotusena. Suurused, mida klassikaline füüsika vajas, et teada kogu sündmuste käiku mingis süsteemis, pole mitte üheaegselt vaadeldavad, välja arvatud pealiskaudsel ja ligikaudsel viisil, mis siiski on küllalt täpne klassikalise füüsika vajaduste jaoks *selles täpsuse ulatuses, kus ta on end katseliselt näidanud rakendatavana*. Hoo ja talle vastava asendi vaatlemise tingimused on kokkusobimatud. Et vaadelda mingi süsteemi asendit nii täpselt kui võimalik, peame teda vaatlema valgusega või elektronlainetega, või nendetaoliste suure eraldusvõimega või väikese lainepikkusega vahendite abil. Kuid valgusel on osakeste toime,

<sup>1</sup> Vaata R. A. Fisheri ja J. von Neumanni kirjutisi.

mis sõltub ainuüksi tema sagedusest, ja mingi keha valgustamine kõrgsagedusliku valgusega tähendab sundida teda muutma oma hoogu, mis suureneb koos sagedusega. Teisest küljest tekitab madalsageduslik valgus kõige väiksemat muutust tema poolt valgustatavate osakeste hoos, kuid ometi pole temal küllaldaselt eraldusvõimet, et anda teravat näitu asendi kohta. Valguse vahepealsed sagedused annavad ähmase hinnangu niihästi asendi kui ka hoo kohta. Üldiselt pole võimalik kujutleda mingeid vaatlusviise, mis võiksid meile anda küllaldaselt informatsiooni süsteemi mineviku kohta, et anda meile täielikku informatsiooni ka tema tuleviku suhtes.

Sellele vaatamata, samuti nagu kõigi aegridade valdkondade puhul, on informatsioonikoguse teooria, mida me siin oleme arendanud, ikkagi rakendatav, ja järelikult on seda ka entroopia teooria. Kuna meil nüüd siiski on tegemist segunemisomadusega aegridadega, isegi kui meie andmed on nii täielikud, nagu nad olla saavad, selgub meile, et meie süsteemil pole mingeid absoluutseid potentsiaalibarjääre\* ning et aja jooksul võib ükskõik milline süsteemi seisund teisenduda ja teisendubki mingiks teiseks seisundiks. Ent tõenäosus selleks sõltub lõppude lõpuks kahe seisundi suhtelisest tõenäosusest või mõõdust. See osutub eriti suureks seisunditel, mis suure arvu teisenduste teel võivad teisenduda iseendiks seisunditel, mis kvantide teooria eriteadlase keeles omavad suurt siseresonantsi\* või suurt mandumismäära. Üheks näiteks selle kohta on bensooliring\*, sest selle kaks seisundit on samaväärsed. See tähendab, et



süsteemis, milles mitmesugused ehitusplokid võivad omavahel üksteisega ise kõige tihedamini liituda mitmesugusel viisil, nagu siis, kui amiinohapete\* segu muudab end ise proteiiniahelikeks, võib seisund, milles hulk neid ahelikke on ühesugused ja läbivad üksteisega tiheda sidestuse järku, osutada stabiilsemaks kui selline, milles nad on erisugused. Haldane'i poolt oli katselisel viisil püstitatud väide, et see võiks olla viisiks, mil moel geenid ja viirused end paljundavad; ning ehkki ta ei tõendanud oma väi-

det millegagi lõplikult, ei näe ma mingit põhjust, miks seda ei võiks tunnustada katselise hüpoteesina. Oli ju Haldane ise selgesti toonitanud, et kuna ühelgi üksikul osakesel kvantide teoorias pole täiuslikku teravalt väljendatud isikupära, siis pole sel juhul võimalik ütelda mitte rohkem kui pealiskaudse täpsusega, kumb kahest geenist, mis on sel viisil paljunenud, osutub määravaks eeskujuks ja kumb on jäljendavaks teisikuks.

Sedasama resonantsinähtust esineb teatavasti väga sageli elusaines. Szent-Györgyi viitas tema tähtsusele lihaste ehituses. Suure resonantsiga ainetel on väga tihti erakordne mahutavus, et salvestada niihästi energiat kui ka informatsiooni, ja selline salvestus kindlasti leiab aset lihaste kokkutõmbumisel.

Samad erakordsed nähtused, mis pakuvad huvi paljunemises, on arvatavasti teatavas seoses ka mingis elusolendis leiduvate keemiliste ainete harukordse iseärasusega, mida ilmneb mitte ainult liikide kaupa, vaid koguni ühe liigi isendite hulgas. Sellised tähelepanekud võivad olla väga tähtsad immunoloogias\*.

## TAGASISIDESTUS JA VÕNKUMINE

Närvihaiglasse tuleb ravivajaja. Ta pole halvatud ja ta võib liigutada oma jalgu, kui ta saab vastava korralduse. Kuid sellele vaatamata kannatab ta ränga tõve all. Ta kõnnib kohmakal sammul, pilk suunatud maha ja oma jalgadele. Ta alustab iga sammu nõksakuga, paisates kordamööda kummagi jala enda ette. Kui tal silmad kinni siduda, ei saa ta püsti seista ja langeb tudisedes maha. Mis on tal viga?

Tuleb sisse teine ravivajaja. Kuni ta istub rahulikult oma toolil, ei näi tal olevat midagi viga. Ent pakkuge talle sigaretti, ja seda võtta püüdes õõtsutab ta oma käe sellest mööda. Sellele järgneb sama asjatu õõtsutus teises suunas ja tolele veel kolmas õõtsutus tagasi, kuni tema liigutus muutub lausa asjatuks ja ägedaks võnkumiseks. Ulatage talle klaas vett ja ta valab selle nende õõtsutustega tühaks veel enne, kui ta suudab tõsta selle oma suu juurde. Mis on tal viga?

Kumbki neist ravivajajaist kannatab ühe- või teisekujulise niinimetatud *ataxia* all. Nende lihased on küllalt tugevad ja terved, kuid nad on võimetud nende tegevust korraldama. Esimene ravivajaja kannatab *tabes dorsalis* all. Seljaaju osa, mis tavaliselt aistinguid vastu võtab, on süüfilise hilisema tüsistuse tagajärjel vigastatud või hävinud. Saabuvad teated on tuhmunud, kui nad pole täiesti kadunud. Retseptorid liigestes ja kõõlustes ja lihastes ja tema jalataldades, mis tavaliselt teevad talle teatavaks tema jalgade asendi ja liikumisolukorra, ei saada mingeid teateid, mida tema kesknärvisüsteem võiks vastu võtta ja üle anda, ning informatsioonina oma asendi suhtes tuleb tal loota oma silmadele ja sisekõrva tasakaaluelunditele. Füsioloogi erikeeles, ta on kaotanud olulise osa oma proprioretseptiivsetest ehk kinesteetilistest aistingutest.

Teine ravivajaja pole oma proprioretseptiivseid aistinguid mitte sugugi kaotanud. Tema kahjustus on kusagil

mujal, väikeajus, ja ta kannatab väikeaju häiretest tingitud lihasevärina all, mida nimetatakse ka intentsioonitremoriks. Näib tõenäolisena, et väikeaju teatavaks talitluseks on lihaste vastutegevuse säilitamine võrdelisena pro-prioretseptiivse sisandiga, ja kui see võrdelisus on häiritud, võib üheks tagajärjeks olla lihastevärin.

Nii me näeme, et tõhusaks välismaailma mõjutamiseks on oluline mitte üksnes see, et me omame häid efekto-reid\*, vaid ka see, et nende efektorite talitlusest tagurpidi täpselt hoitaks kesknärvisüsteemi ja et nende hoiata-jate näidud oleksid täpselt kooskõlastatud muu informat-siooniga, mis saabub meeleeelundeist, et tekitada täpselt võrdelist väljet efektoritele. Teataval määral päris sama-sugune on olukord ka mehaanilistes seadmetikes. Vaa-delgem tsentraalposti\* raudteel. Raudtee liikluskorraldaja juhhib hulka hoobasid, mis märguandeks sulevad või ava-vad semafore ja mis korraldavad pöörmete seadumist. Kuid tal pole lubatud pimesi eeldada, et signaalid ja pöör-med on järginud tema käsklusi. Võib juhtuda, et pöörmed on külmunud kinni või et lumekoorma raskus on semafori-tiibu koolutanud, ja see, mida ta peab pöörmete ja signaa-lide — oma efektorite — tegelikuks seisundiks, ei vasta käsklustele, mis ta on andnud. Et vältida hädaohtu, mis selles juhuslikkuses kätkeb, on iga efektor — pööre või sig-naal — ühendatud tsentraalpostis paikneva tagasiteadus-tava seadisega, mis annab liikluskorraldajale märku nende tegelikest seisunditest ja tegevusest. See on mehaaniliseks ekvivalendiks\* käskluste kordamisele mereväes vastavalt määrustikule, mille kohaselt iga alluv peab mingi käsk-luse vastuvõtmise järel seda kordama oma ülemu-sele, tõenduseks, et ta on seda kuulnud ja mõistnud. Just sellised kordunud käsklused ongi nendeks, mille põhjal peab tegutsema liikluskorraldaja.

Märkigem, et selles süsteemis on olemas inimlül-i infor-matsiooni läkitamise ja tagasisaabumise ahelik, mida me nüüdsest peale nimetame tagasisidestusahelikuks. On tõi-si, et liikluskorraldaja pole täiesti sõltumatuks isikuks, et tema pöörmed ja signaalid on vastastikku lukustatud kas mehaaniliselt või elektriliselt ja et tal pole lubatud valida mingit kombinatsiooni õnnetusttoovate hulgast. Siiski on olemas ka tagasisidestusahelike, millesse mingi inimelement ei sekku. Tavaline termostaat, mille abil me reguleerime mingi hoone kütet, kujutab ühte neist. Ta on

seatud soovitud toatemperatuurile; ja kui hoone tegelik temperatuur on sellest madalam, astub tegevusse seade, mis avab siibri või suurendab kütteõlivoolu ja tõstab hoone temperatuuri soovitud tasemele. Kui, teiselt poolt, hoone temperatuur ületab soovitud taseme, siibrid suletakse või kütteõlivool aeglustatakse või katkestatakse. Sel teel säilitatakse hoone temperatuuri ligikaudu ühesugusel tasemel. Märgime, et selle taseme jäävus sõltub termostaadi heast kavandusest ja et halvasti kavandatud termostaat võib panna hoone temperatuuri ägedalt kõikumama, samuti nagu liigutused mehel, kes kannatab väikeaju kahjustusest tingitud lihastevärina all.

Teiseks näiteks puhtmehaanilisest tagasisidestusseadestikust, mis esmakordselt on leidnud käsitlenu Clerk Maxwelli poolt, on aurumasina regulaator, mis on määratud selleks, et reguleerida tema kiirust muutuvates koormuse tingimustes. Oma algupärasel kujul, nagu ta oli leiutatud Watti \* poolt, koosnes ta kahest kuulist, mis olid kinnitatud pendelvarbadele ja õõtsusid kummalgi pool pöörlevat võlli. Neid surutakse alla nende oma raskuse või vedru poolt ja nad õõtsuvad ülespoole tsentrifugaaljõu mõjul sõltuvalt võlli nurkkiirusest. Seega omandavad nad vastastikuse mõjutuse teel asendi, mis samuti sõltub nurkkiirusest. See asend kantakse teiste varbade abil üle võlli ümber istuvale muhvile ja see liigutab liigendit, mis on määratud selleks, et avada silindri sisselaskeventiile, kui masina kiirus väheneb ja kuulid langevad, ning sulgeda neid, kui masina kiirus suureneb ja kuulid tõusevad. Märkigem, et tagasisidestus püüab mõjuda vastu sellele, mida süsteem kogu aeg teeb, ja on seega negatiivne.

Meil on niisiis näited negatiivsest tagasisidestusest temperatuuri stabiliseerimiseks ja negatiivsest tagasisidestusest kiiruse stabiliseerimiseks. On olemas ka negatiivseid tagasisidestusi asendi stabiliseerimiseks, nagu näiteks laeva roolimasinates, mis käivituvad, kui tekib nurga erinevus rooliratta asendi ja roolipinna asendi vahel, ning toimivad alati nii, et nad viivad roolipinna asendi kooskõlasse rooliratta omaga. Tahtele alluvas tegevuses on tagasisidestusel samasugune iseloom. Me ei saa tahtlikult sundida liikuma teatud lihaseid ja tõepoolest me üldiselt ei teagi, milliseid lihaseid tuleb liigutada, et sooritada antud ülesanne; me tahame, ütleme, võtta sigareti. Meie

liigutust reguleerib teataval määral see määr, mille võrra ta on veel alles sooritamata.

Juhtimiskeskusesse tagasisuunatud informatsioon püüab mõjuda vastu sellele lahkuminekule, mis esineb juhitava ja juhtiva suuruse vahel, kuid ta võib sõltuda sellest lahkuminekust väga laialdasel määral erinevatel viisidel. Lihtsaimad juhtimissüsteemid on lineaarsed: täituri välje on sisandi kaudu lineaarselt avaldatav, ja kui me liidame sisandid, siis me ühtlasi liidame ka väljed. Väljet mõõdetakse mingi riistaga, mis on samuti lineaarne. See näit on lihtsalt sisandist lahutatud. Me tahame anda täpse teooria sellise koondseadme tegutsemise kohta ja eriti tema korrapäratu käitumise kohta ning tema kaldumise kohta võnkuma, kui teda vääralt koheldakse või üle koor-matakse.

Me oleme selles raamatus vältinud matemaatilist sümboolikat ja matemaatilist käsitusviisi nii palju kui võimalik, ehk me küll oleme olnud sunnitud erandlikult nendega leppima mõnes kohas ja eriti eelmises peatükis. Samuti ka siin, käesoleva peatüki ülejäänud osas, tuleb meil täpselt teha tegemist selliste asjadega, mille kohta on sobivamaks keeleks matemaatika tähised, ja me võiksime seda vältida ainult pikkade kaudsete jutustuste abil, mis on vaevalt mõistetavad võhikule ja mis oleksid mõistetavad vaid lugejale, kes, olles tuttav matemaatilise tähistusega, on selle tõttu võimeline neid sellisesse tähistusviisi ümber tõlkima. Parimaks kompromissiks, mille me võime teha, on matemaatilise tähistuse varustamine ohtra sõnalise seletusega.

Olgu  $f(t)$  funktsioon ajast  $t$ , kusjuures  $t$  muutub miinus lõpmatuses lõpmatuseni: tähendab olgu  $f(t)$  suurus, mis igal hetkel  $t$  omab mingit numbrilist väärtust. Me võime mis tahes hetke  $t$  kohta leida  $f(s)$  väärtused, kui  $s$  on väiksem kui  $t$  või sellega võrdne, kuid me ei saa seda, kui  $s$  on suurem kui  $t$ . On olemas koondseadmeid, elektrilisi ja mehaanilisi, mis viivitavad oma sisandit teatud kindla aja võrra, ja need tekitavad meile sisandi  $f(t)$  peale välje  $f(t-\tau)$ , kus  $\tau$  on teatud kindel viivitus.

Me võime omavahel liita kokku mitmeid seda liiki koondseadmeid, mis tekitavad väljed  $f(t-\tau_1)$ ,  $f(t-\tau_2)$ , ...,  $f(t-\tau_n)$ . Me võime korrutada igaühe neist väljetest teatud kindla positiivse või negatiivse väärtusega. Näiteks võime me kasutada potentsiomeetrit\* pinge korrutami-

seks kindla ühest väiksema positiivse arvuga ja pole eriti raske leiutada automaatseid tasakaalustusseadmeid ning võimendeid pinge korrutamiseks väärtustega, mis on negatiivsed või on suuremad kui üks. Ka pole raske kujundada lihtsaid juhtmestiku skeeme lülituste kohta, mille abil me võime liita pingeid pidevalt, ja nende abil me võime saada välja:

$$\sum_1^n a_n f(t - \tau_n). \quad (4.01)$$

Viivituste  $\tau_n$  arvu suurendamisega ja kordaja  $a_n$  sobiva täpsustamisega võime läheneda nii tihedalt, kui me soovime, väljele kujus:

$$\int_0^\infty a(\tau) f(t - \tau) d\tau. \quad (4.02)$$

Selles avaldises on väga tähtis mõista olulise asjaoluna, et me integreerime 0-st kuni  $\infty$ , ja mitte  $-\infty$ -st kuni  $\infty$ . Muidu me võiksim kasutada mitmesuguseid otsarbekaid seadmeid, mis tegutsevad selle järelduse alusel, ja leida  $f(t + \sigma)$ , kus  $\sigma$  on positiivne. Ent see toob kaasa teadmise  $f(t)$  tuleviku kohta; ja  $f(t)$  võib osutada suuruseks, nagu seda on koordinaadid trammil, mis võib pöörmel pöörata ühele teele või teisele, mis pole tema mineviku kaudu määratud. Kui mingi füüsikaline protsess näib meid toovad operaatorile

$$\int_{-\infty}^\infty a(\tau) f(t - \tau) d\tau, \quad (4.03)$$

kus  $a(\tau)$  tegelikult  $\tau$  negatiivsetel väärtustel ei hääbu, tähendab see, et meil enam pole tõelist operaatorit  $f(t)$  kohta, mis oleks üheselt määratud tema mineviku kaudu. Esineb füüsikalisi olukordi, kus seda võib juhtuda. Näiteks võib dünaamiline süsteem ilma sisandita sattuda määramata amplituudiga alalisse võnkumisse või isegi võnkumisse, mis areneb kuni lõpmatuseni. Sellisel juhul pole süsteemi tulevik määratud mineviku kaudu ja me võime välisel kujul leida täpsed avaldised, mis tähendavad tulevikust sõltuvat operaatorit.

Tehtel, mille tulemusena me saame (4.02) suurusel  $f(t)$ , on järgmised kaks tähtsat omadust: 1) ta on sõltumatu aja alghetke nihutamisest ja 2) ta on lineaarne. Esimene omadus on väljendatud väite kaudu, et juhul kui

$$g(t) = \int_0^{\infty} a(\tau) f(t-\tau) d\tau, \quad (4.04)$$

siis

$$g(t+\sigma) = \int_0^{\infty} a(\tau) f(t+\sigma-\tau) d\tau. \quad (4.05)$$

Teine omadus on väljendatud väite kaudu, et juhul kui

$$g(t) = A f_1(t) + B f_2(t), \quad (4.06)$$

siis

$$\begin{aligned} & \int_0^{\infty} a(\tau) g(t-\tau) d\tau = \\ & = A \int_0^{\infty} a(\tau) f_1(t-\tau) d\tau + B \int_0^{\infty} a(\tau) f_2(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (4.07)$$

Saab näidata, et teatavas ülekantud mõttes iga, lineaarse ja aja alghetke nihutamise suhtes invariantse  $f(t)$  mineviku kohta kehtiv operaator kas omab kuju (4.02) või on sellekujuliste operaatorite jada piirväärtuseks. Näiteks on  $f'(t)$  tulemuseks selliste omadustega operaatori rakendamisest  $f(t)$  suhtes ja

$$f'(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_0^{\infty} \varepsilon a\left(\frac{\tau}{\varepsilon}\right) f(t-\tau) d\tau, \quad (4.08)$$

kus

$$a(X) = \begin{cases} 1 & (0 \leq X < 1); \\ -1 & (1 \leq X < 2); \\ 0 & (2 \leq X). \end{cases} \quad (4.09)$$

Nagu me oleme eespool näinud, osutuvad funktsioonid  $e^{zt}$  hulgaks funktsioonidest  $f(t)$ , mis on eriti tähtsad operaatori (4.02) seisukohalt, sest

$$e^{z(t-\tau)} = e^{zt} \cdot e^{-z\tau} \quad (4.10)$$

ja viivituse operaator muutub vaid kordajaks, mis sõltub  $z$ -st. Seega (4.02) teisendub:

$$e^{zt} \int_0^{\infty} a(\tau) e^{-z\tau} d\tau, \quad (4.11)$$

ja on samuti korrutamisoperaatoriks, mis sõltub ainult  $z$ -st. Avaldise

$$\int_0^{\infty} a(\tau) e^{-z\tau} d\tau = A(z) \quad (4.12)$$

kohta üteldakse, et ta on operaatori (4.02) esituseks funktsioonina sagedusest. Kui  $z$ -i käsitada komplekssuurusena  $x + iy$ , kus  $x$  ja  $y$  on reaalsed, teisendub ta avaldiseks

$$\int_0^{\infty} a(\tau) e^{-x\tau} e^{iy\tau} d\tau, \quad (4.13)$$

nii et integraalidesse puutuva hästi tuntud Schwarz'i \* võrratuse põhjal, kui  $y > 0$  ja

$$\int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau < \infty, \quad (4.14)$$

saame:

$$\begin{aligned} |A(x+iy)| &\leq \left( \int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau \int_0^{\infty} e^{-2x\tau} d\tau \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left( \frac{1}{2x} \int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (4.15)$$

See tähendab, et  $A(x+iy)$  on kompleksmuutuja tõkestatud holomorfseks \* funktsiooniks kummaski pooltasa-

pinnas  $x \geq \varepsilon > 0$ , ja et funktsioon  $A(iy)$  teatud väga kindlas mõttes kujutab sellise funktsiooni rajaväärtusi.

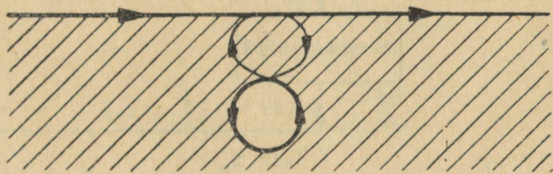
Võtame

$$u + iv = A(x + iy), \quad (4.16)$$

kus  $u$  ja  $v$  on reaalsed. Suurus  $x + iy$  on määratud  $u + iv$  (mitte tingimata ühese) funktsioonina. See funktsioon osutub analüütiliseks, ehkki meromorfseks\*, välja arvatud  $u + iv$  punktides, mis vastavad  $z = x + iy$  punktidele, kus  $\partial A(z)/\partial z = 0$ . Raja  $x = 0$  teisendub kõverjooneks parameetrilise võrrandiga:

$$u + iv = Ay \quad (y \text{ on reaalne}). \quad (4.17)$$

See uus kõver võib iseenesega lõikuda mitmeid kordi. Uldiselt siiski jagab ta tasapinna kaheks piirkonnaks. Käsitagem kõverat (4.17) joonistatuna sellises suunas, milles  $y$  kulgeb  $-\infty$  kuni  $\infty$ . Kui me siis lähtume (4.17)-st paremale poole ja jälgime pidevat kulgu ilma taas (4.17)-ga lõikumata, võime jõuda teatud punktidesse. Punkte, mis ei ole ei selle hulga seas ega ka (4.17)-el, nimetame *välispunktideks*. Kõvera (4.17) selle osa, mis sisaldab välispunktide piiripunkte, nimetame *efektiivseks tõkkeks*. Kõiki ülejäänud punkte nimetatagu *sisepunktideks*. Nii on juuresoleval joonisel, kus tõke on joonistatud noole suunas, sisepunktid viirutatud ja efektiivne tõke joonistatud jämedana.



Joon. 1.

Tingimus, et  $A$  olgu tõkestatud igal parempoolsel pooltasapinnal, tõendab meile niisiis, et *lõpmatuses olev punkt ei saa olla sisepunktiks*. Ta võib olla rajapunktiks, ehkki on olemas teatud väga täpsed piiravad tingimused nende tunnuste osas, mis liiki rajapunktiks ta olla võib. Need hõlmavad lõpmatusena väljaulatuvate sisepunktide hulga «paksust».

Nüüd me tuleme lineaarse tagasisidestuse küsimuse matemaatilise väljendamise ülesande juurde. Olgu mingi sellise süsteemi juhtimiskäigu diagramm — *mitte* lülitusskeem — niisugune nagu joonisel 2. Siin on mootori sisandiks  $Y$ , mis osutub esialgse sisandi  $X$  ja mootori väljundvõimsust  $AY$  teguriga  $\lambda$  korrutatava korrutaja välje vaheks. Seega

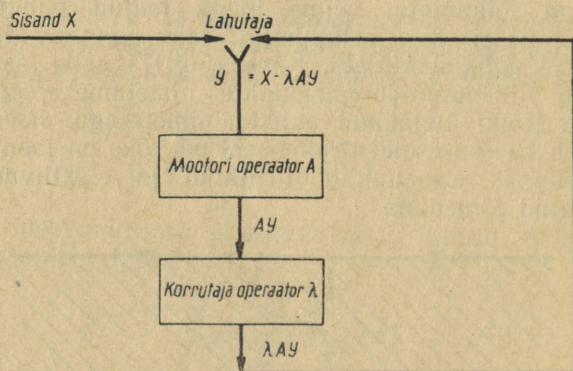
$$Y = X - \lambda AY, \quad (4.18)$$

ja

$$Y = \frac{X}{1 + \lambda A}, \quad (4.19)$$

nii et mootori väljeks on

$$AY = X \frac{A}{1 + \lambda A}. \quad (4.20)$$



Joon. 2.

Kogu tagasisidestusmehhanismi poolt tekitatud operaatoriiks on seega  $A/(1 + \lambda A)$ . Ta läheb lõpmatusse siis ja ainult siis, kui  $A = -1/\lambda$ . Kõveraks (4.17) selle uue operaatori kohta kujuneb

$$u + iv = \frac{A(y)}{1 + \lambda A(y)}; \quad (4.21)$$

ja  $\infty$  kujuneb tema sisepunktiks siis ja ainult siis, kui  $-1/\lambda$  on (4.17)-e sisepunktiks.

Sel juhul kutsub tagasisidestus kordajaga  $\lambda$  kindlasti esile midagi katastroofilist ja õigupoolest ilmneb selle paratamatu katastroofina asjaolu, et süsteem hakkab ohjeldamatult ning üha kasvavalt võnkuma. Teiselt poolt võib näidata, et siis, kui punkt  $-1/\lambda$  osutub välispunktiks, ei esine mingeid raskusi ja tagasisidestus on stabiilne. Kui  $-1/\lambda$  asub efektiivsel rajal, siis osutub tingimata vajalikuks üksikasjalisem arutelu. Enamikel puhkudel võib süsteem hakata võnkuma amplituudiga, mis ei kasva.

Võib-olla tasuks käsitleda mitmesuguseid operaatoreid  $A$  ja tagasisidestuse ulatusi, mis on nende põhjal lubatavad. Me käsitleme mitte üksnes tehteid (4.02), vaid ka nende piirväärtusi, eeldades, et sama arutlus kehtib kindlasti ka nende kohta.

Kui operaator  $A$  vastab diferentsiaaloperaatorile  $A(z) = z$ , kusjuures  $y$  muutub  $-\infty$  kuni  $\infty$ , siis teeb  $A(y)$  sedasama, ja sisepunktid osutuvad punktideks, mis on sisemised parempoolsele pooltasapinnale. Punkt  $-1/\lambda$  on alati välispunktiks ja on võimalik igasugune tagasisidestusmäär. Kui

$$A(z) = \frac{1}{1+kz}, \quad (4.22)$$

siis on kõver (4.17)

$$u + iv = \frac{1}{1+kiy}, \quad (4.23)$$

või

$$u = \frac{1}{1+k^2y^2}; \quad v = \frac{-ky}{1+k^2y^2}, \quad (4.24)$$

mille põhjal võime kirjutada:

$$u^2 + v^2 = u. \quad (4.25)$$

See on ring raadiusega  $1/2$  ja keskmega punktis  $(1/2, 0)$ . Ta on kujutatud kellaosuti liikumise suunas ja sisepunktideks on need, mida me tavaliselt peaksime välisteks. Sel juhul on samuti lubatav tagasisidestus piiramatult, sest  $-1/\lambda$  on alati väljaspool ringi. Sellele operaatorile vastav  $a(\tau)$  on

$$a(\tau) = e^{-\tau/k} / k. \quad (4.26)$$

Olgu nüüd:

$$A(z) = \left( \frac{1}{1+kz} \right)^2. \quad (4.27)$$

Siis on (4.17):

$$u + iv = \left( \frac{1}{1+kiy} \right)^2 = \frac{(1 - kiy)^2}{(1+k^2y^2)^2}, \quad (4.28)$$

ja

$$u = \frac{1 - k^2y^2}{(1+k^2y^2)^2}; \quad v = \frac{-ky}{(1+k^2y^2)^2}. \quad (4.29)$$

See annab:

$$u^2 + v^2 = \frac{1}{(1+k^2y^2)^2} \quad (4.30)$$

või

$$y = \frac{-v}{(u^2+v^2)2k}. \quad (4.31)$$

Siis

$$\begin{aligned} u &= (u^2+v^2) \left[ 1 - \frac{k^2v^2}{4k^2(u^2+v^2)^2} \right] = \\ &= (u^2+v^2) - \frac{v^2}{4(u^2+v^2)}. \end{aligned} \quad (4.32)$$

Polaarkoordinaatides, kus  $u = \rho \cos \varphi$ ,  $v = \rho \sin \varphi$ , saame:

$$\rho \cos \varphi = \rho^2 - \frac{\sin^2 \varphi}{4} = \rho^2 - \frac{1}{4} + \frac{\cos^2 \varphi}{4}, \quad (4.33)$$

või

$$\rho - \frac{\cos \varphi}{2} = \pm \frac{1}{2}. \quad (4.34)$$

Seega

$$\rho^{1/2} = -\sin \frac{\varphi}{2}; \quad \rho^{1/2} = \cos \frac{\varphi}{2}. \quad (4.35)$$

Võib näidata, et need kaks võrrandit kujutavad ühteainsat kõverat — kardioidi\* tipuga koordinaatide alguses ja teravikuga suunatuna paremale. Selle kõvera sisepunktid ei sisalda ühtegi negatiivse reaaltelje punkti ja nagu eelmiselgi juhul on lubatav võimendus piiramatult. Siin on operaator  $a(\tau)$ :

$$a(\tau) = te^{-\tau/k}/k^2. \quad (4.36)$$

Olgu

$$A(z) = \left( \frac{1}{1+kz} \right)^3. \quad (4.37)$$

Olgu  $\varrho$  ja  $\varphi$  määratletud samuti nagu viimasel juhul. Siis

$$\varrho^{1/3} \cos \frac{\varphi}{3} + i \varrho^{1/3} \sin \frac{\varphi}{3} = \frac{1}{1+kiz}. \quad (4.38)$$

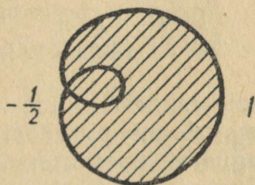
Nagu esimesel juhul, annab see meile:

$$\varrho^{2/3} \cos^2 \frac{\varphi}{3} + \varrho^{2/3} \sin^2 \frac{\varphi}{3} = \varrho^{1/3} \cos \frac{\varphi}{3}. \quad (4.39)$$

Seega

$$\varrho^{1/3} = \cos \frac{\varphi}{3}, \quad (4.40)$$

mis on joonisel 3 näidatud kujuga kõveraks<sup>1</sup>. Viirutatud



Joon. 3.

piirkond kujutab sisepunkte. Igasugune tagasisidestus kor-  
dajaga, mis ületab  $1/2$ , on võimatu. Vastav  $a(\tau)$  on:

$$a(\tau) = \tau^2 e^{-\tau/k} / 2k^3. \quad (4.41)$$

Lõpuks, olgu meie operaator, mis vastab  $A$ -le, lihtsaks  
viivituseks  $T$  ajaühiku võrra. Siis

$$A(z) = e^{-Tz}, \quad (4.42)$$

ja omakorda

$$u + iv = e^{-Tiy} = \cos Ty - i \sin Ty. \quad (4.43)$$

<sup>1</sup> Kõverat  $\varrho^{1/3} = \cos \frac{\varphi}{3}$  nimetatakse Cayley' \* 6. järgu kõveraks (inglise matemaatiku A. Cayley' nime järgi). Niihästi kardioid kui ka Cayley' 6-nda järgu kõver osutuvad niinimetatud siinusspiraalide eri-juhaks. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

Kõver (4.17) on ühikring ümber koordinaatide alguse, joonistatud koordinaatide alguse ümber kellaosuti suunas ühikkiirusega. Selle kõvera siseala osutub sisealaks tavalises mõttes ja tagasisidestuse tugevuse piirväärtuseks peaks olema 1.

On olemas väga huvitav järeldus, mille sellest võib teha. Operaatori  $1/(1+kz)$  puhul osutub võimalikuks tasakaalustada meelevaldselt tugeva tagasisidestusega, mis annab meile suuruse  $A/(1+\lambda A)$  nii lähedasena väärtusele 1, kui me soovime, nii laias sagedusalas, nagu me soovime. Seega on võimalik tasakaalustada kolme üksteisele järgneva seda liiki operaatori korral kolme või isegi kahe üksteisele järgneva tagasisidestusega. Kuid operaatori  $1/(1+kz)^3$  korral, mis on kolme järgemisi korduva operaatori  $1/(1+kz)$  kokkusobituseks, ei ole üheainsa tagasisidestuse abil siiski võimalik tasakaalustada nii täpselt, kui me soovime. Operaatori  $1/(1+kz)^3$  võib ka kirjutada kujul:

$$\frac{1}{2k^2} \frac{d^2}{dz^2} \frac{1}{1+kz}, \quad (4.44)$$

ja käsitada teda kolme esimese astme nimetajaga operaatori aditiivse kompositsiooni piirväärtusena. Seega selgub, et summa erisugustest operaatoritest, millest igaühte on võimalik tasakaalustada, nii hästi kui me soovime, üheainsa tagasisidestusega, ise sel teel tasakaalustatav ei ole.

McColli märkimisväärses raamatus leidub näide keerukast süsteemist, mida saab stabiliseerida kahe tagasisidestusega, mitte aga üheainsaga. Tegemist on laeva tüürimisega vurrkompassi abil. Nurk roolimehe poolt seatud ja kompassi poolt näidatava kursi vahel avaldub tüüri pöörämises, mis laeva edasilikumise tõttu tekitab pöördemomendi, mis põhjustab laeva kursi muutumist sellisel viisil, et erinevus seatud kursi ja tegeliku kursi vahel väheneks. Kui seda tehakse otseselt ühe roolimasina ventiilide avamisega ja teise ventiilide sulgemisega niisugusel viisil, et tüüri pöördumiskiirus on võrdeline laeva kõrvalekaldumisega oma kursilt, siis olgu märgitud, et tüüri asendinurk on ligikaudu võrdeline laeva pöördemomendiga ja seega ka tema nurkkiirendusega. Järelikult on laeva pöördeulatus võrdeline kursist kõrvalekalde kolmanda tuletise negatiivse väärtusega, ja operaatoriks, mida meil tuleb vurrkompassilt saadava tagasisidestuse teel stabiliseerida, osu-

tub  $kz^3$ , kus  $k$  on positiivne. Seega saame oma kõvera (4.17) kohta:

$$u + iv = -kiy^3, \quad (4.45)$$

ja kuna vasak pooltasapind on sisepiirkonnaks, siis ei suuda mitte mingisugune jälgivseade seda süsteemi stabiliseerida.

Selles seletuses oleme me tüürimise küsimuse natuke liiga lihtsustanud. Tegelikult esineb teataval määral hõõrdumist ja laeva pöörav jõud ei määra mitte kiirendust. Selle asemel, kui  $\theta$  on laeva asendinurk ja  $\varphi$  tüüri asendinurk laeva suhtes, me saame:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = c_1 \varphi - c_2 \frac{d\theta}{dt} \quad (4.46)$$

ja

$$u + iv = -k_1 iy^3 - k_2 y^2. \quad (4.47)$$

See kõver on avaldatav kujul

$$v^2 = -k_3 u^3, \quad (4.48)$$

mida siiski ei saa stabiliseerida mingi tagasisidestusega. Kui  $y$  muutub  $-\infty$  kuni  $\infty$ , siis  $v$  muutub  $\infty$  kuni  $-\infty$ , ja kõvera *siseala* on vasakul.

Kui aga teiselt poolt on tüüri *asend* võrdeline kõrvalekaldega kursist, osutub tagasisidestusega stabiliseeritavaks operaatoriks  $k_1 z^2 + kz$  ja (4.17) on

$$u + iv = -ky^2 + k_2 iy. \quad (4.49)$$

Selle kõvera võib kirjutada kujul

$$v^2 = -k_3 u, \quad (4.50)$$

kuid sel juhul muutub  $v$  samuti nagu  $y$   $-\infty$  kuni  $\infty$  ja kõver on kujundatav alates  $v = -\infty$  kuni  $v = \infty$ . Niisugusel juhul on kõvera *välisala* vasakul ja osutub võimalikuks piiramata võimendusmäär.

Et seda saavutada, võime kasutusele võtta teise tagasisidestusastme. Kui me reguleerime roolimasina ventiilide asendit mitte lahkumineku järgi tegeliku ja soovitud kursi vahel, vaid *erinevuse* järgi selle suuruse ja tüüri asendinurga vahel, siis me saame säilitada rooli asendinurga nii lähedaselt võrdelisena laeva kõrvalekaldumisega tõeliselt kursilt, nagu soovime, kui me lubame küllalt tugevat taga-

sisidestust — see tähendab, kui me avame ventiilid küllalt palju. See juhtimise kaksiktagasisidestussüsteem on tegelikult üks tavalisemaid vurrkompassi abil laevade automaatseks roolimiseks kasutatavaid.

Inimese kehas kutsub käe või sõrme liigutamine esile paljude liigete koostöö. Väljeks on kõigi nende liigete väljete vektoriaalne summa. Me oleme näinud, et selletaolist terviklikku liitsüsteemi üldiselt üksiku tagasisidestuse abil stabiliseerida ei saa. Sellele vastavalt vajab tahtele alluv tagasisidestus, mille abil me korraldame mingi liigutuse sooritamist sel teel, et jälgime, mil määral ta pole veel lõpule viidud, toetust teistelt tagasisidestustelt. Neid me nimetame kehaasendi tagasisidestusteks<sup>1</sup> ja nad on seoses lihaskonna üldise pinguse\* säilitamisega. Just tahtele alluv tagasisidestus ongi selleks, mis ilmutab kalduvust kokkuvarisemiseks või saab häiritud väikeaju kahjustuse puhkudel, kuna aga sellest tulenevat lihasteväriinat ei ilmne ilma, et ravivajaja püüaks sooritada tahtlikku liigutust. See intentsioonitreemor, mille all kannatav ravivajaja ei saa tõsta klaasi veega ilma seda maha läigitamata, on oma loomult väga erinev lihaste värisemisest Parkinsoni tõve ehk *paralysis agitans*\* korral, mis ilmneb oma kõrge iseloomulikumal kujul, kui ravivajaja püsib rahulikult, ja näib sageli tegelikult märksa leevenduvat, kui ta püüab sooritada mingit erilist liigutust. On olemas Parkinsoni tõvega kirurge, kes saavad opereerimisega hakkama täiesti tõhusalt. Parkinsoni tõve algpõhjus peitub teatavasti mitte väikeaju kahjustatud seisundis, vaid ta on tingitud mingist patoloogilisest\* fookusest\* kuskil tagaajus. Ta on vaid üheks kehaasendi tagasisidestuste haigestustest ja neist paljude algpõhjus näib peituvat närvisüsteemi väga mitmesuguselt paiknevate osade kahjustustes. Füsioloogilise küberneetika üks suuri ülesandeid on selle tahteliste ning kehaasendite tagasisidestuste kompleksi eri osade asukohtade lahtiharutamine ja üksteisest eraldamine. Seda liiki liitreflekside näideteks on sügami- ja kõndimisrefleks.

Kui tagasisidestus on võimalik ja püsiv, siis on tema eeliseks, nagu me juba oleme maininud, et ta muudab talitluse vähem sõltuvaks koormusest. Eeldagem, et koormus

<sup>1</sup> Füsioloogias tuntakse neid *asendireflekside* nimetuse all. (Toim.)

muudab iseloomustavat tunnust  $A$  väärtuse  $dA$  võrra. Suh-  
teliseks muutuseks on  $dA/A$ . Kui operaator pärast tagasi-  
sidesüst on

$$B = \frac{A}{C+A}, \quad (4.51)$$

siis saame:

$$\frac{dB}{B} = \frac{-d\left(1 + \frac{C}{A}\right)}{1 + \frac{C}{A}} = \frac{\frac{C}{A^2} dA}{1 + \frac{C}{A}} = \frac{dA}{A} \cdot \frac{C}{A+C}. \quad (4.52)$$

Seega sobib tagasisidesüst selleks, et vähendada süsteemi  
sõltuvust mootori tunnustest ja sobib selleks, et stabilisee-  
rida teda kõigil sagedustel, millel

$$\left| \frac{A+C}{C} \right| > 1. \quad (4.53)$$

Teiste sõnadega, kogu rajajoon välis- ja sisepunktide  
vahel peab olema seespool ringi, mis raadiusega  $C$  ümbrit-  
seb punkti  $-C$ . Seda ei esine isegi esimesel meie poolt  
käsitletud juhul. Tugeva negatiivse tagasisidesüsteemi mõju,  
kui ta on vähegi stabiilne, avaldub selles, et ta suurendab  
süsteemi stabiilsust madalsagedustel, kuid peamiselt sta-  
biilsuse arvel mingitel kõrgsagedustel. Esineb palju juhtu-  
meid, mil isegi see stabiliseerimismäär osutub soodsaks.

Väga tähtsaks küsimuseks, mis kerkib seoses ülemäära  
suurest tagasisidesüsteemist tingitud võngetega, on küsimus  
algava võnkumise sagedusest. See on määratud  $y$  väärtu-  
sega liikmes  $iy$ , mis vastab kõvera (4.17) sise- ja välisala  
rajajoone punktile, mis paikneb negatiivsel  $u$ -teljel kõige  
kaugemal vasakul. Suurus  $y$  on muidugi sageduse iseloo-  
muga.

Oleme nüüd jõudnud lõpule oma algelise arutlusega  
lineaarsetest võnkumistest, mida me õppisime tundma  
tagasisidesüsteemide vaatekohalt. Lineaarsel võnkesüsteemil on  
teatud väga erilised omadused, mis iseloomustavad tema  
võnkumisi. Üheks osutub see, et juhul, kui ta võngub, siis  
tema võngetel võib olla ja üsna tavaliselt — sõltumatute  
ühenaegsete võnkumiste puudumisel — ongi kuju

$$A \sin(Bt+C)e^{Dt}. \quad (4.54)$$

Perioodilise mittesiinuselise võnkumise olemasolu on alati vihjeks vähemalt sellele, et ilmsiks tulev muutuja on üheks neist, mille suhtes süsteem pole lineaarne. Mõningatel juhtudel, kuigi väga vähestel, võib süsteemi muuta taas lineaarseks sõltumatu muutuja uue valiku teel.

Teiseks väga oluliseks erinevuseks lineaarsete ja mitte-lineaarsete võnkumiste vahel on see, et esimeste puhul on võnkeamplituud täiesti sõltumatu sagedusest, kuna aga teiste puhul esineb tavaliselt üksainus amplituud või kõige rohkem sõre hulk amplituude, millega süsteem võnguks mingil antud sagedusel samuti nagu sõre hulk sagedusi, millel süsteem saaks võnkuda. Piltlikult võib seda väga hästi selgitada, kui õppida tundma, mis toimub oreliviles. On olemas kaks teooriat orelivile kohta — ligikaudne lineaarne teooria ja täpsem mittelineaarne teooria. Esimeses käsitletakse orelivilet konservatiivse süsteemina. Ei püstitatagi küsimust selle kohta, kuidas vile võnkuma hakkas, ja võngete tase on täiesti määramata. Teises teoorias vaadatakse võngetele oreliviles kui hajuvale energiale ja selle energia algpõhjus arvatakse peituvat õhu voolamises üle vile huuliku. Tõepoolest on olemas teoreetiline püsivseisund õhu voolamises üle vile huuliku, mis ei põhjusta mingit energia vahetumist vile mingisuguste võngetega, kuid teatud õhuvoolukiiruste kohta on see püsivseisundi olukord ebakindel. Tühisemgi juhuslik kõrvalekaldu mine sellest kutsuks esile energia siirdumise vile ühte või rohkemasse lineaarsesse omavõnkumisse; ja kuni teatud määrani see liikumine tegelikult suurendab vile omavõngete sidestust energia sisendusega. Energia sisenduse määral ja soojuslikust hajumisest või muust tingitud energia väljutuse määral on erisugused kasvamise seadused, kuid et jõuda võnkumise püsivseisundisse, peavad need kaks suurust olema samaväärsed. Seega on mittelineaarse võnkumise tase kindlaks määratud sama selgesti nagu tema sageduski.

Käsitletud juhtum on näiteks selle kohta, mida tuntakse relaktsioonvõnkumisena\*: juhtum, mis esineb, kui ajas toimuvale lükkele invariantne võrrandite süsteem viib lahendusele, mis on perioodiline või vastab mingile üldistatud arusaamisele perioodilisusest ajas ning on määratud amplituudilt ja sageduselt, mitte aga faasilt\*. Juhul, mida me oleme arutlenud, osutub süsteemi võnkumise sagedus lähedaseks süsteemi mingi nõrgalt sidestatud,

peaaegu lineaarse osa omaga. B. van der Pol \*, üks peamisi autoriteete relaksatsioonvõnkumiste alal, on rõhutanud, et mitte alati pole olukord niisugune ja et tegelikult esineb ka relaksatsioonvõnkumisi, mille puhul põhisagedus pole mitte lähedane süsteemi mingi osa lineaarvõnkumise sagedusele. Näitena on toodud gaasijoa voolamine välisõhule avatud kambrisse, milles põleb alaliselt väike gaasileek; kui gaasi sisaldus õhus saavutab teatud kriitilise väärtuse, võib süsteemis tekkida plahvatus gaasileegist süttimise teel ning aeg, mis kulub, kuni see aset leiab, sõltub vaid põletusgaasi voolamiskiirusest, kiirusest, millega immitseb õhku sisse ja põlemissaadused immitsevad välja, ning põletusgaasi ja õhu plahvatava segu protsendilisest koostisest.

Üldiselt on mittelineaarsete võrrandsüsteemide raske lahendada. On siiski olemas eriliselt käsitletav juhtum, mille puhul süsteem erineb mingist lineaarsest süsteemist ainult vähesel määral, ja liikmed, mis teda eristavad, muutuvad nii aeglaselt, et neid võib pidada ühe võnkeperioodi vältel oluliselt konstantseteks. Sel juhul võime mittelineaarset süsteemi tundma õppida nii, nagu oleks ta aeglaselt muutuvate parameetritega lineaarne süsteem. Süsteemide kohta, mida võib sel teel tundma õppida, öeldakse, et nad on sekulaarselt häiritud, ja sekulaarselt häiritud süsteemide teooria etendab kõige tähtsamat osa gravitatsiooniastronoomias\*.

On täiesti võimalik, et mõningaid füsioloogilisi lihastevärinaid võib teatava ligikaudsusega käsitada sekulaarselt häiritud lineaarsete süsteemidena. Me võime taolises süsteemis täitsa selgesti näha, miks võiks püsivseisundi amplituudi tase olla samuti määratud nagu sageduski. Olgu üheks koostisosaks taolises süsteemis võimendi, mille võimendus väheneb samavõrra nagu taolise süsteemi sisandi pikaajaline keskväertus kasvab. Niisiis kui süsteemi võnkumine kasvab, võib võimendus väheneda, kuni on saavutatud tasakaaluseisund.

Mittelineaarsete relaksatsioonvõnkumiste süsteemide mõningatel juhtudel tundma õpitud Hilli \* ja Poincaré<sup>1</sup> poolt väljaarendatud meetoditel. Selliste võnkumiste tundmaõppimise klassikalisteks juhtudeks on need, mille puhul

<sup>1</sup> Poincaré, H.\*, Les Méthodes Nouvelles dans la Mécanique Céleste.

süsteemi võrrandid osutuvad diferentsiaalvõrrandeks, eriti kui need diferentsiaalvõrrandid on madalat järku. Niipalju kui meil on teada, pole olemas ühtegi samaväärset täiesti võrdset tutvumist vastavate integraalvõrranditega, mispuhul süsteem sõltub oma tulevases käitumises kogu oma minevasest käitumisest. Siiski pole raske üldjoontes kavandada, millise kuju niisugune teooria võtaks, eriti kui me otsiksime ainult perioodilisi lahendeid. Sel juhul põhjustaks võrrandi konstantide vähene muutus väikest ja seetõttu peaaegu lineaarset liikumisvõrrandite muutust. Olgu näiteks  $\text{Op}[f(t)]$  funktsioon  $t$ -st, mis tuleneb mittelineaarsetest tehest  $f(t)$  suhtes ja mis on allunud lükkele. Siis  $\text{Op}[f(t)]$  variatsioon\*  $\delta\text{Op}[f(t)]$ , mis vastab  $f(t)$  variatsioonilisele muutusele  $\delta f(t)$  ja tuntud muutusele süsteemi dünaamikas, on lineaarne, kuid mittehomoogeenne  $\delta f(t)$  suhtes, ehkki mitte  $f(t)$  suhtes. Kui me nüüd teame

$$\text{Op}[f(t)] = 0 \quad (4.55)$$

lahendit  $f(t)$  ja muudame süsteemi dünaamikat, saame  $\delta f(t)$  kohta lineaarse ebahomoogeenise võrrandi. Kui

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} a_n e^{in\lambda t} \quad (4.56)$$

ja  $f(t) + \delta f(t)$  on ka perioodiline, omades kuju:

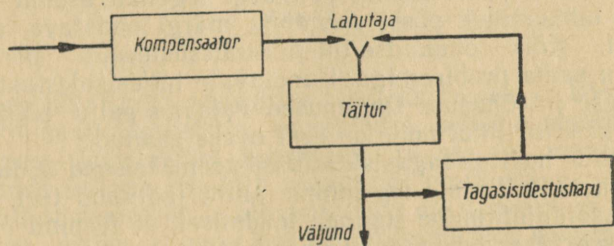
$$f(t) + \delta f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} (a_n + \delta a_n) e^{in(\lambda + \delta\lambda)t}, \quad (4.57)$$

siis

$$\delta f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} \delta a_n e^{i\lambda n t} + \sum_{-\infty}^{\infty} a_n e^{i\lambda n t} i n \delta\lambda t. \quad (4.58)$$

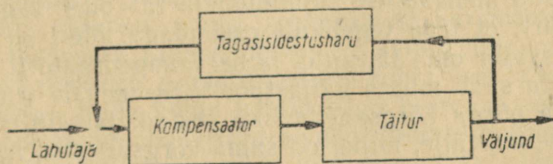
Lineaarsetel võrranditel  $\delta f(n)$  kohta on kõigil kordajad, mis on arendatavad ritta  $e^{i\lambda n t}$  järgi, kuivõrd  $f(t)$  ise võib olla arendatav sellel kujul. Me saame lõpmatu süsteemi lineaarseid mittehomoogeeniseid võrrandeid  $\delta a_n + a_n$ ,  $\delta\lambda$  ja  $\lambda$  suhtes ning see võrrandite süsteem võib olla lahenduv Hilli meetodil. Sel juhul on vähemalt kujuteldav, et lähtudes lineaarsest (mittehomoogeenest) võrrandist ja raja-tingimusi järk-järgult nihutades võime jõuda väga üldkujulisele lahendusele mittelineaarse ülesande kohta relaksatsioonvõnkumistes. See töö siiski kuulub tulevikku.

Teataval määral on selles peatükis käsitletud leidnud juhtimise tagasisidestussüsteemid ja eelmises peatükis käsitletud kompensatsioonisüsteemid võistlejateks. Nad mõlemad on määratud selleks, et viia mingi täituri sisandi ja välje keerukas seos niisugusele kujule, mis ligikaudu sarnaneks lihtsa võrdelisusega. Tagasisidestussüsteem, nagu me oleme näinud, teeb sellest rohkemgi ja tegutseb suhteliselt sõltumatult kasutatava täituri tunnustest ning tunnuste muutustest. Seega sõltub nende kahe juhtimis- meetodi suhteline kasulikkus täituri tunnuste konstantsu- sest. On loomulik eeldada, et esineb juhtumeid, mil osutub otstarbekaks mõlema meetodi üheskoos rakendamine. Selle tegemiseks leidub mitmeid teid. Üht kõige lihtsamat selgi- tab joonisel 4 kujutatud skeem.



Joon. 4.

Selles võib kogu tagasisidestussüsteemi käsitada laiendatud täiturina ning seejuures ei tule esile mingit uut asja- olu, peale selle, et kompensator\* peab olema sobitatud tasakaalustama seda, mis teatavas mõttes kujutab tagasi- sidestussüsteemi keskmist tunnust. Teist tüüpi selline seade on kujutatud joonisel 5.



Joon. 5.

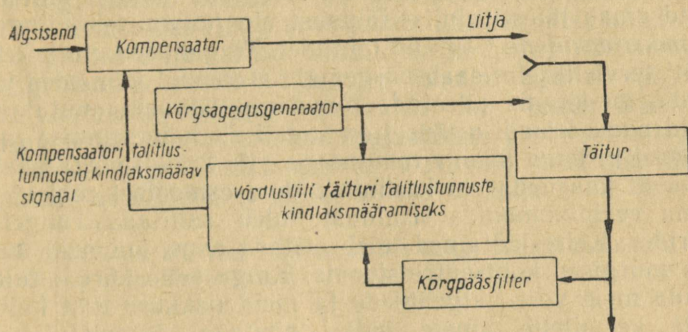
Siin on kompensator ja täitur liidetud ühiseks laialdsemaks täituriks. See muudatus üldiselt muudab lubatavat suurimat tagasisidestust ja pole sugugi hõlpus näha, kuidas oleks võimalik tavaliselt talitada, et tema taset olulise määran tõsta. Teiselt poolt paraneks tagasisidestuse sellisama taseme puhul süsteemi tegutsemine kõige ilmsemalt. Kui täituril näiteks on märgatav viivitumistunnus, osutub kompensator ennetajaks või ennustajaks, mis on määratud tema sisandite statistilise valdkonna jaoks. Meie tagasisidestus, mida me võime nimetada ennetavaks tagasisidestuseks, püüab muuta täiturmehhanismi tegevuse kiiremaks.

Seda üldist tüüpi tagasisidestusi leidub kindlasti inimese ja looma refleksides. Kui me läheme pardijahile, siis pole lahkumiseks, mida me püüame vähendada, mitte lahkuminek püüsi asendi ja märgi tegeliku asendi vahel, vaid lahkuminek püüsi asendi ja märgi oodatava asendi vahel. Kõik õhukaitse-tulejuhtimissüsteemid põrkavad kokku sama probleemiga. Ennetavate tagasisidestuste stabiilsuse ja tõhususe tingimused vajavad palju põhjalikumat käsitlust, kui neile on seni osaks saanud.

Teine huvitav tagasisidestussüsteemi teisend leidub selles viisis, mil moel me juhime autot jäätunud teel. Kogu meie sõidujuhtimine tugineb teadmisel, et teepind on kiilas: see tähendab, teadmisel autost ja teest moodustuva süsteemi talitlustunnuste kohta. Kui me ootaksime, et võiksim selle avastada süsteemi tavalise käitumise kaudu, leiaksime end libisemas enne, kui me seda taipame. Seejärel me anname roolile rea väikseid kiireid tõukeid, mis pole küllaldased selleks, et paisata autot lausa libisema, kuid on täiesti küllaldased, et teatada meile kinesteetiliste aistingute kaudu, kas auto on libisemisohus, ja vastavalt sellele kohaldame oma roolimisi.

Sellele juhtimisviisile, mida me võiksim nimetada *juhtimiseks teadustava tagasisidestuse teel*, pole raske kavandada mehaanilist kujundust ja ta võiks väga hästi olla väärt, et teda tegelikult rakendada. Meil on olemas kompensator oma täiturile, ja sel kompensatoril on tunnus, mida saab muuta väljastpoolt. Sisenevale teatele me ülestame nõrga kõrgsagedusliku sisandi ja täituri väljast eraldame osavälje, millel on sama kõrgsagedus, lahutades selle välje muust sobiva filtri abil. Me uurime kõrgsagedusliku välje amplituudi ja faasi suhet sisandiga, et

leida täituri talitlustunnuseid. Selle alusel me muudame sobivas mõttes ka kompensatori tunnuseid. Süsteemi tegutsemist selgitab joonisel 6 kujutatud diagramm.



Joon. 6.

Seda tüüpi tagasisidestuse eelisteks on see, et kompensatorit saab täpsustada, saavutades sellega stabiilsuse igasugusel konstantsel koormusel, ja see, et juhul, kui koormuse iseloom muutub algsisandi muutustega võrreldes küllalt aeglaselt — selliselt, mida me nimetasime sekulaarseks viisiks — ning kui koormusolukorra selgitamine toimub täpselt, siis süsteemil võnkuma hakkamise kalduvust ei ole. On olemas väga mitmeid juhtumeid, mil koormuse muutumine osutub sel viisil sekulaarseks. Näiteks sõltub kahuritorni hõõrdejõud määrdeaine sitkusest ja see omakorda temperatuurist; kuid see sitkus torni väheste pöörete jooksul märgatavalt ei muutu.

Muidugi toimib see teadustav tagasisidestus hästi ainult siis, kui koormuse tunnused kõrgsagedustel on samasugused või ilmutavad suurt sarnasust tema tunnustega madalsagedustel. Niisugune olukord esineb sageli, kui koormuse ja järelkult ka täituri iseloom on tingitud suhteliselt vähesest arvust muutuvatest parameetritest.

See teadustav tagasisidestus ja näited, mis me tõime kompensatoritega tagasisidestuse kohta, on ainult erijuhtumiteks, mille kohta kehtib väga keerukas teooria, ja seda teooriat on alles puudulikult tundma õpitud. Kõgu sellel alal on toimumas väga kiire areng. Ta väärib lähemas tulevikus palju suuremat tähelepanu.

Enne kui me selle peatüki lõpetame, ei tohi me unustada tagasisidestuse põhimõtte teist tähtsat füsioloogilist rakendust. Suur hulk olukordi, milles mõnda liiki tagasisidestus mitte ainult esineb füsioloogilise nähtuse näitena, vaid omab täiesti olulist jätkamiseks, ilmneb *homöostaasidena* \* tuntud juhtudel. Tingimused, millel elu, eriti tervislik elu, saab kõrgemale arenenud loomades jätkuda, on kaunis piiratud. Kehatemperatuuri muutumine vaid poole kraadi ulatusel on tavaliselt haigestumise tunnuseks ja tema püsiva muutusega viie kraadi võrra saaks vaevalt kaasneda elu kestmine. Vere osmootset rõhku\* ja tema vesinikuioonide sisaldust tuleb säilitada rangetes piirides. Keha jääained tuleb eritada enne, kui neid kuhjub mürgises kontsentratsioonis. Kõige selle kõrval tuleb hoida meie vere valgeliblede ja meid nakkuse eest kaitsvate keemiliste ainete hulka nõutaval tasemel; meie südame tuksumine ei tohi olla liiga kiire ega ka liiga aeglane, samuti nagu vererõhk ei tohi olla liiga kõrge ega liiga madal; meie suguline tsükkel peab olema kooskõlas soo jätkamise tõuliste vajadustega; meie kaltsiumi ainevahetus peab olema selline, et ei pehmeneks meie luud ega lubjastuks meie koed; ja nii edasi. Lühidalt, meie sisemajandus peab sisaldama terve valiku termostaate, automaatseid vesinikuioonide sisalduse kontrollimise vahendeid, regulaatoreid ja muud taolist, mis võiksid rahuldada suure keemiatehase nõudeid. Need kõik kokku moodustavadki selle, mida me mõistame oma homöostaatilise talitlusena.

Meie homöostaatilistel tagasisidestustel on põhiline erinevus meie tahtelistest ja asendi tagasisidestustest: neil on kalduvus toimida aeglasemalt. Esineb väga vähe muutusi füsioloogilise homöostaasina — isegi mitte aju aneemia\* puhul, mis kutsuksid esile tõsise või püsiva kahjustuse sekundi väikese murdosa jooksul. Ühtlasi on homöostaasiprotsesside jaoks varutud närvikiud, mis kuuluvad sümpaatilisse\* ja parasümpaatilisse\* süsteemi, sageli müeliinkestata\*, ning on teada, et neil on tunduvalt väiksem juhtekiirus kui müeliinkiududel. Tüüpiliste homöostaasi efektorite — silelihaste ja näärmete — tegevus on samuti aeglasem, võrreldes vöödiliste lihastega, mis on tüüpilisteks tahtele alluva ja asendit säilitava tegevuse efektoriteks. Paljud homöostaatilise süsteemi teated antakse edasi mittenärvikanalite kaudu — südame lihasekiudude vahetu anastomoosi kaudu või keemiliste käskjalgadega,

nagu seda on hormoonid\*, vere süsihappegaasisisaldus jne.; välja arvatud südamelihased, on ka need üldiselt aeglasemateks juhtevahenditeks kui närvide müeliiniid.

Mingi täielik küberneetika õpik peaks sisaldama põhjalikku homöostaatiliste protsesside üksikasjalist käsitlemist, mille paljud erijuhud on leidnud kirjanduses käsitlemist üsnagi üksikasjaliselt<sup>1</sup>. Käesolev raamat aga on pigem sissejuhatuseks sellesse ainevalda kui kokkuvõtlikuks uurimuse kirjelduseks ja homöostaatiliste protsesside teooria eeldab liiga üksikasjadesse ulatuvaid teadmisi üldfüsioloogias selleks, et siinkohal ruumi leida.

---

<sup>1</sup> Cannon, W., The Wisdom of the Body; Henderson, L. J., The Fitness of the Environment.

## ARVUTID JA NÄRVISÜSTEEM

Arvutid on olulise tähtsusega masinad, mis on määratud selleks, et talletada arve, sooritada tehteid arvudega ja anda tulemusi arvude kujul. Väga tunduv osa neile tehtavatest kulutustest nihästi rahas kui ka ehitamise töövaeva poolest kulub selleks, et lahendada lihtsat küsimust, kuidas arve selgesti ja täpselt talletada. Kõige lihtsam viis seda teha näib peituvat ühtlases astmikus koos seda mööda liikuva mingisuguse osutiga. Kui me tahame talletada mingi arvu täpsusega  $1/n$ , peame tagama, et igas astmiku piirkonnas võtaks osuti soovitud asendi sellesama täpsuse ulatuses. See tähendab, et informatsioonikoguse puhul  $\log_2 n$  tuleb meil lõpetada osuti liikumise iga järk selle täpsusmääraga, ja kulutused avalduksid kujul  $An$ , kus  $A$  kuigi palju ei erine mingist konstandist. Veelgi selgemalt öeldes, kuna juhul, kui  $n-1$  piirkonda on täpselt kindlaks tehtud, on ülejäänud piirkond samuti täpselt määratud, siis on kulutus teatavas koguses informatsiooni  $I$  talletamiseks umbkaudu

$$(2^I - 1)A. \quad (5.01)$$

Jagatagu nüüd see informatsioon kahele astmikule, millest kummalgi pole väga täpne jaotus. Selle informatsiooni talletamise kulutuseks on umbkaudu

$$2(2^{I/2} - 1)A. \quad (5.02)$$

Kui see informatsioon oleks jagatud  $N$  astmiku vahel, oleks ligikaudseks kulutuseks

$$N(2^{I/N} - 1)A. \quad (5.03)$$

See osutub vähimaks, kui

$$2^{I/N} - 1 = \frac{I}{N} 2^{I/N} \ln 2 \quad (5.04)$$

või, kui me võtame

$$\frac{I}{N} \ln 2 = x, \quad (5.05)$$

siis juhul, kui

$$x = \frac{e^x - 1}{e^x} = 1 - e^{-x}. \quad (5.06)$$

Seda juhtub siis ja ainult siis, kui  $x=0$  või  $N=\infty$ . Tähen-  
dab  $N$  peaks olema nii suur kui võimalik, et põhjustada  
vähimat kulutust informatsiooni salvestamiseks. Olgu  
mainitud, et  $2^{1/N}$  peab olema täisarv, ja et 1 osutuks mõt-  
tetuks väärtuseks, sest meil selle puhul oleks lõpmatu hulk  
astmikke, millest ükski mingit informatsiooni ei sisaldaks.  
Kõige mõeldavamaks väärtuseks  $2^{1/N}$  kohta on 2, mille  
puhul me talletame oma arvu hulgal sõltumatutel astmi-  
kel, millest igaüks jaguneb kaheks ühesuguseks osaks.  
Teiste sõnadega, me väljendame oma arve kahendsüsteem-  
is hulgas astmikes, kusjuures kõik, mida me teame, piir-  
duub sellega, et teatav suurus leidub astmiku kahest ühe-  
väärsest osast kas ühes või teises, kusjuures tõenäosus sel-  
leks, et me võiksime puudulikult teada, millisesse astmiku  
poolde tähendus kuulub, on muutunud kaduvväikseks.  
Teiste sõnadega, me väljendame mingi arvu  $\nu$  sellisel  
kujul:

$$\nu = \nu_0 + \frac{1}{2} \nu_1 + \frac{1}{2^2} \nu_2 + \dots + \frac{1}{2^n} \nu_n + \dots, \quad (5.07)$$

kusjuures iga  $\nu_n$  on kas 1 või 0.

Praegusel ajal on olemas kahte olulist tüüpi arvuteid:  
sellised, nagu Bushi diferentsiaalanalüsaator<sup>1</sup>, mida tun-  
takse *analoogarvutitena*\*, milles andmed on esitatud näi-  
tudena mingil pideval astmikul, nii et arvuti täpsuse mää-  
rab astmiku ehituse täpsus; ja sellised, nagu tavaline  
lauale paigutatav liitmise ning korrutamise masin, mida  
me nimetame *numbrilisteks arvutiteks*, milles andmed on  
esitatud valikute hulgana suure arvu võimaluste seas; ja  
täpsuse määrab see teravus, millega võimalused on eris-  
tatavad, igal valikul ilmnevate teineteist vastastikku välis-  
tavate võimaluste arv ning antud valikute arv. Me näeme,

<sup>1</sup> «*Journal of the Franklin Institute*», mitmesugused kirjutised  
alates 1930.

et ülimalt täpseks tööks on igal juhul eelistatavamateks numbrilised arvutid ja eelkõige sellised numbrilised arvutid, mis on ehitatud kahendastmiku alusel, milles igal valikul ilmnevate teineteist vastastikku välistavate võimaluste arv on kaks. Meie kümnendastmikuga arvutite kasutuselolek on tingitud üksnes ajaloolisest juhusest, et kümne astmik, mis põhineb meie sõrmedel ja põialdel, oli juba käibel, kui hindud tegid suure avastuse nulli tähtsuse ja positsioonisüsteemi eelise kohta. Teda tasub säilitada, kui suur osa arvuti abil tehtud tööst seisneb talle arvude ümberkirjutamises tavakohasel kümnendkujul ja temast arvude väljavõtmises, mis tuleb kirjutada sellelsamal tavakohasel kujul.

Nii on tegelikult olukord tavalise lauaarvuti kasutamisega, mis leiab rakendust pankades, ametiasutustes ja paljudes arvutuskeskustes. Kuid see ei ole mitte viisiks, kuidas oleks kõige parem rakendada suurimaid ja rohkem automaatseid arvuteid; üldiselt leiab igasugune arvuti kasutust seepärast, et masinmenetlused on kiiremad kui käsimenetlused. Igasugusel arvutamise vahendite kombineeritud kasutamisel, nagu igasuguse keemiliste reaktsioonide kombinatsiooni korralgi, määrab terviksüsteemi ajakonstantide suurusjärgu kõige aeglasem aste. Seepärast on soodne kõrvaldada niipalju kui võimalik igasugusest täiuslikust arvutamise ahelikust inimsugemed ja need sisse tuua ainult seal, kus see on täielikult vältimatu — päris alguses ja päris lõpus. Neil tingimustel tasuks omada tähistusastmiku muutmiseks riista, mis oleks kasutatav arvutamisaheliku alguses ning lõpus, ja sooritada kõik vahepealsed tehted kahendastmikuga.

Täiuslik arvuti peab seega saama kõik oma andmed algul sissepandutena ja peab olema inimese vahelesegamisest nii vaba kui võimalik kuni päris lõpuni. See tähendab, et kohe algul tuleb sisse panna mitte ainult numbrilised andmed, vaid ka kõik juhised nendega kooskõlastatult tegelemiseks juhendite kujul, mis sisaldavad igasugust arvutamiskäigus kerkida võivat olukorda. Seega peab arvutusmasin olema niihästi loogiline masin kui ka aritmeetiline masin ja peab kombineerima võimalusi kooskõlas mingi süstemaatilise algoritmiga\*. On küll olemas palju algoritme, mida *võidak*s kasutada võimaluste kombineerimiseks, ent lihtsaimat neist tuntakse loogika algebrana *par excellence*\* ehk Booli algebrana. See algoritm,

samuti nagu kahendaritmeetika, põhineb dihhotoomial\* — valimisel *jah* ning *ei* vahel, valimisel mingisse klassi kuulumise ja sellest väljaspool olemise vahel. Põhjused tema üleolekuks teistest süsteemidest on sellesama iseloomuga nagu põhjused kahendaritmeetika üleolekuks teistest aritmeetikatest.

Niisiis esinevad kõik arvutisse sisendatud andmed, niisasti numbrilised kui ka loogilised, kahe teineteist välistavate võimaluste vaheliste valikute hulga kujul; ja kõik tehted andmetega omandavad sellise kjuu, et nad muudavad uute valikute hulga sõltuvaks vanade valikute hulgast. Kui ma liidan kaks ühekohalist arvu  $A$  ja  $B$ , saan ma kahekohalise arvu, mis algab 1-ga, kui  $A$  ja  $B$  mõlemad on 1, vastasel juhul aga 0-ga. Teiseks kohaks on 1, kui  $A \neq B$ , ja vastasel juhul 0. Rohkem kui ühe kohaga arvude liitmine allub sellega sarnastele, kuid keerukamatele juhistele. Korrutamise kahendsüsteemis, samuti nagu kümnendsüsteemiski, võib taandada korrutamistabelile ning arvude liitmisele; seejuures omandavad kahendarvude korrutamise juhised eriti lihtsa kjuu, mis on väljendatav tabelina:

$$\begin{array}{c|c} \times & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{array} \quad (5.08)$$

Seega on korrutamine lihtsalt toiminguks, millega määratakse uute numbrite hulk, kui on antud esialgsed numbrid.

Loogilisest küljest, kui  $O$  on eitav ja  $I$  jaatav otsustus, võib iga tehte tuletada kolmest: *eitusest*, mis teisendab  $I$   $O$ -ks ja  $O$   $I$ -ks; loogilisest liitmisest, mis on väljendatav tabelina:

$$\begin{array}{c|c} \oplus & O & I \\ \hline O & O & I \\ I & I & I \end{array} \quad (5.09)$$

ning loogilisest korrutamisest, mis väljendub sama tabelina nagu numbriline korrutamine süsteemis (1, 0), nimelt:

$$\begin{array}{c|c} \odot & O & I \\ \hline O & O & O \\ I & O & I \end{array} \quad (5.10)$$

See tähendab, et iga võimalus, mis võib masina tegutsedes kerkida, lihtsalt nõuab uut võimaluste *I* ja *O* valiku hulka, mis vastavalt kindlale juhiste hulgalet sõltub juba tehtud otsustustest. Teiste sõnadega, arvuti siseehitus on samasugune nagu releerühmal, millest iga relee on võimeline olema kaheasuguses seisundis, ütlemel «kinni» ja «lahti», kuna aga igas järgus omandavad releed igaüks asendi, mille kirjutab ette mõnede või kõigi rühma kuuluvate releede asend eelnenud tegutsemisjärgus. Mingi keskse kella või mingite kellade abil on võimalik neid tegutsemisjärke täpselt «ajas määratleda»; või iga relee tegutsemist võib hoida tagasi, kuni kõik releed, mis pidid ülesande täitmiseks tegutsema varem, on läbinud kõik nõutavad järgud.

Arvutis võivad leida kasutust väga mitmekesise iseloomuga releed. Nad võivad olla puhtmehaanilised; või nad võivad olla elektromehaanilised, nagu on tegemist näiteks solenoidrelee<sup>1</sup> näol, millel ankur püsib ühes kahest võimalikust tasakaaluasendist, kuni sobiv impulss tõmbab ta teisesele poole. Nad võivad olla puhtelektrilisteks seadmestikeks, millel on kaks teineteist vastastikku välistavat tasakaaluasendit — kas gaastäidisega elektritorude näol või veelgi palju kiiremate kõrgvaakuumtorude näol. Releeseadmestiku kaks võimalikku seisundit võivad välise mõjutuse puududes olla mõlemad püsivad või ainult üks neist võib olla püsiv, kuna teine on ajutine. Teisel juhul alati ja esimesel juhul tavaliselt osutub soovitavaks omada eriseadist, et jäädvustada teatavat impulssi, mis peab mõjuma mingil tulevasel ajal ja vältima seadmestiku kinniummistumist, mis võiks järgneda, kui üks releedest ei tee muud, kui vaid kordab iseenda tegevust lakkamatult. Ent meil tuleb sellest mälusse puutuvast küsimusest kõnelda edaspidi rohkem.

Tähelepanuväärse seigana ilmneb, et inimese ja looma närvisüsteemid, millel teatavasti on võime teha arvutava süsteemi tööd, sisaldavad algosakesi, mis osutuvad täiel määral sobivaiks tegutsema releedena. Nendeks algosakesteks on nõndanimetatud *neuronid* ehk närvirakud. Ehkki nad ilmutavad üsnagi keerukaid omadusi elektri-voolude mõju all, kohanduvad nad oma tavalises füsioloogilises talitluses väga lähedaseks «kõik või mitte sugugi»

<sup>1</sup> Või üldse elektromagnetilise relee näol. (Toim.)

põhimõttele: see tähendab, nad kas puhkavad, või kui nad «erutuvad», toimub neis rida muutusi peaaegu sõltumata ärrituse iseloomust ja tugevusest. Algul esineb talitlusseisund, mis kandub üle neuroni ühest otsast teise kindla kiirusega; sellele järgneb pidurdusjärk, mille vältel neuron kas on võimetu selleks, et saada ärritatud, või igatahes pole võimeline selleks, et saada ärritatud mingi hariliku, füsioloogilise nähtuse käigus. Selle tõhusa pidurdusjärgu lõpul jääb närv tegevusetuks, kuid võib taas talitlema ärritada.

Seega võib närvi pidada releeks, millel on põhiliselt kaks talitlusseisundit: erutus ja puhkus. Jättes kõrvale need neuronid, mis võtavad oma teateid vastu närvilõpmetelt või tundelõppkehakestelt, saab iga neuron oma teateid teistelt neuronitelt puutepunktides, mida tuntakse *sünapsidena*. Mingil teatud lähteneuronil vaheldub nende arv väga vähesest kuni mõnesajani. Saabuvate impulsside seisund mitmesugustes sünapsides koos lähteneuroni enese eelneva seisundiga ongi selleks, mis määrab, kas ta erutub või mitte. Kui ta ei ole erutunud ega pidurdunud ja suubuvate sünapside arv, mis teatava väga lühikese tühise ajavahemiku jooksul «erutades» ületab teatava läve, siis neuron erutub pärast teatud, täiesti konstantset sünaptilist viivitust.

See on võib-olla pildi ülilihtsustamine: «lävi» võib sõltuda mitte lihtsalt sünapside arvust, vaid nende «kaalust» ja nende omavahelisest ruumilisest vahekorrast selle neuroni suhtes, mida nad toidavad; ja on olemas veenev tõend, et esineb erilise loomusega sünapse, nõndanimetatud «pidurdavaid sünapse», mis kas täielikult väldivad väljuva neuroni erutumist või vähemalt tõstavad tema läve võrreldes ärritusega tavalistelt sünapsidelt. Kuid üsna selge on siiski see, et mõned kindlas kombinatsioonis impulsid suubuvatelt neuronitelt, millel on sünaptiline ühendus mingi antud neuroniga, panevad selle erutama, teised aga ei pane teda erutama. Sellega pole tahetud öelda, et ei võiks olla teisi, mitteneuronilisi mõjutusi, võib-olla humoraalse\* iseloomuga, mis tekitavad aeglasi sekulaarseid muutusi, omades kalduvust muuta seda saabuvate impulsside kujundust, mis on kohane erutamiseks.

Väga tähtsaks närvisüsteemi talitluseks, ja nagu me oleme maininud, talitluseks, mida samavõrd nõutakse ka

arvutitelt, on *mälu* — võime säilitada möödunud tegevuste tulemusi, et neid ära kasutada tulevikus. Ilmneb, et mälu kasutamisevõimalused on ülimalt mitmekesised, ja osutub ebatõenäoliseks, et mingi üksik mehhanism võiks rahuldada nende kõigi nõudeid. Esiteks on olemas mälu, mis on vajalik selleks, et viia täide mingit jooksvat tegevust, sellist nagu korrumine, milles vahepealsetel tulemustel pole mingit tähtsust, kui tegevus on kord lõpule viidud, ja mille puhul tuleb tegutsenud seade seejärel vabastada, et teda taas kasutada. Selline mälu peaks kiiresti talletama, olema kiiresti lugev ja olema kiiresti kustutatav. Teisest küljest, on olemas mälu, mis on määratud selleks, et moodustada osa kestvaks talletamiseks ettenähtud salvedes kas arvutil või ajal, ja moodustada lähtealus kogu tema tulevasele käitumisele, vähemalt arvuti üheainsa töökäigu jooksul. Olgu muide märgitud, et üheks oluliseks erinevuseks nende viiside vahel, kuidas me kasutame aju ja arvutit, on see, et arvuti on mõeldud paljudeks üksteisele järgnevatel töökäikudeks, millest ühelgi pole mingit seost iga teisega, või on neil üliväike, piiratud seos, ja et teda on võimalik puhastada selliste töökäikude vahel, kuna aga aju loomulikult teel mitte iialgi, isegi ligikaudselt, ei lahku oma mineviku talletustest. Seega pole aju tavalistel tingimustel mitte täielikuks analoogiks arvutusmasinale, vaid on pigem sellise masina üksiku töökäigu analoogiks. Hiljem me näeme, et sellel tähelepanekul on sügav tähendus psühhopatoloogias\* ja psühhiaatrias\*.

Pöördudes tagasi mälu küsimuse juurde, märgime, et väga rahuldavaks mooduseks lühiajalise mälu ehitamise otstarbel on mööda suletud vooluringi liikuvate impulsside jada alalhoidmine, kuni see vooluringi väljastpoolt sekkumise teel puhastatakse. On palju põhjusi arvata, et seda juhtub meie ajudes mõjutuste jäädvustamise vältel, mida tuntakse näilise olevikuna. Seda moodust on jäljendatud mitmesugustes seadistes, mis on arvutites kasutatust leidnud või mille kasutatavusele on vähemalt vihjatud. On olemas kaks tingimust, mis osutuvad sellistes jäädvustusseadmetes soovitatavateks: impulssi tuleks kanda üle keskkonnas, milles pole väga raske saavutada tunduvalt ajas hilinemist; ja enne kui riista loomupärased vead on teda liiga palju hajutanud, tuleks impulss oma esialgsel kujul nii teravalt kui võimalik taastada. Esimene tingimus viitab sellele, et tuleb tunnistada kõlbmatuiks viivitused,

mida tekitatakse valguse ülekandmise teel või isegi paljudel juhtudel elektrivooluringide abil, kuna ta aga kiidab heaks ühe- või teistsuguse kujuga elastsete võnkumiste kasutamise; ja sellised võnkumised on sel otstarbel arvutites tegelikult rakendust leidnud. Kui viivituse otstarbel kasutada elektrivooluringe, siis on igas järgus tekitatav viivitus suhteliselt lühike; vastasel juhul, nagu igasugustes lineaarsetes seadmetes, osutub teate muutumine kuhjuvaks ja väga pea kujuneb talumatuks. Et seda vältida, tuleb mängu teine kaalutlus; me peame ühendama suletud rajasse kuhugi vahele relee, mis on määratud mitte selleks, et korrata saabuvat teate kuju, vaid pigem selleks, et päästa lahti uus ettemääratud kujuga teade. Seda tehakse väga hõlpsasti närvisüsteemis, kus tõepoolest kogu ülekanne on rohkem või vähem mingiks eriliseks päästikuliseks nähtuseks. Elektrialases tegevuses tuntakse juba ammu selleks otstarbeks määratud seadmeosi, ja nad on olnud kasutusel telegraafilülitustes. Neid tuntakse *telegraafitranslatsioonidena*\*. Suureks raskuseks nende rakendamisel pika kestusega mälu jaoks on see, et neil tuleb tegutseda ilma riknemata tohutu arvu üksteisele järgnevate tegutsemistsüklite kestel. Nende edu on seda enam tähelepanuväärne: seadmes, mille on loonud härra Williams\* Manchesteri Ülikoolist, on seda liiki seadis ühikviivitusega suurusjärgus sajandik sekundit tegutsenud eduga mitmeid tunde lakkamatult. Mis teeb selle veelgi tähelepanuväärsemaks, on asjaolu, et too seade leidis kasutust mitte ainult üksiku otsustuse, üksiku «jah» või «ei», vaid tuhandetest otsustustest koosneva ainestiku säilitamiseks.

Nagu teistsugusedki seadmed, mis on määratud suure arvu otsuste jäädvustamiseks, töötab ka see laotuse põhimõttel. Üks lihtsamaid viise informatsiooni salvestamiseks suhteliselt lühikeseks ajaks on näiteks kondensaatori laadimine; ja kui seda täiendada telegraafitranslatsiooniga, kujuneb tast samaväärne salvestusviis. Et suurimate paremuste saavutamiseks kasutada ära vooluringide võimalusi seoses sellise salvestusseadmestikuga, on soovitatav, et esineks võimalus lülitada järgemööda väga kiiresti ümber ühelt kondensaatorilt teisele. Tavalised vahendid selle tegemiseks kutsuvad esile mehaanilise inertsi, mis aga mitte ilalgi ei sobi kokku väga suure kiirusega. Palju paremaks teeks on kasutada suurt arvu kondensaatoreid,

millel üheks plaadiks on kas väike kogus dielektrikuisse pritsitud metalli või dielektriku enese halvasti juhtiv pind, nende kondensaatorite üheks ühenduseks aga on elektronkiirte kimp, mida laotusvooluringi kondensaatorite ja magnetite abil liigutatakse mööda rada, mis sarnaneb vagudega kintud põllul. Selle mooduse teostamisvõimalusi on olemas mitmesuguseid, mis veidi erisugusel moel on leidnud rakendust firma «Radio Corporation of America» poolt veel enne, kui teda kasutas härra Williams.

Need viimati nimetatud moodused informatsiooni salvestamiseks võimaldavad hoida mingit teadet alal märgatava aja vältel, kuigi mitte nii pikka aega, mis oleks võrreldav inimese elueaga. Püsivamaks talletamiseks on olemas väga mitmekesiseid võimalusi, mille hulgast me võime valida. Jätnud kõrvale sellised kohmakad, aeglased ja mittekustutatavad moodused, nagu on mulgustatud kaartide ja mulgustatud lindi kasutamine, on meil olemas magnetlint koos oma ajakohaste täiustustega, mis tunduvalt väldivad kalduvust teadete laialivalgumiseks sellel materjalil; fosforestseerivad\* ained; ja eelkõige päevapildistus. Viimane on tõepoolest täiuslik oma talletamise püsikindluse ja üksikasjalisuse poolest, täiuslik ka mingi vaatluse talletamiseks vajaliku särituse lühiduse vaatekohalt. Tal on aga kaks tõsist puudust: ilmutamiseks vajalik kestus, mis on küll taandatud vähestele sekunditele, pole siiski küllalt lühike, et teha päevapildistust kõlblikuks lühiaegse mälu jaoks, ja (praegusel ajal) seik, et ülesvõtmise teel talletamine pole kohane kiireks kustutamiseks ja kiireks uue talletuse pealekandmiseks. Eastmani inimesed on töötanud just nende ülesannete kallal, mis ei näi olevat paratamatult lahendamatuiks, ja on võimalik, et tänapäevaks on nad leidnud juba vastuse.

Väga paljudel informatsiooni salvestamise viisidel on juba kujunenud ühine tähtis füüsikaline omadus. Nad näivad sõltuvat süsteemidest, millel esineb väga tunduv mandumismäär ehk, teiste sõnadega, suur arv liike sama sagedusega võnkumisi. See on kindlasti õige ferromagnetismi puhul ja on samuti õige erakordselt suure dielektrilise läbitavusega materjalide puhul, mis on seega eriti vääruslikud kasutamiseks informatsiooni salvestamise kondensaatorites. Ka fosforestsents on erakordseks nähtuseks, millega kaasub väga tunduv mandumismäär; seesama nähtus avaldub ka päevapildistuses, kus paljudel ainetel, mis

toimivad ilmutitena, näib olevat märgatav siseresonants. Mandumismäär näib olevat seoses võimega, et väikesed põhjused kutsuvad esile märgatavaid ja püsivaid tagajärgi. II peatükis me juba nägime, et suure mandumismääraga ainetel näib olevat seos paljude ainevahetuse ja paljunemise probleemidega. Arvatavasti pole juhus, et siin, elutus ümbruskonnas, me avastame neil seose elusaine kolmanda põhilise omadusega — võimega võtta vastu ja korraldada impulsse ning panna neid mõjuma välisilmas.

Me oleme päevapildistuse ja selletaoliste menetluste osas näinud, et teadet on võimalik salvestada teatavate salvestamise algosakeste pideva muutmise näol. Selle informatsiooni taasmahutamisel süsteemi on hädavajalik kutsuda esile olukord, et need muutused mõjutaksid süsteemi läbivaid teateid. Ühe lihtsama teena selle saavutamiseks on vaja omada salvestamiseks selliseid algosakesi, mis osutuksid tavaliselt teadete üleandmisest osavõtivateks muutuvateks osadeks ja oleksid sellise olemusega, et nende iseloomulike tunnuste muutus tingituna salvestamisest mõjutaks kogu tulevikuks seda viisi, kuidas nad teateid edasi toimetavad. Närvisüsteemis on seda liiki algosakesteks neuronid ja sünaptsid ning on täiesti tõenäoline, et informatsiooni salvestatakse pikaks ajaks muutustena neuronite lävedes, või sedasama teiste sõnadega väljendades, teadete suhtes iga sünapsi läbitavuses avalduvate muutustena, mida võib käsitada ka teise teena. Kuna selle ebatavalise nähtuse kohta parem seletus puudub, siis mõtlevad paljud meist, et informatsiooni salvestamine ajus võib tõepoolest toimuda sel teel. Sellise salvestamise suhtes on kujuteldav, et ta leiab aset uute radade avanemise teel või vanade sulgemise teel. Nähtavasti on koos sellega tõestatud, et pärast sündimist ajus neuroneid juurde ei kujune. On võimalik, ehkki mitte kindel, et ka uusi sünapse ei moodustu; ja on üsna tõenäoline oletada, et peamiseks mälu tegevuses esinevaks muutuseks lävedes on nende tõus. Kui olukord on selline, siis kulgeb kogu meie elu Balzaci\* «Sagräännaha» eeskujul ning õppimise ja meenutamise protsess ise ammandab meie võimed õppimiseks ja meenutamiseks, kuni elu ise pillab meie elujõu põhikapitali. Võib olla väga võimalik, et see ebatavaline nähtus tõesti sellisena aset leiab. See on üheks võimalikuks seletuseks teatud liiki raugastumisele. Raugastumise tõeline

olemus on siiski tunduvalt keerukam, et teda saaks ainuüksi sel teel seletada.

Me juba oleme kõnelnud arvutist, ja seoses sellega ka ajast kui loogilisest masinast. Pole hoopiski tühiseks asjaks selgitada, millist valgust heidavad loogikale sellised masinad, niihästi loomulikud kui ka tehislised. Sel otstarbel on peamiseks tööks Turingi oma.<sup>1</sup> Me oleme varemalt maininud, et *machina ratiocinatrix* pole midagi muud kui Leibnizi *calculus ratiocinator*, mis sisaldab endas jõumasinat; ja samuti nagu tänapäeva matemaatiline loogika algab sellest arvutamisest, nii on paratamatu, et tema praegune tehnika areng peab heitma uut valgust loogikale. Tänapäeva teadus on operatsioonaalne<sup>2</sup>: see tähendab, ta käsitab iga väidet oluliselt seostatuna võimalike katsetega või vaadeldavate protsessidega. Vastavalt sellele peab loogika tundmaõppimine taanduma loogilise masina tundmaõppimisele, olgu siis selleks kas närvimasin või mehaaniline masin kõigi oma mittekõrvaldatavate piiratud ja ebatäiuslikkustega.

Mõned lugejad võiksid öelda, et see taandab loogika psühholoogiale, ometi on aga neil kahel teadusel ilmselt nähtav ja ka tõendatav erinevus. See on õige selles mõttes, et paljud psühholoogilised seisundid ja mõttearendused ei ühti loogika vääramatute eeskujudega. Psühholoogia sisaldab palju, mis on võõras loogikale, kuid — ja see on oluliseks seigaks — mitte mingi loogika, millel on meile teatavgi tähtsus, ei saa sisaldada midagi, mida inimmõistus — ja järelikult ka inimese närvisüsteem — oleks võimetu hõlmama. *Kogu loogikat piirab inimmõistuse piiratus, kui see on laskunud tegevusse, mida tuntakse loogilise mõtlemisena.*

Näiteks pühendame me hulgaliselt matemaatikat lõpmatust sisaldavatele arutlustele, kuid need arutlused ja nendega kaasnevad tõestused pole tegelikult lõpmatuseks. Ükski lubatav tõestus ei sisalda rohkemat kui lõplikku arvu arengujärke. Tõepoolest, mingi tõestus matemaatilise induktsiooni\* põhjal näib sisaldavat lõpmatul hulgal arengujärke, kuid see on vaid näiline. Tegelikult sisaldab ta just järgnevaid arengujärke:

<sup>1</sup> Eespool mainitud allikas.

<sup>2</sup> Siin ilmneb, et N. Wiener on ühinenud operatsionalistliku filosoofia seisukohtadega. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

- 1)  $P_n$  on lause\*, mis sisaldab arvu  $n$ ;
- 2)  $P_n$  on tõestatud  $n=1$  suhtes;
- 3) kui on õige  $P_n$ , siis on õige ka  $P_{n+1}$ ;
- 4) järelikult on  $P_n$  õige iga positiivse täisarvu  $n$  kohta.

On õige, et kusagil meie loogiliste eelduste hulgas peab leiduma niisugune, mis muudab selle põhjenduse kehtivaks. Ikkagi on see matemaatiline induktsioon väga erinev asi täielikust induktsioonist lõpmatu hulga ulatusel. Seesama kehtib ka palju peenemakujulise matemaatilise induktsiooni kohta, nagu selleks on transfiniitne\* induktsioon, mida esineb mõnedes matemaatikaharudes.

Seega kujunevad mõned väga huvitavad olukorrad, milles me võime — küllaldase ajaga ja küllaldaste arvutuste abil — tõestada lause  $P_n$  iga üksikut juhtu; kui aga puudub järjekindel tee nende tõestuste subsumeerimiseks\*  $n$ -st sõltumatu üksiku põhjenduse alla, nagu see meil esineb matemaatilises induktsioonis, võib osutada võimatuks tõestada  $P_n$ -ni kõigi  $n$  puhul. Seda võimalust tunnustatakse metamatematikana\* tuntud aines, mille nii hiilgavalt on välja arendanud Gödel\* ja tema koolkond.

Tõestus kujutab loogilist võtet, mis on jõudnud kindlale järeldusele lõplikus arvus arengujärkudes. Ent loogiline masin, mis järgib kindlaid juhiseid, ei tarvitse iialgi jõuda järeldusele. Ta võib erisuguste arengujärkude järel hakata oma tegevust kordama, ilma iialgi peatumata, kas sooritades eeskujust lähtuvat tegevust pidevalt kasvava keerukusega või hakates oma tegevust kordama, nagu esineb male lõppmängus, kus käikude kordamisega tekib igavene tuli. Seda tuleb ette mõnede Gantori ja Russelli paradokside puhul. Käsitagem klassi kõigist klassidest, mis pole iseendi liikmeteks. Kas see klass on iseene liikmeks? Kui ta on, siis ta kindlasti ei ole iseene liikmeks; ja kui ta ei ole, siis ta vastavalt kindlasti on iseene liikmeks. Masin, mis peaks vastama sellele küsimusele, annaks järgmisi ajutisi vastuseid «jah», «ei», «jah», «ei» ning nii edasi, ega saavutaks kunagi tasakaalu.

Bertrand Russelli lahend omaene paradoksidele seisnes selles, et igale väitele tuleb lisandada teatav suurus, niinimetatud tüüp, mille ülesandeks on eristada omavahel neid, mis vormiliselt näivad olevat ühesugused väited, vastavalt nende esemete iseloomule, millega ta ennast esile toob: kas need on lihtsaimas mõttes «asjad», «asjade» klas-

sid, «asjade» klasside klassid jne. Viis, mille põhjal me lahendame paradokse, seisneb ka selles, et omistatakse igale väitele mingi parameeter, ja selleks on aeg, mil ta on väljendatud. Mõlemal juhul me toome sisse midagi, mida me võime nimetada ühtlustusparameetriks, et viimase abil mõtestada lahti kahemõttelisus, mis tuleb panna ainult tema silmapaari vahele jätmise arvele.

Seega me näeme, et masina loogika sarnaneb inimese loogikaga, ja järgides Turingit, me võime teda rakendada selleks, et heita valgust inimese loogikale. Kas masinal on ühtlasi ka veelgi silmapaistvam inimese iseloomulik omadus — võime õppimiseks? Selles veendumiseks, et ta väga hästi võib evida isegi seda omadust, käsitlegem kahte tihedas seoses olevat mõistet: kujutluste aheldumist ja ting-reflekse.

Briti kogemusliku filosoofia koolkonnas alates Locke'ist\* kuni Hume'ini\* arvati mõistuse sisu koosnevat teatavatest entiteetidest, mida Locke nimetas ideedeks, hilisemad autorid aga kujutlusteks ja muljeteks. Lihtsad kujutlused või muljed arvati olelevat sootuks passiivses mõistuses, mis on sama vaba temas sisalduvate kujutluste mõjust nagu puhas tahvel märkidest, mida talle võidakse kirjutada. Mingit liiki sisemise tegevuse kaudu, mis on vaevalt väärt, et teda nimetada jõuks, need kujutlused arvati endid ühendavat kimpudeks, vastavalt sarnasuse, naabruse ja põhjuse ning mõju põhimõtetele. Neist põhimõtetest oli võib-olla kõige tähtsamaks naabus: kujutlused või muljed, mis on sageli esinenud koos kas ajas või ruumis, arvati olevat omandanud võime üksteist esile manada, nii et nende hulgast mingi olemasolu tekitaks kogu kimbu.

Kõiges selles peitub sugemeid dünaamikast, kuid dünaamika mõiste pole veel siiski füüsikast bioloogilistesse ja psühholoogilistesse teadustesse imbuda jõudnud. Kaheksateistkümnenda sajandi tüüpiliseks bioloogiks oli Linné\*, koguja ja liigitaja, kelle seisukoht oli täielikus vastuolus tänapäeva evolutsionistide\*, füsioloogide, geneetikute ja eksperimentaalembrioloogide\* omaga. Tõepoolest, nii tohutut läbiuurimist nõudvat maailma silmas pidades said bioloogide vaated vaevalt olla teistsugused. Samuti oli ka psühholoogias kujutlus vaimsest sisust ülekaalus vaimse tegevuse omast. See võis väga hästi olla skolastika\* igandiks — rõhutada ainelisi asju maailmas, kus nimisõna oli kujunenud esmajärgulist tähtsust omavaks ja tegusõna

taandunud väikeseks või sootuks kaotanud kaalu. Kuid ometi osutub samm neilt staatilistelt mõtetelt märksa dünaamilisematele tänapäeva seisukohtadele, nagu on tõendatud Pavlovi tööga, täiesti selgeks.

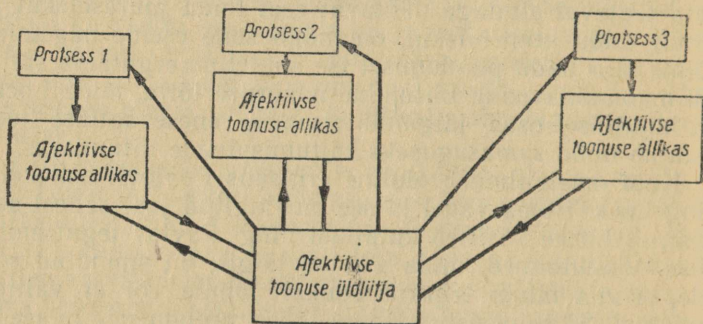
Pavlov töötas märksa rohkem loomade kallal kui inimeste kallal, ja ta kirjeldas rohkem nähtavaid tegevusi kui sisemisest enesevaatlusest tulenevaid vaimseid seisundeid. Koertel avastas ta, et toidu juuresolek põhjustab sülje ja maomahla tugevdatud nõristumist. Kui aga koertele näidata teatavat silmaga nähtavat eset toidu juuresolekul ja ainult toidu juuresolekul, omandab selle eseme nägemine võime olla toidu puudumisel ise suuteline ergutama süljevõi maomahlavoolu. Liitumine naabruse tõttu, mida Locke oli kujutluse osas jälginud sisemise enesevaatluse teel, muutub nüüd samasuguseks käitumisviiside liitumiseks.

Kuid ometi ilmneb oluline erinevus Pavlovi vaatekoha ning Locke'i oma vahel ja see on tingitud just sellest seigast, et Locke käsitleb kujutlusi ning Pavlov tegutsemisviise. Vastutoimed, mida Pavlov jälgis, on suunatud sellele, et viia mingi tegevus edukalt lõpule või et vältida õnnetust. Sülje nõristumine on tähtis neelamisele ja seedimisele, selle puudumist aga tunneksime valuliku ärritusena, mis on määratud selleks, et kaitsta looma kehalise kahjustuse eest. Seega kuulub tingrefleksi \* hulka midagi, mida me võiksimme nimetada *afektiivseks toonuseks* \*. Meil ei tarvitse seda seostada enese mõnu- ja valuaistingutega ega ole meil vajadust selle abstraktseks seostamiseks looma eelistega. Oluliseks asjaoluks osutub see, et afektiivne toonus on jagunenud mingisuguse astmiku ulatusel negatiivsest «valust» kuni positiivse «mõnuni»; et afektiivse toonuse suurenemine tunduvaks ajaks või alaliseks soodustab kõiki protsesse närvisüsteemis, mis seal sel ajal toimuvad, ja annab neile täiendavat jõudu afektiivse toonuse suurendamiseks; ning et afektiivse toonuse kahanemine on sihitud kõigi sel ajal toimuvate protsesside pidurdumisele ja annab neile täiendava võime afektiivse toonuse kahandamiseks.

Bioloogiliselt kõneldes peab suurem afektiivne toonus muidugi leidma aset peamiselt olukordades, mis on soodsad selleks, et säilitada tõugu, kui just mitte isendit, ja väiksem afektiivne toonus olukordades, mis on ebasoodsad selle säilimiseks, kui just mitte hukatuslikud. Iga tõug, mis ei kohane nende nõuetega, läheb Lewis Carrolli «Bread-

and-Butter Fly»<sup>1</sup> teed, ja alati sureb välja. Ent ometi võib isegi hukkumisele määratud tõug ilmutada ajendit, mis peab vastu seni, kuni seda tõugu jätkub. Teiste sõnadega, isegi kõige enesetapjalikum afektiivse toonuse pillamine kutsub esile kindla käitumisviisi.

Märkigem, et afektiivse toonuse olemuseks on õigupoolest tagasisidestusteime. Teda võib nimelt kujutada sellise diagrammina, nagu on joonisel 7.



Joon. 7.

Siin afektiivse toonuse üldliitja kooskõlastab eraldiste afektiivse toonuse allikate poolt minevikus lühikese ajavahemiku kestel antud afektiivseid toonuseid mingi juhise järgi, mida meil praegu ei tarvitse täpsemalt kirjeldada. Juhteteed tagasi üksikute afektiivse toonuse allikate juurde on määratud selleks, et teisendada igale protsessile omane afektiivne toonus juhiseks üldliitja väljundis, ja see teisendus jääb püsima, kuni ta omakorda teisendub hilisemate üldjagajast saabuvate teadete mõjul. Juhteteed üldliitjast tagasi protsessi toonuseallikate juurde on määratud selleks, et alandada lävesid, kui üldine afektiivne toonus on kasvav, ja tõsta neid, kui üldine afektiivne toonus on kahanev. Ka on neil pikaajaline toime, mis kestab seni, kuni see on teisendunud üldliitjast saabuva teise impulsi mõjul. See kestev toime piirdub siiski nende protsessidega, mis tegelikult leiavad aset sel ajal, mil ilmub naasev teade, ja

<sup>1</sup> Fantastiline putukas Carrolli raamatus «Alice's Adventures in Wonderland» («Alice'i seiklused Imedemaal»), kellele eesti keeles võiks anda nimeks «Võileivakärblane». (Toim.)

samasugune kitsendus kehtib ka üksikutena esinevate afektiivse toonuse allikate toime suhtes.

Ma tahaksin toonitada, et ma ei ütle, et tingrefleksi kulg toimub kooskõlas selle tegevuskäiguga, mille ma olen andnud; ma vaid ütlen, et ta *võiks* niiviisi toimuda. Kui me siiski eeldame seda või mingit sellesarnast tegevuskäiku, siis leidub hea hulk asju, mida me võime sellega seoses ütelda. Üks seisneb selles, et see tegevuskäik on niisugune, mis annab võimaluse õppimiseks. On juba mööndud, et tingrefleks osutub õppimistegevuseks, ja see mõte on leidnud rakendust biheivioristlikel\* rottide keerdkäigustikus õppimisega tutvunemistel. Kõik, mis on vaja, seisneb selles, et rakendust leidvad hõrgutised või karistused ilmutaksid vastavalt positiivset ja negatiivset afektiivset toonust. See on kindlasti õige ja katsetaja õpib tundma selle afektiivse toonuse loomust kogemuse teel, mitte aga lihtsalt *a priori* kaalutlustega.

Teiseks märkimisväärsel huvi pakkuvaks asjaoluks on see, et niisugune tegevuskäik kutsub esile teatava hulga teateid, mis põhiliselt suunduvad närvisüsteemi kõigisse algosakestesse, mis on sellises seisundis, et saavad neid vastu võtta. Need on tagasiteated afektiivse toonuse üldliitjast ja teatava määranilised teated afektiivse toonuse allikalt üldliitjatele. Tõepoolest, üldliitja ei tarvitse olla omaette üksikosaks, vaid võib ainult kujutada mingit loomulikku ühistoimet teadetest, mis saavad üksikutest afektiivse toonuse allikatest. Ent selliseid teateid, «kellesse aga see puutub», võidakse vähima seadmete vajadusega saata edukalt kõige tõhusamini välja teistsuguste kanalite kaudu, kui seda on närvikanalid. Samasugusel viisil võib mingi kaevanduse tavaline sidesüsteem koosneda telefonijaamast koos juurdekuuluva juhtmestiku ja aparaatidega. Kui me aga tahame kaevanduse rutuga tühjendada, ei tohi me jääda lootma telefonisidele, vaid peame õhu sissetõmbavas purustama kapsli mingi merkaptaaniga\*. Keemilised sõnumitoojad, nagu see või nagu hormoonid, on kõige lihtsamad ja kõige tõhusamad, et levitada teadet, mis pole adresseeritud kindlale saajale. Hetkeks lubatagu mul kalduda arutlusse, mille ma tean olevat puhtkujutluse. Hormoonide tegevuse suur elamus põhjustab ja järelikult ka erutuslik sisu on ülimalt paljuütlev. See ei tähenda, et puhtnärvalane allikas ei võiks soodustada afektiivset toonust ja õppimist; kuid see tähendab, et oma vaimse tege-

võise selle külje tundmaõppimisel ei või me endile lubada jääda pimedaks hormonaalse ülekandevõimaluse suhtes. Võiks tunduda ülemäärase mõttelennuna seostada seda kujutlust tõsiasjaga, et Freudi\* teooriad hõlmavad niihästi mälu — närvisüsteemi salvestustoimet — kui ka sugu-  
tunge. Sugulisusel ühelt poolt ja kogu afektiivsel olemusel teiselt poolt esineb väga tugevaid hormonaalseid suge-  
meid. Selle vihje sugulisuse ja hormoonide tähtsuse kohta on mulle teinud doktor J. Lettvin ja härra Oliver Selfridge. Kuigi praegu ei ole ühest tõendit tema kehtivuse tõestami-  
seks, pole ta põhimõtteliselt siiski ilmselt mõttetu.

Arvuti olemuses ei leidu midagi, mis keelaks teda ilmu-  
tamast tingreflekse. Pidagem meeles, et tegutsev arvuti on  
rohkem kui releede ja salvestusseadmete ahelik, mille on  
tema kavandaja temasse ehitanud. Ühtlasi peitub temas ka  
tema salvestusseadmete sisu; ja seda sisu ei pesta kunagi  
täielikult välja üheainsa üksiku töökäigu jooksul. Me  
oleme juba näinud, et pigem töökäik kui arvuti mehaani-  
lise koostise kogu olemasolu on selleks, mis vastab isendi  
elule. Me oleme samuti näinud, et närviarvuti suhtes on  
ülimalt tõenäoline, et informatsiooni salvestatakse suurel  
määral muutustena sünapside läbitavuses; ja on täiesti  
võimalik kujundada tehisarvuteid, milles informatsiooni  
salvestatakse samal viisil. Näiteks on täiesti võimalik sun-  
dida iga teadet, mis suundub salvestusseadmesse, muutma  
alaliseks või ajutiseks ühe või mitme vaakuumlambi võre-  
eelpinget, ja nii muutma teistsuguseks impulsside summa  
arvväärtuse, mis sunnib lambi või lambid avanema.

Üksikasjalisema seletuse õppimisseadmete kohta arvu-  
tites ning juhtimismasinates ja nende rakendusvõimaluste  
kohta, milleks nad võiksid sobida, võib pigem usaldada  
inseneri hooleks kui sellise ettevalmistava raamatu hoo-  
leks, nagu seda on käesolev. On võib-olla parem pühen-  
dada selle peatüki ülejäanud osa ajakohaste arvutite suu-  
remale täiuslikkusele arenenud tavalistele rakendusvõima-  
lustele. Üheks peamiseks neist on osatuletistega diferent-  
siaalvõrrandite lahendamine. Isegi osatuletistega lineaar-  
sete diferentsiaalvõrrandite koostamiseks on vaja tohutul  
hulgal andmete märgitsemist, sest andmed sisaldavad ju  
kahe või rohkema muutuja funktsioonide täpset kirjeldust.  
Hüperboolset tüüpi võrrandite osas, nagu seda on laine-  
võrrand, osutub tüüpiliseks ülesandeks võrrandi lahenda-  
mine, kui lähteandmed on antud, ja seda võib teha järk-

järgulise ülemineku teel algandmetelt tulemustele, mis vastavad mingile hilisemale antud hetkele. See on suurel määral õige ka paraboolset tüüpi võrrandite suhtes. Kui on tegemist elliptilist tüüpi võrranditega, kus lähteandmeteks on pigem rajaväärtused kui algväärtused, kutsuvad loomulikud lahendusviisid esile korduva järkjärgulise lähenemise tehte. Seda tehet korratakse väga suur arv kordi, nii et väga kiired meetodid, nagu seda on ajakohaste arvutite omad, osutuvad peaaegu asendamatuiks.

Osatuletistega mittelineaarsete diferentsiaalvõrrandite osas meil puudub see, mis meil on olemas lineaarsete võrrandite kohta, — põhjendatult tõele vastav puhtmatemaatiline teooria. Siin on arvutuslikud meetodid tähtsad mitte üksnes arvuliste erijuhtude käsitlemiseks, vaid, nagu von Neumann on rõhutanud, me vajame neid selleks, et tutvuda suure arvu erijuhtudega, ilma milleta me vaevalt saame üldist teooriat sõnastada. Teataval määral on seda tehtud väga kulukate katseseadmete, näiteks tuulekanalite abil. Just sel viisil me olemegi õppinud tundma tõukelainete, libisemispindade, pöörise ja selletaoliste keerukamaid omadusi, mille kohta me vaevalt oleme võimelised andma tõepärast matemaatilist teooriat. Kui palju alles avastamata samasuguse loomuga erakordseid nähtusi veel võib olemas olla, seda ma ei tea. Analoogarvutid on niivõrd vähem täpsed ja paljudel juhtudel niivõrd palju aeglased numbrilistest arvutitest, et viimased töötavad meile pakkuda tulevikus palju rohkemat.

Nende uute arvutite kasutamise alal hakkab juba selguma, et nad nõuavad iseseisvaid puhtmatemaatilisi võtteid — täiesti erinevaid nendest, mis leiavad rakendust käsitsiarvutamisel või väiksema võimega masinate kasutamisel. Arvutite kasutamine näiteks isegi mõõdukalt kõrget järku determinantide\* arvutamiseks, samuti nagu kahekümnest või kolmekümnest lineaarsest võrrandist koosneva süsteemi lahendamiseks, tekitab raskusi, mida ei kerki siis, kui me õpime tundma taolisi madalat järku ülesandeid. Kui pole vaevaks võetud hoolitseda selle eest ülesande püstitamisel, võivad need raskused täielikult riisuda lahendilt igasuguse tähenduse ükskõik missuguses arvujärgus. See on aabitsatõde, kui ütelda, et peened, tõhusad tööriistad, nagu seda on ka ülikiire arvuti, osutuvad ebaõigel kohal olevaiks nende kätes, kes küllaldaselt määral ei valda teh-

nikaalaseid teadmisi, et täielikult nende riistade eelseid taibata. Ülikiire arvuti kindlasti ei vähenda vajadust matemaatikute järele, kellel on tugev taip ja tehnikaalane vilumus.

Arvutite mehaanilise või elektrilise ehituse osas esineb mõningaid põhimõtteid, mis väärivad tähelepanu. Üks neist seisneb selles, et mehhanismid, mida kasutatakse suhteliselt sageli, nagu korutus- või liitmismehhanismid, peaksid endist kujutama suhteliselt standardiseeritud sõlmi, mis oleksid kohandatud üheksainsaks kasutusotstarbeks ja mitte millekski muuks; need aga, mis on määratud juhuslikumaks kasutamiseks, tuleks koostada kasutamise hetkeks üksikosadest, mis ühtlasi on kättesaadavad teisteks otstarveteks. Tihedas seoses selle kaalutlusega on ka too, et nendes üldisemates mehhanismides peaksid koostisosad olema kasutatavad kooskõlas oma üldiste omadustega ning ei peaks olema pühendatud alatiseks mingisse eriotstarbelisse ühendusse seadme teiste osadega. Peaks esinema mingi seadmeosa, midagi automaattelefonijaama valijate taolist, mis otsiks välja mitmesugust liiki vabu koostisosi ja lülitamiseseadiseid ning annaks neid kasutamiseks sedamööda, nagu neid vajatakse. See vähendaks tublisti neid väga suuri kulutusi, mida tuleb teha selleks, et omada suurel arvul kasutamata üksikosi, mida pole võimalik kasutada, kui ei ole kasutusel nende kogu suur sõlm. Me veendume, et see põhimõte on väga tähtis, kui me asume käsitlema liiklusküsimusi ja liigkoormust närvisüsteemis.

Lõppmärkusena lubage mul rõhutada, et suur arvuti kas mehaanilise või elektriseadme kujul, või aju enese kujul, tarbib tunduvas koguses energiat, mis kõik kulub kaona ja hajub soojusena. Veri, mis ajust lahkub, on kraadi murdosa võrra soojem kui see, mis temasse siseneb. Ükski teine arvuti ei küüni energia säästlikkusest ajuni. Suures seadmes, nagu seda on Eniac või Edvac, tarbivad lampide kütteniidid energiat niisugusel hulgal, millele vastavat võimsust võib mõõta kilovattides, ja kui pole varutud sellekohaseid tuulutuse ning jahutuse seadmeid, siis kannatab süsteem nähu all, mis on palaviku mehaaniliseks vasteks, kuni arvuti omadused on soojuse mõjul põhjalikult muutunud ja tema tegevus variseb kokku. Sellest hoolimata on üksikule tehtele kulutatud energia peaaegu kaduvväike ja pole vähimatki mõtet luua talle vastavat mõõtu seadme tegutsemise iseloomustamiseks. Mehaaniline aju ei nõrista

mõtet, «nagu maks nõristab sappi», nagu seda varajasemad materialistid väitsid, ega ei väljuta seda energia kujul, nagu seda lihas oma tegevuses väljutab. Informatsioon on informatsioon, mitte aga aine või energia. Mitte mingi materialism, mis seda ei tunnusta, ei saa tänapäeval edasi kesta.

## GESTALT JA ÜLDMÕISTED

Muude küsimuste hulgas, mida me eelmises peatükis käsitlesime, leidub küsimus võimalikkusest omistada Locke'i teooriale kujutluste aheldumisest närvidel põhinev olemus. Locke'i väidetel toimub see aheldumine vastavalt kolmele põhimõttele: naabruse põhimõttele, sarnasuse põhimõttele ning põhjuse ja tagajärje põhimõttele. Kolmas neist on koondatud Locke'i poolt ja koguni veelgi lõplikumalt Hume'i poolt ei millekski rohkemaks kui muutumatuks kaasluseks ja on niiviisi subsumeeritud esimese alla, s. t. naabruse alla. Teine, s. o. sarnasuse oma, väärrib üksikasjalisemat käsitlust.

Kuidas me tunneme ära kellegi inimese näojoonte samasuse, ükskõik kas me näeme teda küljelt, poolprofiilis või otse näkku? Kuidas me tunneme ära ringi ringina, olgu ta suur või väike, lähedal või kaugel; ükskõik kas ta tegelikult paikneb pinnas, mis on risti silmast kulgeva ja teda keskmes kohtava joonega, ning on nähtav ringina, või asetseb kuidagi teisiti ja on nähtav ellipsina? Kuidas me näeme nägusid, loomi ja maakaarte pilvedes või Rorschachi testi<sup>1</sup> laikudes? Kõik need näited kehtivad silma kohta, kuid samasugused küsimused ulatuvad ka teistele meeltele ja mõnedel neist on tegemist meeltevaheliste suhetega. Kuidas me väljendame sõnades linnulaulu või putuka sirtsumisi? Kuidas me teeme kompimise teel kindlaks mündi ümaruse?

Esialgu piirdugem nägemismeelega. Üheks oluliseks teguriks erisuguste esemete kuju võrdlemisel on kahtlemata koostöö silma ja lihaste vahel, ükskõik kas need on

<sup>1</sup> *Rorschachi test* on šveitsi psühholoogi Rorschachi poolt esitatud psühhotehniline test, mille abil otsustatakse katsealuse vaimsete kalduvuste üle nende kujundite põhjal, mis talle tindiplekkides näivad. Näiteks metsloomade kujundite nägemist seostatakse mõtlemise «stereotüüpsusega» ehk tardunud mõtlemisviisiga. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

lihased silmamuna sees, lihased, mis liigutavad silmamuna, lihased, mis liigutavad pead, või lihased, mis liigutavad keha tervikuna. Tõepoolest, teataval kujul osutub see nägemislihasealine tagasisidestussüsteem oluliseks isegi nii madalal loomariigis, nagu on lameussid\*. Seal näib juhtivat negatiivset fototropismi — kalduvust vältida valgust — kahest silmakohast saabuvate impulsside tasakaal. See tasakaal osutub tagasisidestuseks kere lihastele, mis pööravad keha valgusest eemale, ning üheskoos üldise edasiliikumise ajendiga kannavad looma kõige pimedasse talle ligipääsetavasse piirkonda. On huvitav märkida, et kombinatsioon paarist fotorakust koos sobivate võimenditega, Wheatstone'i sild\* nende väljete tasakaalustamiseks ja veel võimendid, mis tüürivad sisandit kaksikkruvi kahte mootorisse, annaksid meile üsnagi samaväärse, negatiivse fototropismiga juhtseadme väikse paadi jaoks. Meil oleks raske või koguni võimatu suruda seda seadet sellistesse mõõtudesse, et lameuss saaks teda edasi toimetada; kuid siin on meil vaid üks näidis tõsiasja kohta, mis peaks olema lugejale nüüd juba tuttav, nimelt et elusmehhanismidel on kalduvus tulla toime palju väiksema ruumilise mõõtvahekorruga, kui seda suudavad mehhanismid, mis ka kõige rohkem peegeldaksid inimesest meistri osavust, olgugi et teiselt poolt annab elektri võimaluste ärakasutamine inimkätega valmistatud mehhanismile kiiruse mõttes tohutu eelise elusolendi ees.

Läbimata kõiki vahepealseid astmeid, pöördugem otsekohe inimese silma ja lihaste vahel esinevate tagasisidestuste juurde. Mõned neist on puhthomöostaatilise loomuga, näiteks kuna silmatera avaneb pimedas ja sulgub valgus, omab ta seega kalduvust piirata silma sattuvat valgusvoogu ahtamatesse rajadesse, kui oleks vastasel juhul võimalik olnud. Teised hoolitsevad selle seiga eest, et inimsilma parim kuju- ja värvusenägemine on säästlikult piiratud suhteliselt väikese tsentraallohuga\*, kuna aga tema liikumistaju osutub paremaks äärealadel. Kui perifeerne\* nägemine on tabanud mõne eseme, mis köidab tähelepanu heleduselt või valguse kontrastsuselt või värvuselt või, eelkõige, liikuvuse poolest, siis viib reflektorne tagasisidestus ta tsentraallohule. Selle tagasisidestusega kaasub keerukas süsteem omavahel seostatud alluvaid tagasisidestusi, mis püüavad koondada mõlemad silmad selliselt, et tähelepanu kütkestanud ese oleks ühes ja sellesamas osas

kummagi vaateväljas, ja teravustada läätsed selliselt, et eseme piirjooned oleksid nii teravad kui võimalik. Neid toiminguid täiendavad pea ja keha liigutused, millega me toome eseme vaatevälja keskmesse, kui seda ei saa hõlpsasti teha üksnes silmade liikumisega, või millega me toome vaatevälja väljaspool seda mingi teise meele abil tabatud eseme. Juhuks, kui esineb esemeid, mis on meile ühe nurga all tuttavamad kui mõne teise all — nagu kirjatext, inimnäod, maastikud ja muud sellised —, on olemas ka elundkond, mille abil me püüame asetada nad õige nurga alla.

Kõiki neid toiminguid võib kokku võtta üheks lauseks: me püüame tuua iga eseme, mis äratav meie tähelepanu, nõutavasse asendisse ja vajaliku nurga alla, nii et nähtav kujutis, mille me temast moodustame, vahelduks nii kitsas ulatuses kui vähegi võimalik. Seega need toimingud, mis eseme kuju ja tähenduse tajumisel esinevad, veel ei ammenu, kuid see kindlasti hõlbustab kõiki hilisemaid toiminguid, mis hoolitsevad selle lõpuleviimise eest. Need hilisemad toimingud esinevad silmas ja ajukoore nägemiskeskuses. Leidub kaalukaid tõendeid, et tundub arvustastmetes vähendab iga samm selles protsessis nägemisinformatsiooni üleandmisest osavõtivate neuronikanalite arvu ja toob selle informatsiooni ühe sammu võrra lähemale sellele kujule, millisel ta on kasutatav ning mälusäilitatav.

Esimene samm selles nägemisinformatsiooni keskendamises leiab aset võrkkestast ja nägemisnärvi vahelises siirdes kohas. Väärrib märkimist, et tsentraallohus on peaaegu üks-ühene vahetõke kepikeste ja kolvikeste ning nägemisnärvi kiudude vahel, kuna aga ümbritsevatel aladel on see vahetõke selline, et üks nägemisnärvi kiud vastab kümnele või rohkemale lõppelundile. See on täiesti mõistetav, arvestades tõsiasja, et perifeersetel kiududel põhitegevuseks on mitte niivõrd nägemine ise, kuivõrd andmete kogumine silma koondavatele ja teravustavatele ning suunavatele elunditele.

Nägemise üheks kõige märkimisväärsimaks nähtuseks on meie võime tunda ära piirjoonte kujundust. Kahtlemata on, ütleme, kellegi inimese näo piirjoonte kujundusel väga vähe sarnasust näo endaga värvuselt või valguse ja varjude jagunemise mõttes; ent ometi võib ta olla kõige ära-

tuntavamaks pildiks tema omanikust. Kõige usutavamaks seletuseks selle kohta on see, et nägemiskäigus kusagil rõhutatakse piirjooni ja mingi peegelduse mõningate teiste külgede tähtsust võimalikul määral vähendatakse. Oma alguse saavad need menetlused silmas endas. Kõigi meelelundite taoliselt on ka võrkkest võimeline kohanduma: see tähendab, et mingi ärrituse kestev säilimine kahandab tema võimet seda ärritust vastu võtta ja üle anda. Kõige märgatavamalt on olukord nii nende retseptorite osas, mis jäljendavad seda sisu, mida mahutab suur kogu kujundeid, millel on jääv värvus ja valgustus, mille ühtluse tõttu tühised teravustuse ja vaatepunkti kõikumised, mis on nägemisel paratamatud, saadud peegelduse iseloomu ei muuda. Sootuks teistsugune on olukord kahe vastandliku piirkonna rajal. Siin kutsuvad need kõikumised esile vaheldumise ühe ja teise ärrituse vahel ja sellel vaheldumisel, nagu meile ilmneb järeltaju erakordsel nähtusel, mitte üksnes puudub kalduvus kohandamise teel kurnata nägemiselundeid, vaid ta koguni kaldub tõstma nende tundlikkust. See kehtib sõltumata sellest, kas vastandlikkuseks kahe külgeva piirkonna vahel osutub valgustugevus või värvuse oma. Nende seikade selgituseks märkigem, et  $\frac{3}{4}$  nägemisnärv kiududest reageerivad ainult valgustuse «süttimisele» sähvatusena. Nii me siis leiame, et silm saab oma kõige tugevama mulje rajadel ja et igal nähtaval kujutisel on tegelikult teataval määral kujundi piirjoone iseloom.

Tõenäoliselt pole see tegevus sugugi täiel määral perifeerne. On teada, et päevapildistuses plaadi teatav töötlemine suurendab selle kontrastsust, ja sellised erakordsed nähtused, mis osutuvad mittelineaarseteks, pole kindlasti väljaspool närvisüsteemi võimeid. Nad on väga lähedased telegraafitranslatsioonis esinevate omapäraste nähtustega, mida me oleme juba maininud. Nagu needki, kasutavad nad ära mulje, mis pole veel üle teatava määra ähmaseks muutunud, selleks et päästa lahti uus mulje tavalises teravuses. Igatahes, nad vähendavad kogu kasutamiskõlbamatut informatsiooni, mida mingi kujutis sisaldab, ja on arvatavasti korrelatsioonis ajukoore nägemiskeskuses mitmesugustel järkudel leiduvate ülekandekiudude arvu kahanemise osaga.

Me oleme seega ära märkinud mõningad tegelikud või võimalikud järgud meie nägemismuljete piltlikul kujul esi-

tamises. Me koondame oma kujutised tähelepanu tulipunkti ümber ja taandame nad rohkemal või vähemal määral piirjoontele. Nüüd tuleb meil neid võrrelda omavahel või igaühes mingi standardse mällu salvestatud muljega, nagu seda on «ring» või «ruut». Seda võib teha mitmel viisil. Me oleme andnud jämeda visandi, mis näitab, kuidas võiks Locke'i põhimõtet kujutluste naabruse tõttu aheldumisest väljendada mehaanilisel teel. Olgu märgitud, et naabruse põhimõte ühtlasi katab suures osas Locke'i teist põhimõtet sarnasusest. Ühe ja sellesama eseme erisuguseid vaatekülgi võib sageli näha neis olukordades, mis toovad tähelepanu tulipunkti, ja teistes liikumistes, mille tulemusena me teda näeme kord ühel kaugusel ja kord teisel, kord ühe nurga all ja kord sellest erineva all. See on üldine põhimõte, mis ei piirdu oma rakenduses mingi üksiku meelega, ja kahtlemata omab suurt tähtsust meie veelgi keerukamate kogemuste võrdlemises. Sellele vaatamata ei ole ta tõenäoliselt ainus menetlus, mille tulemusena kujunevad meie iseloomulikud nägemise üldkujutlused ehk, nagu Locke neid nimetaks, «komplekssed ideed». Meie ajukoore nägemiskeskuse siseehitus on liiga täiuslikuks korraldunud, liiga eriline selleks, et äratada meis eeldust, nagu tegutseks ta lõppude lõpuks mingi ülimal määral üldistatud elundkonnana. Meile jääb mulje, et meil on siin tegemist erielundkonnaga, mis on hoopiski mitte ajutiseks, vaheldavate osadega koostiseks üldotstarbelistest üksikosadest, vaid püsivaks sõlmeks, nagu mingi arvuti liitmise ja korrutamisseadmed. Sellel juhul väärib kaalutlemist, kuidas selline sõlm võiks töötada ja kuidas me peaksime lähenema tema kavandamisele.

Mingi eseme võimalikud eeldatavad teisendused moodustavad selle, mida tuntakse rühmana selles mõttes, milles me teda määratlesime juba II peatükis. See rühm määratleb mitu teisenduste alamrühma, nagu afiinne\* rühm, milles me arvestame vaid neid teisendusi, mis ei hõlma lõpmatusse ulatuvat piirkonda; ühtlased laiendid antud punkti suhtes, milles üks punkt, telgede sihid ja astmiku samaväärsus igas sihis on säilinud; pikkust säilitavad teisendused; pöörded mingi punkti ümber kahes või kolmes mõõtnes; kõigi lükete hulk, jne. Nende rühmade hulgas on äsja nimetatud alamrühmad pidevad: see tähendab, et nende juurde kuuluvad tehted on määratud teatava arvu pidevalt muutuvate parameetrite väärtustega mingis

sobivas ruumis. Seega moodustavad nad mitmemõõtmelisi kujundusi  $n$ -mõõtmelises ruumis ja sisaldavad teisenduste alamhulki, mis moodustavad piirkondi sellises ruumis.

Niisiis samuti nagu mingi piirkond tavalisel kahemõõtmelisel tasapinnal on hõlmatav televisiooniinsenerile tuntud laotusmenetlusel, mille puhul eeldatakse, et peaaegu ühtlaselt jagunenud laotuspunktide hulk selles piirkonnas esindab tervikut, nii võib ka iga piirkonda rühmaruumis, kaasa arvatud sellist ruumi tervikuna, väljendada *rühma-laotuse* menetlusel. Sellise menetluse puhul, mis kaugeltki ei piirdu kolmemõõtmelise ruumiga, toimub asendite võrgu ristil läbimine ruumis ühemõõtmelises järgnevuses ja see asenditevõrk on nii jagunenud, et ta mingis sobivalt määratletud mõttes ulatub iga asendini selles piirkonnas. Ta sisaldab seega asendeid, mis on ükskõik millisele nii lähedal, nagu võiks soovida. Kui neid «asendeid» või parameetrite hulki tegelikult kasutada sobivate teisenduste esilekutsumiseks, siis tähendab see, et mingi antud kujundi teisendamise tulemused nende teisenduste puhul ulatuvad nii lähedale, kui me soovime, kujundi igale antud teisendusele, teisenduse korral, mille toime ilmneb soovitud piirkonnas. Kui meie laotus on küllalt tihe ja teisendatud piirkonnal on käsitletud rühma poolt teisendatud piirkondade suurim mõõtmelisis, tähendab see, et tegelikult läbitud teisendused annavad tulemusena piirkonna, mis katab *iga* teisenduse esialgses piirkonnas sellises ulatuses, mis osutub nii suureks osaks tema pindalast, nagu me soovime.

Alustagem siis kindlast võrdluspiirkonnast ja piirkonnast, mida temaga võrreldakse. Kui teisenduste rühma lootamise mingis järgus kujutis piirkonnast, mida võrreldakse mingi laotatud teisenduse tingimustes, ühtib kindlaks määratud eeskujuga paremini, kui seda mingi sallitav erinevus lubab, siis see olukord registreeritakse ja kaks piirkonda öeldakse olevat ühesugused. Kui seda ei juhtu laotuskäigu üheski järgus, öeldakse nad olevat erisugused. See menetlus on täiuslikult kohandatav mehhaniseerimiseks ja sobib meetodiks, mis võimaldab teha kindlaks kujundi kuju, sõltumata tema suurusest või tema suunast või mis tahes teisendustest, mis võivad sisalduda laotatavas rühma piirkonnas.

Kui see piirkond ei moodusta kogu rühma, võib väga hästi juhtuda, et piirkond  $A$  näib olevat ühesugune piirkonnaga  $B$ , ja et piirkond  $B$  näib olevat ühesugune piirkonnaga

$C$ , kuna aga piirkond  $A$  ei näi olevat ühesugune piirkonnaga  $C$ . Seda juhtub tegelikkuses kindlasti. Kujund ei tarvitse ilmutada mingit erilist ühtivust sellesama kujundiga überpööratuna, vähemalt sedavõrd, kui see puutub vahetusse muljesse — millel pole seost mingi kõrgema talitlusega. Sellele vaatamata võib tema überpööramise igas järgus tunduval määral esineda naaberaseteid, mis näivad sarnastena. Niiviisi kujundatud üldised «kujutlused» täielikult eristatavad ei ole, vaid valguvad üksteise sisse.

On olemas teisi, palju teravmeelitsevamaid vahendeid rühmalaotuse rakendamiseks, et rühma teisendustest vabeneda. Rühmadel, mida me siin käsitleme, on olemas «rühmamõõt» — tõenäosustihedus, mis sõltub teisenduse rühmast endast ega muutu, kui rühma kõik teisendused muutuvad selle tõttu, et neile eelneb või järgneb rühma mingi kindel teisendus. On võimalik laotada rühma sellisel viisil, et mingi ulatusliku klassi iga piirkonna laotuse tihedus — s. o. ajavahemik, mille jooksul muutuv laotuselement läbib antud piirkonna igal rühma täielikul laotusel — osutub ligikaudu võrdeliseks selle rühma mõõduga. Sellise ühtlase laotuse puhul, kui meil on mis tahes suurus, mis sõltub rühma poolt teisendatavate elementide hulgast  $S$ , ja kui seda elementide hulka teisendatakse rühma kõigi teisenduste teel, tähistame  $S$ -ist sõltuva suuruse  $Q\{S\}$ , ja kasutame tähist  $TS$  hulgast  $S$  rühma teisenduse  $T$  kaudu saadava teisenduse väljendamiseks. Siis osutub  $Q\{TS\}$  suuruse väärtuseks, mis asendab suurust  $Q\{S\}$ , kui  $S$  on asendatud  $TS$ -ga. Kui me tuletame tema keskmise või integreerime teda teisenduste rühma  $T$  rühmamõõdu suhtes, siis saame suuruse, mille me võiksime kirjutada näiteks niisugusel kujul:

$$\int Q\{TS\}dT, \quad (6.01)$$

kus on integreeritud üle rühmamõõdu. Suurus (6.01) on samane kõigi omavahel rühma teisendustes vahetatavate hulkade  $S$  puhul, see tähendab kõigi hulkade  $S$  puhul, millel on teatavas mõttes üks ja seesama kuju ehk *geštalt*. On võimalik saavutada ligikaudne võrreldavus kujudele, mille puhul avaldist (6.01) on integreeritud vähem kui üle kogu rühma, kui integreeritav  $Q\{TS\}$  on väljajäetud piirkonnas väike. Niipalju rühmamõõdu kohta.

Viimastel aastatel on pööratud palju tähelepanu ülesandele asendada üks kaotatud meel teisega. Kõige erutavamaks püüdluseks selle teostamisel on olnud pimedatele fotorakkude abil tegutsevate lugemisseadmete kavandamine. Me eeldame, et need püüdlused piirduvad trükistega ja isegi üheainsa trükikirjapildiga või väikese arvu trükikirjapiltidega. Me samuti eeldame, et lehekülje reastamine, ridade joondamine, suundumine realt reale toimuvad kas käsitsi või, nagu on üsna tõenäoline, automaatselt. Need toimingud vastavad, nagu me võime näha, meie nägemise geštaldi määrangu sellele osale, mis sõltub lihaselistest tagasidestustest ja meie tavalistest keskendamise, suunamise, teravustamise ja koondamise elundeist. Sellele järgneb nüüd keerdküsimus, kuidas määrata üksikute tähtede kuju, kui laotusseade neist kordamööda üle liigub. On vihjatud, et seda võiks teha mitmete püstritta paigutatud fotorakkude abil, millest igaüks on ühendatud erisuguse kõrgusega heli tekitava seadmega. Seejuures võiks tähtede musta pinda väljendada kas vaikusena või helina. Eeldagem viimast võimalust ja eeldagem, et üksteisega paiknevad kohakuti kolm fotorakust tajurit. Registreerigu nad mingi kooskõla kolme helina, ütleme kõrgeima heliga ülal ja madalaima heliga all. Siis tuleks, ütleme, suurtäht F registreerida:

\_\_\_\_\_ ülemise heli kestus;  
 \_\_\_\_\_ keskmise heli kestus;  
 \_\_\_\_\_ alumise heli kestus.

Suurtäht Z tuleks registreerida:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ ;  
 \_\_\_\_\_

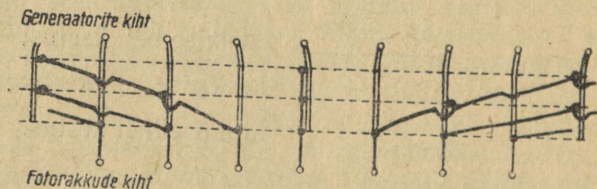
suurtäht O:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ ;  
 \_\_\_\_\_

ja nii edasi. Meie tavalise tõlgendamisvõime abil ei tohiks olla eriti raske lugeda sellist kuuldavast koodi: mitte palju raskem kui lugeda näiteks Braille'\* kirja.

Ja siiski sõltub kõik see ühest asjaolust: fotorakkude õigest suhtest tähtede kõrgusega. Isegi standardses trükikirjas esineb tähtede suuruses ikkagi suuri muutusi. Seega on meil soovitatav omada võimalust venitada laotuse püstastmikku pikemaks või suruda teda kokku, selleks et taandada antud tähe muljet standardsele. Meie käsutuses peavad olema vähemalt mõningad käsitsi või automaatselt tegutsevad püstlaiendite rühma teisendused.

On olemas mitmeid teid, kuidas me seda võiksime teha. Me võiksime arvestada võimalust mehaaniliselt kohandada fotorakke püstsihis. Teiselt poolt, me võiksime kasutada õige suurt fotorakkude püstrida ja muuta helide kõrguse seadumist vastavalt tähe suurusele, jättes nad allpool ja ülalpool tähte vaikseks. Seda võib teha näiteks lülituse abil, mis koosneb kahest rühmast ühendustest, mille sisandid saavad fotorakkudest ja suunduvad rea üha laiemale ja laiemale hajutatud lülititeni, ning väljunditeks on rida püstliine, nagu on näha joonisel 8. Sellel kujutavad ühekordsed jooned fotorakkudest saabuvasid juhtmeid, kaksikjooned generaatorite juurde suunduvaid juhtmeid, ringike-



Joon. 8.

sed kriipsjoontel ühenduspunkte sisestuvate ja välistuvate juhtmete vahel ning kriipsjooned ise juhtmeid, mille kaudu üks või teine generaatorite rühm pannakse tegevusse. See oli McCullochi poolt trükikirja tähekõrgusele kohanimise otstarbel loodud seade, millele me oleme viidanud sissejuhatuses. Esialguses kujunduses toimus valik ühe kriipsjoone ja teise kriipsjoone vahel käsitsi.

See oli skeem, mille nägemine meenutas doktor Boninile ajukoore nägemiskeskuse neljandat kihti. Ühendusringike-

sed meenutasid selle kihi neuronite rakukehi, mis on korraldunud ühtlaselt muutuvas horisontaalses tiheduses ja tihedusega vastassuunaliselt muutuvas paksuses allkihtidesse. Horisontaalseid juhtmeid tõenäoliselt ergutatakse mingis vaheldumisi korduvas järjekorras. Kogu seade näib olevat täiesti sobiv rühmalaotuse menetluse jaoks. Muidugi peab esinema mingi viis ülemiste väljundite aegsasti taasühendamiseks.

See oli niisiis seade, mida McCullochi vihje järgi tegelikult kasutataksegi ajus nägemise geštaldi avastamisel. Ta kujutab niisugust tüüpi seadet, mis on kasutatav iga liiki rühmalaotuseks. Midagi selletaolist toimub samuti ka teistes meeltes. Kõrvas pole muusika ülekandmine ühest põhihelistikust teise midagi muud kui sageduse logaritmi nihutamine ja on järelikult sooritatav rühmalaotusseadmega.

Rühmalaotussõlmel on seega hästi määratletud sobiv anatoomiline ülesehitus. Vajalik ümberlülitamine võib toimuda sõltumatute horisontaaljuhtmete kaudu, mis varuvad küllaldaselt ärritusi, et nihutada läved igal tasemel just vajalikule määrale, selleks et panna neid ergutama niipea, kui järg kätte jõuab. Kuigi me ei tea selle masinavärgi tegutsemise kõiki üksikasju, ei ole sugugi raske kujutleda võimalikku masinavärki, mis oleks kohaldatud anatoomiale. Lühidalt, rühmalaotussõlm on hästi kohandatav selleks, et moodustada teatud liiki püsivat aju alasõlme, mis vastaks liitjatele või korrutajatele numbrilises arvutis.

Lõpuks peaks laotusseadmepoolne teatav talitluse omane tegutsemisperiood, mis peaks olema tulenev aju talitlusest. Selle perioodi suurusjärg peaks selguma lühimast ajast, mida on vaja suuruselt erinevate esemete kuju vahetuks võrdlemiseks. Seda võib teha ainult siis, kui võrdlus toimub kahe eseme vahel, mis pole suuruselt väga erinevad; vastasel juhul on tegemist pikaajalise menetlusega, mis vihjab mingi mitteeriotstarbelise sõlme tegutsemisele. Kui vahetu võrdlemine tundub olevat võimalik, siis ilmneb, et tuleb arvestada ajaga suurusjärgus kümnendik sekundit. See näib ühtlasi olevat kooskõlas selle suurusjärguga, milles on see aeg, mida vajab ärritus selleks, et ergastada kõiki põikühenduste kihte vaheldumisi korduvas järgnevuses.

Kuigi see korduv tegevus võiks olla ka paiksel määratud tegevuseks, on olemas tõendeid, et esineb laiaulatuslik ajaline kokkusattumus ajukoore erisuguste osade vahel, mis vihjab sellele, et teda suunatakse mingist aja ühtlusta-

mise keskusest. Tõepoolest, tal on sagedusjärk, mis on omane aju alfarütmile, nagu nähtub elektroentsefalogrammidelt\*. Me võime oletada, et see alfarütm on seoses vormi tajumisega ja et ta meenutab hälvitusrütmi iseloomu nagu rütm, mida esineb televisiooniseadme laotuskäigus. Ta kaob sügavas unes, näib aga olevat tumestatud ning varjutatud teistest rütmidest, just nagu me seda võime oodatagi, siis, kui me tegelikult millelegi vaatame, ja ka hälvitusrütm nagu toimiks mingi teiste rütmide ning tegevuste kandjadena. Teda on kõige rohkem märgata siis, kui ärkvel olles sulgeda silmad või kui püüda silmi vahtida tühjusse mitte millelegi tähelepanu koondamata, nagu joogi\* oma mõttekujutuse olukorras<sup>1</sup>, mil see rütm ilmutab peaaegu täiuslikku korrapärasust.

Me just äsja nägime, et meelte asendamise ülesanne — küsimus sellest, kuidas seda informatsiooni, mida normaalselt oleks läkitanud kadumaläinud meel, siiski korvata olemasolevaga — on tähtis ja mitte paratamatult lahendamatu. Mis muudab ta veelgi lootusrikkamaks, on tõsiasi, et mälu ja kujutluse alad, mis tavaliselt on ligipääsetavad ühe meelega, pole mitte üheainsa võtmega lukkudeks, vaid on kättesaadavad ka selleks, et salvestada muljeid, mida on kogunud teised meeled lisaks neile, mille juurde nad normaalselt kuuluvad. Pimedaksjäänud inimene, arvatavasti erinevalt sünnipärasest pimedast, mitte ainult säilitab nägemisest saadud mälestusi, mis pärinevad varajaseast ajast kui tema õnnetus, vaid isegi on võimeline salvestama kompimis- ja kuulmismuljeid nägemise kujul. Ta võib otsida kobamisi oma teed ümber ruumi ja siiski omada kujutlust sellest, kuidas see peaks välja nägema.

Nii on osa tema normaalsest nägemisaparaadist talle kättesaadav. Teisest küljest aga on ta kaotanud rohkem kui oma silmad: ta on kaotanud ka võime kasutada seda, osa oma ajukoore nägemiskeskusest, mida võib käsitada kindlakujulise sõlmena vaatepildist saadud muljete korraldamiseks. On tingimata vaja varustada ta mitte ainult kunstlike nägemisretseptoritega, vaid ka ajukoore kunstliku nägemiskeskusega, mis tõlgendaks tema uute retseptorite valgusmuljeid niisugusel kujul, et nad oleksid tema ajukoore nägemiskeskuse tavalise väljega sellises vahekorras, mis või-

<sup>1</sup> Isiklik avaldus doktor Walterilt\*, Bristolist, Inglismaal.

maldaks tavaliselt ühesugustena paistvaid esemeid nüüd lasta ühesugustena kõlada.

Seega on nägemise sellisel viisil kuulmisega korvamise võimalikkuse üle otsustamise aluseks, vähemalt osaliseltki, võrdlus eristatavalt erisuguste nähtavate vormide ja eristatavalt erisuguste kuuldavate vormide arvu vahel *ajukoore tasemel*. See on informatsioonikoguste võrdlemine. Ajukoore tundeväljade eri osade teataval määral samalaadse korralduse valguses ei erine ta tõenäoliselt väga palju vahekorras ajukoore kahe osa pindalade vahel. See on umbes 100:1 näiteks nägemise ja kuulmise vahel. Kui ajukoore kuulmisvälja kasutada nägemiseks, siis me võiksime oodata, et saadakse informatsiooni vastuvõtt väärtuses, mis on umbes üks protsent sellest, mis saabub silma kaudu. Teisest küljest, meie tavaline nägemise hindamise astmik on sellises suhtelise kauguse vahekorras, mille puhul saavutatakse kindel esemete eristatavuse määr, ja seega 10/100 nägemist tähendab informatsioonivoo ulatumist umbes ühele protsendile tavalisest. See on väga vilets nägemine, kuid siiski pole see sugugi veel pimedus, ega saa selle nägemisvõimega inimesed end kindlasti veel pidada pimedateks.

Teises suunas on pilt isegi palju soodsam. Silm saab avastada kõik kõrva varjundid, kasutades ära vaid ühe protsendi oma võimetest ja siiski jääb nägemiseks umbes 95/100, mis on tegelikult täiuslik. Järelikult on meelte asendamise puutuva ülesande lahendamine äärmiselt paljutõotavaks tööpõlluks.

## KÜBERNEETIKA JA PSÜHHOPATOLOOGIA

On paratamatu, et ma alustan seda peatükki teatava ehitusega. Ühelt poolt, ma pole ei psühhopatoloog ega ka psühhiaater ja mul puuduvad kogemused alal, millel kogemustest juhindumine on ainsaks usaldusväärseks teeks. Teiselt poolt, meie teadmised aju ja närvisüsteemi normaalse talitluse ning *a fortiori*\* meie teadmised nende ebaloomuliku talitluse kohta on kaugel, et olla saavutanud selle täiuslikkuse seisundi, milles mingi teooria *a priori* võiks äratada mingit usaldust. Seepärast tahan ma juba ette loobuda igasugusest väitmisest, et mingi eriline entiteet psühhopatoloogias, nagu näiteks mingi neist haiguslikest seisunditest, mida on kirjeldanud Kraepelin\* ja tema õpilased, sõltub eriliiki puudusest aju kui arvuti kooskõlalises tegevuses. Need, kes võiksid teha selliseid erilisi järeldusi selle raamatu kaalutlustest, teevad seda oma enese vastutusel.

Sellest hoolimata võib arusaamine, et ajul ja arvutil on palju ühist, kutsuda esile uusi ja tõsioludele vastavaid lähemisi psühhopatoloogiale ja isegi psühhiaatriale. Need algavad võib-olla üldse kõige lihtsama küsimusega: kuidas väldib aju jämedaid eksisamme ja jämedaid äpardusi tegevuses, mis on tingitud üksikute osade korratusest. Seesugused küsimused arvuti suhtes on suure tegeliku tähtsusega, sest siin võib ahelik tehetest, millest igaüks ulatub millisekundi murdosani, kesta tegelikult tunde või päevi. On täiesti võimalik, et arvutustehete ahelik sisaldab  $10^9$  eraldi järku. Niisugustel tingimustel on võimalus, et vähemalt ükski tehe võiks minna valesti, väga kaugel sellest, et olla tähtsusetu, kuigi ajakohaste elektronseadmete usaldusväärsus on tõepoolest kaugelt ületanud ka kõige lootusrikkamad ootused.

Tavalisel arvutusel, kas käsitsi või lauaarvutiga, on tavaks kontrollida iga järku arvutuses ja kui on leitud viga, teha selle asukoht kindlaks tagurpidise arvutusega, lähtu-

des esimesest kohast, kus viga märgati. Et teha sedasama suure kiirusega arvutil, peab kontroll toimuma arvuti algkiirusega, muidu määraks arvuti kogu tõelise kiirusejärgu kontrollimiskäigu aeglasem kiirus. Liiatigi, kui arvuti on sunnitud alal hoidma oma tegevuse kõiki vahepealseid märke, siis kasvavad tema keerukus ja kogukus talumatu määrani, mida väljendab tegur, mis arvatavasti osutub võralt suuremaks kui kaks või kolm.

Märksa paremaks kontrollimisviisiks, ja tõepoolest tegelikkuses üheks peamiselt kasutatavaks, osutub iga tehte usaldamine üheaegselt kahele või kolmele eraldi mehhanismile. Kahe sellise mehhanismi kasutamise korral võrreldakse nende vastuseid automaatselt teineteisega ja kui esineb lahkuminek, suunatakse kõik andmed püsivsalvestisse, arvuti peatatakse ning antakse käsitsejale signaal, et midagi on valesti. Siis käsitseja võrdleb tulemusi ja juhindub neist oma otsingutes, et leida korratuks muutunud osa, võib-olla mingi elektronlamp, mis on läbi põlenud ning vajab asendamist. Kui kasutatakse kolme eraldi mehhanismi iga astme jaoks ja igaühes ilmneb tõrkeid nii harva, nagu neid tõepoolest aset leiab, siis esineb tegelikult alati mingi ühtlangevus kahe mehhanismi vahel kolmest ning see ühtlangevus annabki nõutud tulemuse. Sel juhul tunnistab võrdlusmehhanism enamuses oleva tulemuse õigeks ja arvutit pole vaja peatada; kuid siiski tekib signaal, mis viitab, kus ja kuidas vähemuses olev tulemus enamuses olevast tulemusest erineb. Kui see leiab aset lahkumineku esimesel hetkel, võib viide vea asukohale osutada väga täpselt. Hästi kavandatud arvutis pole mingi iseseisev üksikosa kinnistatud mingile iseseisvale astmele tehete jadas, vaid igal astmel toimub otsimine täiesti sarnaselt sellega, mis leiab rakendust automaattelefonijaamades, millega leitakse esimene sobiv antud liiki üksikosa ja lülitatakse see tehete jadasse. Sel juhul ei tarvitse rikkis üksikosade kõrvaldamine ja asendamine põhjustada mingit märgatavat viivitust.

On mõeldav ja sugugi mitte usutamatu, et vähemalt kaks selle tegevuse üksikasjadest on esindatud ka närvisüsteemis. Me võime vaevalt arvata, et mingi tähtis teade on üleandmiseks usaldatud üheainsa neuroni hoolde, või et mingi tähtis tegevus on usaldatud üheainsa neuroniaparaadi hoolde. Nagu arvutigi, nii töötab tõenäoliselt ka aju mingi teisendi alusel kuulsast põhimõttest, mida selgitab

Lewis Carroll teoses «*The Hunting of the Snark*»<sup>1</sup>: «Mida ma teile lausun kolmel korral, see on õige.» Samuti on ebatõenäoline, et mitmesugused kanalid, mis kõlbavad informatsiooni edasitoimetamiseks, kulgevad üldiselt oma ühest otsast teise ilma anastomoosita. On palju tõenäolisem, et kui mingi teade jõuab närvisüsteemi teatavale tasemele, võib ta sellest punktist lahkuda ja siirduda järgmisesse ühe või rohkema üksteist vastastikku välistava liikme kaudu, mida tuntakse «internuntsiaalse puulina»<sup>2</sup>. Võib tõepoolest esineda närvisüsteemi osi, kus see vahelduvus on tublisti piiratud või hävinud, ja nendeks osutuvad tõenäoliselt niisugused ülimalt eriotstarbelised ajukoore osad, mis täidavad eriotstarbeliste tundeelundite sisemiste pikenduste aset. Siiski see põhimõte kehtib ja tõenäoliselt kehtib kõige ilmekamalt ajukoore suhteliselt vähe eriotstarbeliste alade suhtes, mis teenivad kujutluste aheldamise otstarvet ja selle otstarvet, mida me nimetame kõrgemaks vaimseks tegevuseks.

Siiani me oleme käsitlenud talitluses ilmnevaid vigu, mis osutuvad normaalseiks ja on haiguslikeks vaid laiemas mõttes. Pöördugem nüüd selliste juurde, mis on märksa ilmsemalt haiguslikud. Psühhopatoloogia on olnud õigupoolest pettumuseks vaistlikule materialismile arstidel, kes on asunud vaatekohale, et iga häirega peavad kaasnema mõningate temaga seoses olevate iseloomulike kudede ainelised haiguslikud muutused. On tõsi, et iseloomulike aju haiguslike muutustega, nagu vigastuste, kasvajate, trombooside\* ja nende taolistega võivad kaasneda hingelised haigusnähud, ning et teatavad vaimsed haigused, nagu parees\*, osutuvad järeelhaiguseks üldistele kehalistele haigustele ja ilmutavad ajukoe haiguslikku seisundit; kuid pole mingit võimalust samastada skisofreeniku\* aju rangelt Kraepelini tüüpi kuuluva, ei maniakaal-depressiivset psühhooosi\* põdeja ega ka paranoiku\* omaga. Selliseid häireid me nimetame *funktsionaalseiks*\* ja see eristus näib vastu rääkivat tänapäeva materialismi dogmale, et igal talitluses

<sup>1</sup> Lewis Carrolli teos, mille pealkirjaks võiks eesti keeles olla «*Jaht snarkile*» ja milles esineb tema poolt väljamõeldud fantastiline merkoletis *snark*. (Venek. tõlke allteksti põhjal. *Toim.*)

<sup>2</sup> Internuntsiaalne puul on originaalis *internuncial pool*; võiks vabas tõlkes tähendada *sisesaadikute ühistu*; venekeelses väljaandes on see väljend tõlgitud *интернунциальная сеть* = internuntsiaalne võrk. (*Toim.*)

ilmneval häirel on mingi füsioloogiline või anatoomiline lähtepõhjus vastavates kudedes.

See eristus funktsionaalsete ja orgaaniliste häirete vahel saab märksa selgemaks, kui tutvuda arvutitega. Nagu me juba nägime, pole mitte tühipaljas arvuti füüsikaline ülesehitus selleks, mis vastab ajule, vähemalt täiskasvanud ajule, vaid selle ülesehituse kooskõlastus talle mingi tehete aheliku alustamisel antud juhenditega ja kogu täiendava informatsiooniga, mis on selle aheliku käigus salvestatud ning hangitud väljastpoolt. See informatsioon on salvestatud mingil füüsikalisel kujul — mälu kujul, kuid osa temast esineb ringlevate mälestuste kujul, mille füüsikaline alus kaob, kui arvuti peatatakse või kui aju sureb, ja osa kestvate mälestustena, mis on salvestunud sellisel teel, mille kohta me võime vaid teha oletusi, kuid tõenäoliselt ka niisugusel kujul, mille füüsikaline alus kaob surmaga. Kuid siiski pole meil veel teada mingit teed, et selgitada laibal, milline oli antud sünapsi lävi elu ajal; ja isegi kui me seda teaksime, puudub tee, mida mööda me saaksime jälile temaga seoses olevate neuronite ja sünapside ahelikule ning selgitada selle aheliku tähtsust tema poolt edasiantava mõistelise sisu suhtes.

Seepärast pole midagi üllatavat, kui käsitleda funktsionaalseid vaimseid häireid põhiliselt mälu haigustena, aju poolt tegevseisundis hoitava ringleva informatsiooni ja sünapside kestva läbitavuse haigustena. Isegi rasked häired, nagu näiteks parees, võivad põhjustada suure osa oma mõjust mitte niivõrd nendega kaasneva kudede hävimise ega ka sünapsiläve muutumise tõttu, kuivõrd sekundaarsete rikete tõttu suhtlemises, millest tingitud ülekoormus lasub närvisüsteemil, ja teadete ringisihituste tõttu, mis sellistele primaarsetele kahjustustele peavad järgnema.

Hulgaliselt neuroneid sisaldavas süsteemis saavad ringlevliikumised vaevalt püsida pikemat aega ühtlastena. Nad kas rändavad oma teed endid ise hajutades ja vaibuvad, nagu näivasse olevikku kuuluvate mälestuste osas, või nad haaravad üha rohkem ja rohkem neuroneid oma süsteemi, kuni nad hõivavad valdava osa neuronite üldkogusest. See ongi, mida me võiksime oodata esinevat rusuva mure puhul, millega kaasneb ängistusneuroos\*. Sellisel juhul on võimalik, et haigel lihtsalt puudub ruum, piisav hulk neuroneid, mille najal normaalne mõtetegevus saaks

toimudagi. Sellistel tingimustel võib väheselt jätkuda ajus nende neuronite koormamine, mis veel pole mõjustatud, nii et nad kõik üha hõlpsamini haaratakse kaasa sellesse levivasse olukorda. Pealegi haaratakse üha suuremas ning suuremas sügavuses kaasa ka kestevmaalu, ja haigusnäht, mis algul esines ringlevate mälestuste tasemel, võib üha raskemini juhitaval kujul korduda püsivate mälestuste tasemel. Niisiis, see, mis algas võrdlemisi tavalise ja juhusliku püsivolukorra pahupidi pöördumisena, võib end ise välja arendada olukorraks, mis osutub täiesti hävitavaks korrapärasele vaimuelule.

Teataval määral samasuguse iseloomuga haigusnähud pole tundmatud ka mehaaniliste ja elektriliste arvutite suhtes. Mingi hammasratta hammas võib vääratada just sellistes tingimustes, et ükski hammas, millega ta hambus, ei saa teda tõmmata tagasi tema õigesse asendisse, või suure kiirusega elektriarvuti võib sattuda ringlusolukorda, mida ei näi olevat mingil teel võimalik peatada. Need võimalused võivad sõltuda süsteemi ülimalt ebatõenäolisest hetkelisest kujundusest ja kord parandatuna võivad kas ei iialgi või väga harukordselt ilmnedu uuesti. Siiski, kui neid esineb, viivad nad arvuti ajutiseks tegevusest välja.

Kuidas me niisuguste juhustega arvuti kasutamisel toime tuleme? Esimeseks asjaks, mida me püüame teha, on arvutist kogu informatsiooni kustutamine, lootuses, et kui ta käivitub uuesti teistsuguste andmetega, neid tõrkeid ei tarvitseks korduda. Selle ebaõnnestumisel, kui tõrge peitub mingis kohas, mis on kustutusmehhanismile alaliselt või ajutiselt ligipääsmatu, me raputame arvutit, või kui ta on elektriline, rakendame talle erakordselt tugeva elektriimpulsi, lootuses, et me võime küündida ligipääsmatu osani ja paisata ta seisundisse, milles tema tegutsemise väär toime katkeb. Kui isegi see ebaõnnestub, võime me ühendada seadme rikkis osa lahti, sest on võimalik, et see, mis siiski alles jääb, võib meie otstarbe jaoks osutada sobivaks.

Ometi pole olemas ühtki loomulikku menetlust peale surma, mis täielikult kustutaks ajust kõik mineviku muljed; kuid pärast surma on võimatu teda jällegi tööle panna. Kõigist loomulikest menetlustest osutub uni mittehaigusliku kustutuse jaoks kõige omasemaks. Kui sageli me tunneme, et parimaks teeks keeruka mure või mingi vaimse segadusega toimetulekuks on temast väljamagamine! Kuid

siiski ei kustuta uni ära sügavamaid mälestusi, pealegi on mingi küllalt rusuva mure korral üldse vaevalt võimalik uinuda. Me oleme seetõttu sageli olnud sunnitud pöörduma abi saamiseks märksa vägivaldsema iseloomuga mälu ringkäiku sekkuvate vahendite poole. Kõige vägivaldsemaks neist osutub kirurgiline sissetung ajusse, mis jätab järele alalise kahjustuse — armi — ja ohvrikslangenu võimete kahanemise, sest imetajate kesknärvisüsteem ei näi omavat mitte mingisugust taastumisvõimet. Põhilist laadi kirurgilist sissetungi, mis on tegelikult leidnud rakendust, tuntakse otsmikusagara eeslõikena ja ta seisneb ajukoore otsmikusagara teatava edeosa eemaldamises või eraldamises. Veel hiljuti oli ta teatavaks suurmoeks, mille tõenäoliselt ei puudu seos asjaoluga, et ta muudab paljude haigete järelevalve eest hoolitsemise hõlpsamaks. Mõõdamines lubatagu mul tähendada, et nende tapmine muudaks nende järelevalve eest hoolitsemise veelgi hõlpsamaks. Kuidas ka oleks, otsmikusagara eeslõike näib avaldavat tõesti tagajärgi rusuvale murele, kuid mitte sellega, et ta tooks haiget tema keerdküsimuste lahendamisele lähemale, vaid sel teel, et ta kahjustab või hävitab võime alahoiu eest muretsemiseks, mida avalikult käibel oleva sõnastuse järgi tuntakse ka *südametunnistusena*. Üldisemalt võttes näib ta piiravat kõiki ringlevmälu seisukohti ja võimet pidada meeles mingit olukorda, mida tegelikult ei esine.

Mitmesugust liiki ravišokid — elektriga, insuliiniga\*, metrasooliga — on vähem rabavateks menetlusteks, et saavutada peaaegu samasugust tulemust. Nad ei hävita ajukudesid või vähemalt ei ole määratud nende hävitamiseks, kuid neil on kahtlemata kahjustav toime mälule. Niipalju kui see puutub ringlevmälusse, ja niivõrd kui see mälu on peamiselt kahjustatud eelnenud vaimsete häirete kestel ja on arvatavasti väärt kuidagi säilitamiseks, on ravišokil kindlasti midagi, mis annab võimaluse sagaralõike asemel teda soovitada; kuid ta pole alati vaba kahjulikust mõjust kestevmälule ja isikupärasusele. Tänapäeval on olukord nii, et ta osutub teiseks vägivaldseks, puudulikult mõistetavaks ja puudulikult kontrollitavaks menetluseks, et katkestada vaimset nõiaringi. See aga ei takista tal olemast paljudel juhtudel parimaks abinõuks, mida me tänapäeval võime rakendada.

Sagaralõige ja ravišokk on menetlused, mis oma loomu poolest on rohkem kohased näidustamiseks pahaloomuliste ringlevate mälestuste ja rusuva mure kui sügavamal paiknevate püsivate mälestuste suhtes, ehkki pole võimatu, et neil võib olla mõningane mõju ka siin. Nagu me oleme öelnud, on ammutekkinud vaimsete häirete puhul püsivmälu sama tõsiselt segi aetud nagu ringlevmälu. Meil ei näi olevat ühtki puhtfarmatseutilist\* või -kirurgilist relva eraldi püsivmälusse sekkumiseks. Siin tulevadki rakendamisele psühhoanalüüs ja muud sellised psühhoteraapilised\* abinõud. Ükskõik kas käsitada psühhoanalüüsi Freudi õigeusklikus tähenduses või Jungi\* ja Adleri\* muudetud tähenduses, või kas meie psühhoteraapia üldse ongi rangelt psühhoanalüütiline, meie ravimine põhineb ilmselt sellel üldisel arusaamal, et mõistuse poolt salvestatud informatsioon lasub paljudel kättesaadavuse tasemetel ja on palju rikkam ning mitmekesisem kui see, mis on kättesaadav otsese ilma välisabita toimuva sisemise enesevaatluse teel; et ta on eluliselt tingitud tundeelamuslikest kogemustest, mida me ei saa alati paljastada sellise sisemise enesevaatluse teel, kas seetõttu, et nad iialgi pole otseselt väljendatavad meie täisealiste keeles, või seetõttu, et nad on olnud varjatud kindlakujulise aparaadi poolt, mis on küll tundeelamuslik, kuid siiski üldiselt tahtealustav; ja et salvestatud kogemuste sisu samuti nagu nende afektiivne toonuski tingivad suurema osa meie hllisemast tegevusest sellisel teel, mis väga hästi võib olla haiguslikku laadi. Psühhoanalüütiku oskus koosneb reast abinõudest, et neid varjatud mälestusi avastada ja tõlgendada, et panna haiget pidama neid selleks, mis nad on, ja nende tunnustamise kaudu teisendada kui mitte nende sisu, siis vähemalt nendest tulenevat afektiivset toonustki, ja niiviisi muuta neid vähem kahjulikeks. Kõik see on täielikus kooskõlas selle raamatu seisukohaga. See võib-olla seletab ka seda, miks esineb olukordi, milles on näidustatav ühiselt ravišoki ja psühhoteraapia rakendamine, mis puhul liidetakse mingi füüsikaline või farmakoloogiline\* ravi närvisüsteemis ilmnevate erakordsete peegeldusnähtuste suhtes ja mingi psühholoogiline ravi kestvate mälestuste suhtes, mis ilma vahelesegamiseta võiksid seestpoolt taas kutsuda esile nõiarangi, mille ravišokk oli katkestanud.

Me oleme juba maininud närvisüsteemi suhtlemisküsi-

must. Paljude autorite, nagu näiteks d'Arcy Thompsoni<sup>1</sup> poolt on selgitatud, et igal korraldumisviisil on oma ulatuses ülempiir, millest väljaspool ta enam ei avaldu. Nii piirab putuka elundite kooskõlastust see pikkus, milleni võiksid ulatuda torujuhad, mille kaudu toimub segunemise teel õhu kandumine hingamisavamenetlusel otseselt hingamiskudedesse; maismaaloom ei või olla nii kogukas, et jäsemed või muud maaga kokkupuutuvad kehaosad tema raskuse mõjul puruneks; puud piiritleb mehhanism, mis on määratud selleks, et toimetada vett ja mineraalaineid juurtest lehtedesse ning fotosünteesisaadusi\* lehtedest juurtesse ja nii edasi. Sama laadi olukordi võib panna tähele inseneriehitistes. Pilvelõhkujate suurust piirab äsjaolu, et teatud kõrguse ületamisel võtab ülemiste korruste jaoks vajalik tõstukite ruum enda alla ülemäära suure osa alumiste korruste ristlõikest. Üle teatud sildeava variseks omaenese raskuse all kokku ka võimalikest parim ripp-sild, mis võiks olla ehitatud antud elastsusomadustega materjalidest; ja üle teatud suurema sildeava variseks omaenese raskuse all kokku iga antud materjalist või materjalidest ehtis. Samuti on piiratud ka jääva ja laiendamist mittevõimaldava plaani järgi ehitatud üksiku telefonijaama maht, ja selle võimalikku piiri on telefoniinse-nerid väga põhjalikult tundma õppinud.

Telefoniseadmestik on oluliseks piiravaks teguriks see ajavahemik, mille jooksul kõnekohast osutub võimatuks saada ühendust. Kindlasti oleks 99-protsendine väljawaade edule piisavaks isegi kõige nõudlikemaile; 90 protsenti õnnestunud kutsungeid on tõenäoliselt küllalt hea, et asjaajamine võiks toimuda küllaldase ladusega. Edu 75 protsendi ulatuses on juba tülikas, kuid võimaldab asjaajamisega veel kuidagimoodi toime tulla; kuna aga siis, kui pooled kutsungitest lõpevad ebaõnnestumisega, hakkaksid abonendid pärima, kas nende telefonid pole mitte välja lülitatud. Ometigi kujutavad need üldisi andmeid. Kui kutsungid läbivad  $n$  eraldi lülitamise astet ja ebaõnnestumiste tõenäosus on igas astmes sõltumatu ning ühesugune, siis selleks, et saavutada üldise edukuse tõenäosuseks  $p$ , peab edukuse tõenäosus igas astmes olema  $p^{1/n}$ . Seega selleks, et saavutada 75-protsendist väljawaadet kutsungite viiest astmest läbiminekuks, peab meil olema

<sup>1</sup> Thompson, D'Arcy\*, Growth and Form, 2-nd Ed. (1945).

95-protsendine väljavaade edule igas astmes. Et saavutada 90-protsendist täitmist, peab meil olema 98-protsendine täitmise väljavaade igas astmes. Et saavutada 50-protsendist täitumist, peab meil olema 87-protsendine edu igas astmes. Sellest nähtub, et mida rohkem esineb asjasse segatud astmeid, seda kiiremini muutub teenindamine äärmiselt halvaks, kui on ületatud mingi otsustav ebaõnnestumiste tase üksiku kutsungi kohta, ja äärmiselt hea, kui see otsustav ebaõnnestumiste tase pole täiesti saavutatud. Seega lülitamisteenistus, milles sisaldub palju astmeid ja mis on määratud teatud ebaõnnestumiste taseme jaoks, ei avalda ilmseid ebaõnnestumise tunnuseid, kuni suhtlemine pole ulatunud äärmisse otsustavasse punkti, mil ta variseb täiesti tükkideks, ja meil tekib hukatuslik suhtlemise ummik.

Inimene, kõige rohkem arenenud närvisüsteemiga kõigi loomade hulgas ja käitumisega, mis arvatavasti sõltub pikimatest ahelikest tõhusalt talitlevate neuroniahelike hulgas, esineb niisiis tõenäoliselt mingi keeruka käitumistüübina, mis töövõimelt on väga lähedal ülekoormuse tipule, kui ta taanduks tõsisele ja hukatuslikule teele. See ülekoormus võib leida aset mitmel teel: kas hõlmatava suhtlemiskogusega liialdamise teel või selliste kanalite suhtlemise kanalite kehast eemaldamise teel või ülemäärase hõivamise teel ebasoovitavate suhtlemisviisidega, milleks võivad olla ringlevad mälestused, mis on kasvanud algava haigusliku hirmu määrani. Kõigil neil juhtudel võib kujuneda olukord, ja päris juhuslikult, milles korrapärasel suhtlemisel ei ole enam küllalt talle määratud ruumi, ja meil esineb teatavakujuline vaimne kokkuvarisemine, mis väga võimalikult võib küündida vaimuhaiguse seni.

Esmajoones tabab see võimeid või tegevusi, millest võtavad osa kõige pikemad neuroniahelikud. On olemas märkimisväärne tõend, et nendeks on just need talitlused, mida meie tavalise hindamise järgi peetakse kõrgeimateks. Tõendiks on see: temperatuuri tõus ligikaudu füsioloogiliste piiride ulatuses kutsub teatavasti esile nähu, et enamiku, kui mitte kõigi neuronitalitluste toimumise hõlpsus kasvab. See on suurem kõrgematel talitlustel, jämedalt võttes selles suurusjärgus, millega me tavaliselt nende «kõrguse» määra hindame. Ometi peab igasugune mingi talitluse hõlpsamaks muutumine mingis üksikus neuronist

ja sünapstist moodustuvas tervikus olema kuhjuv, sest neuron on liitunud jadamisi teiste neuronitega. Seega on toetuse hulk, mille mingi talitus temperatuuri tõusu kaudu saab, jämedaks mõõduks nende neuroniahelike pikkuse kohta, mida ta sisaldab.

Seega me näeme, et inimese aju üleolek teiste omadest tema poolt rakendatavate neuroniahelike pikkuse mõttes ongi põhjuseks, miks vaimsed häired osutuvad kindlasti kõige silmatorkavamateks ja tõenäoliselt kõige tavalisemateks just inimesel. On olemas veel teine, palju erilisem viis üsnagi samasuguste asjaolude arvestamiseks. Vaadelgem esiteks kahte kuju poolst sarnast aju, mille hall- ja valgeolluse kaaluline vahekord väljendub ühesuguse võrdetegurina, kuid mille mõõdud on erisugused vahekorras  $A : B$ . Olgu rakukehakeste ruumala hallolluses ja kiudude ristlõiked valgeolluses mõlemal ajal ühesuurused. Rakukehakeste arvud mõlemal juhul annavad siis vahekorra  $A^3 : B^3$ , ja pikamaaühenduste arvud vahekorras  $A^2 : B^2$ . See tähendab, et ühesuguse tihedusega toimekuse puhul rakkudes on toimekuse tihedus kiududes suuremal ajal  $A : B$  korda suurem kui väiksemal ajal.

Kui me võrdleme inimese aju mingi madalama imetaja omaga, siis näeme, et ta on hulga rohkem kurruline. Hallolluse suhteline paksus on peaaegu ühesugune, kuid ta on levinud kaugelt rohkem keerdunud käärudest ja vagudest moodustuval tervikul. Selle tulemuseks on hallolluse koguse suurenemine valgeolluse koguse arvel. Käärude sees on see valgeolluse kahanemine suuremal määral kiudude pikkuse kui nende arvu kahanemiseks, sest mingi käärude vastaskurrud on üksteisele lähemal, kui nad oleksid samamõõdulisel siledapinnalisel ajal. Teiselt poolt, mis puutub ühendustesse eri käärude vahel, siis vahemaa, mille need peavad ületama, kasvab aju kurrulisusega, kui ta üldse suureneb. Seega näib inimaju olevat päris tõhus lühimaaühenduste osas, kuid sootuks puudulik pikamaiste kaugliinide osas. See tähendab, et suhtlemisummiku korral peavad kannatama esmajoones just need talitlused, millesse on haaratud üksteisest üsna kaugeid aju osi. Seega need talitlused, millesse on haaratud mitmeid keskusi, hulk erisuguseid liigutamistegevusi ja suur hulk kujutlusi aheldavaid alasid, peaksid vaimuhaiguse juhtumisel olema kõige vähem püsikindlate hulgas. Need just ongi nendeks talit-

lusteks, mida me tavaliselt liigitaksime kõrgemate hulka, ja me saame teise kinnituse oma oletusele, mis näib leidvat kinnitust ka kogemuste najal, et kõrgemad talitlused manduvad vaimuhaigusega esmajoones.

On olemas mõningaid tõendeid, et pikamaistel radadel ajus on üldiselt kalduvus kulgeda väljaspool suuraju ja läbida risti madalamaid keskusi. Sellele viitab silmatorkavalt väike kahjustus, mille kutsub esile mõnede valgeolluse pikamaiste ajusilmuste läbilõikamine. Peaaegu näiks, nagu oleksid need pinnalised ühendused nii puudulikud, et nad vaid suudavad tagada väikese osa tegelikult vajalikest ühendustest.

Selles suhtes osutuvad huvitavateks erakordsed nähtused, mis avalduvad parema- või vasakukäelisuses jaaju poolkerade ülekaalukuses. Parema- või vasakukäelisust näib esinevat madalamatelgi imetajatel, ehkki ta on neil vähem silmatorkav kui inimesel, arvatavasti osaliselt seetõttu, et nende poolt täidetavad ülesanded nõuavad väiksemal määral kooskõlastust ja vilumust. Sellele vaatamata näib lihaste osavuses ilmnev valik parema ja vasaku poole vahel tegelikult olevat inimese omast väiksem isegi ka madalamatel esikloomalistel\*.

Tavalise inimese paremakäelisus, nagu seda hästi teatakse, on üldiselt seoses vasakuajulisusega ja vähemiku inimeste vasakukäelisus paremaajulisusega. See tähendab, et ajutalitlus ei ole ühtlaselt jagunenud mõlemale poolkerale ja üks neist — ülekaalukas poolkera — hõlmab kõrgematest talitlustest lõviosa. On tõsi, et paljud oluliselt kahepoolsed talitlused — näiteks need, mis kuuluvad nägemise valdkonda — on kumbki esindatud oma vastavas poolkeras, ehkki see pole õige *kõigi* kahepoolsete talitluste suhtes. Ent enamik «kõrgematest» aladest on koondunud ülekaalukasse poolkerasse. Näiteks on täiskasvanul teisejärgulise poolkera ulatusliku kahjustuse mõju kaugelt vähem tõsine kui samasuguse kahjustuse mõju ülekaalukas poolkeras. Oma elukäigu võrdlemisi varajasel ajajärgul tabas Pasteuri\* verevalum ajusse paremal pool, millest talle jäi mitte väga tugev ühepoolne halvatus — hemiplegia. Kui ta suri, võeti tema aju uurimisele ja leiti see kannatavat parempoolse kahjustuse all, mis oli nii ulatuslik, et võidi öelda: pärast tema kahjustust «oli tal ainult pool aju». Kindlasti oli seal ulatuslikke vigastusi niihästi kiirukui ka oimupiirkonnas. Sellest hoolimata sooritas ta pärast

seada kahjustust mõned oma kõige parematest töödest. Samasugune paremakäelise täiskasvanu vasakpoolne kahjustus oleks peaaegu kindlasti osutunud saatuslikuks ning oleks kindlasti tõuganud haige vaimse ja närviolase sandina looma seisundisse.

On mainitud, et olukord osutub märksa paremaks varajases lapseas, ja et esimese kuue elukuu jooksul võib ulatuslik ülekaaluka poolkera kahjustus sundida tavaliselt teisejärguliseks osutuvat poolkera tema ülesannetesse asuma, nii et haige näib kaugelt rohkem tavalisena, kui ta võiks seda olla siis, kui kahjustus peaks esinema hilisemal ajajärgul. See on täielikus kooskõlas üldise suure paindlikkusega, mida närvisüsteem ilmutab varajastel elunädalatel, ja suure jäikusega, mis tal kiiresti hiljem ilmsiks tuleb. On võimalik, et selliste tõsiste kahjustuste puudumisel on parema- või vasakukäelisus väga noorel lapsel võrdlemisi paindlik. Ent kaugelt enne, kui laps jõuab kooliikka, on loomulik parema- või vasakukäelisus ja aju ülekaalus kogu eluks välja kujunenud. Tavaliselt mõeldakse, et vasakukäelisus on tõsiseks ühiskondlikuks puuduseks. Arvestades enamikke tööriistu, koolipinke ja spordivahendeid, mis eelkõige on valmistatud paremakäelistele, peab see mõningal määral tõesti paika. Minevikus pealegi vaadati sellele mõninga ebauskliku põlastusega, mille kutsusid esile nii mõnedki väiksemad kõrvalkaldumised inimlikest normidest, nagu näiteks sünnimärgid või punajuukselisus. Kõigist sellistest ajenditest lähtudes on mõned inimesed püüdnud, ja isegi edukalt, muuta oma laste välist parema- või vasakukäelisust kasvatusel, ehkki nad muidugi ei saanud muuta selle füsioloogilist alust poolkerade ülekaalukuse näol. Seejuures ilmnes, et väga paljudel juhtudel need vahetatud poolkeradega lapsed kannatasid kogeluse all ja muude kõnelemise, lugemise ning kirjutamise häirete all sellisel määral, mis tõsiselt halvas nende väljavaheteid elus ja nende lootusi korrapärasele edasijõudmisele.

Praegu me näeme vähemalt ühte võimalikku seletust selle ebatavalise nähtuse kohta. Koos teisendkäre kasvatusmisega on leidnud aset osaline teisendpoolkera selle osa kasvamine, mis tingib vilunud liigutusi, nagu näiteks kirjutamisel. Kuna siiski need liigutused toimuvad kõige tihedamas ühenduses lugemise, kõnelemise ja muude tegevustega, mis on lahutamatus seoses ülekaaluka poolkeraga, peavad neuroniahelikud, mis seda laadi talitlustes esinevad,

ristuma poolkeralt poolkerale ja tagasi; ning mingi keerukama talitluse korral peavad nad seda tegema uuesti ja uuesti. Ometi on otseseid ühendusi poolkerade vahel — ajunidemeid\* — nii suures ajus, nagu seda on inimese oma, nii väikesearvuliselt, et neist on väga vähe kasu; ja poolkeradevaheline suhtlemine peab kulgema läbi mõnakeha ringteid pidi, mida me tunneme väga puudulikult, kuid mis on kindlasti pikad, napid ja katkemisele kalduvad. Selle tagajärjel toovad kõnelemise ja kirjutamisega ühenduses olevad talitlused väga tõenäoliselt esile suhtlemise ummiku ning kogelemine osutubki nendel kõige loomulikumaks asjaks maailmas.

Niisiis on inimaju arvatavasti juba liiga suur, et tõhusal viisil ära kasutada kõiki neid võimalusi, mida näib anatoomiliselt esinevat. Kassil näib ülekaaluka poolkera hävinemine kutsuvat esile suhteliselt vähem kahju kui inimesel ja teisendpoolkera hävinemine tõenäoliselt rohkem kahju. Igatahes on talitluste jagunemine kahe poolkera vahel palju ühtlasem. Inimesel on see võit, mis saavutatakse aju mõõtude suurenemise ja keerukamaks muutumise tulemusena, osaliselt viidud nullile selle asjaolu tõttu, et vähem elundeid saadakse tõhusalt üheaegselt ära kasutada. On huvitav mõtiskleda, et me võib-olla seisame nägu näo vastu ühega neist looduse kitsendustest, mille tõttu ülimalt eriotstarbeliseks muutunud elundid saavutavad taseme, millelt nende tõhusus hakkab langema ja mis viimati viib liikide väljasuremisele. Inimaju võib olla sama kaugel oma teel sellele hävitavale eriotstarbeliseks muutmisele nagu viimaste titanoteerlaste\* suured ninasarved.

## INFORMATSIOON, KEEL JA ÜHISKOND

Mõiste organisatsioonist, mille elemendid on ise väikesteks organisatsioonideks, pole ei tundmatu ega uus. Muistse Kreeka vabad liitriigid, Püha Rooma riik ja tema sarnastena moodustunud lääniliidud, Šveitsi Konföderatsioon, Ühendatud Madalmaad, Ameerika Ühendriigid ja paljud ühendriigid sellest lõuna pool, Nõukogude Sotsialistlike Vabariikide Liit on kõik näideteks organisatsiooni võimuastmetest poliitika valdkonnas. Hobbes'i\* Leviantan\* — inimesest riik, mis moodustub väiksematest inimolevustest, on üheks näiteks sellest samast mõttest, astmikus ühe astme võrra madalamal, kuna Leibnizil esinev käsitlus sellest, et elusolend olevat tõeliselt täiskogu, milles teistel elusolendel, sellistel, nagu vere punaliblel, on omaenese elu, osutub aga teiseks sammuks sellesamas suunas. Tegelikult on see vaevalt rohkem kui üheks filosoofiliseks eelaimuseks rakuteooriale, mille kohaselt enamik mõõdukas suuruses loomi ja taimi ning kõik suuremõõdulised neist on moodustunud ühikutest — rakkudest, millel on mitmed, kui mitte kõik iseseisva elusolendi tunnused. Mitmerakulised organismid ise võivad olla ehitustellisteks kõrgemaastmelistele organismidele, sellistele, nagu meripõis\*, mis on eristunud ainuõssete polüüpide liitkuju, milles mitmesugused isendid on erisugusel viisil muundunud, et täita kogu koloonia toitmise, toetamise, eritamise, paljunemise ja tervikuna säilimise ülesandeid.

Täpselt öeldes ei püstita selline kehaliselt ühendatud koloonia nagu eelmainitu mingit küsimust organisatsioonist, mis oleks filosoofilises mõttes sügavam kui see, mis kerkib üksikolendiga seoses oleva madalama taseme suhtes. Hoopis teisiti on inimese ja teiste ühiskondlike olenditega — paaviani\* või veisekarjadega, kobraste\* selt-singutega, mesilasperedega, herilase- või sipelgapesadega. Kogukondliku elu terviklikkuse määr võib väga hästi läheneda tasemele, mis ilmneb üksiku isendi käitumises, ent

isendil tõenäoliselt on kindlakujuline närvisüsteem püsivate topograafiliste \* seostega üksikosade vahel ning püsivate ühendustega, kuna aga kogukond koosneb isenditest ruumis ja ajas vahelduvate seostega, mitte aga püsivate, katkestamatute füüsiliste ühendustega. Mesilaspere kogu närvikoeks on mingi üksikmesilase närvikude; kuidas siis tegutseb mesilaspere kooskõlastatult, ja seejuures väga muutlikus, kohanduvus, korraldunud kooskõlas? Ilmselt peitub selle saladus tema liikmete vastastikusel suhtlemises.

Vastastikune suhtlemine võib tunduvalt muutuda keerukuselt ja sisult. Inimesel hõlmab see kogu keele ja kirjanduse keerukust ning väga paljut lisaks sellele. Sipelgatel tõenäoliselt ei sisalda ta palju rohkemat kui mõningaid lõhnu. On väga ebatõenäoline, et sipelgas saab eristada ühte sipelgat teisest. Ta kindlasti suudab eristada mingit sipelgat oma pesast mingist sipelgast kuskilt võrast pesast, ja võib abistada töös esimest, kuid hävitada teise. Mõnede väheste seda laadi väliste vastumõjude ulatusel näib olevat sipelga mõistus peaaegu samavõrd üksluine, kitiini \* suluksis nagu tema kehagi. See ongi, mida me *a priori* võime oodata mingilt loomalt, kelle kasvamise ajajärk ja suurel määral ka õppimise ajajärk on rangelt eraldatud küpse tegevuse ajajärgust. Ainukesed sidevahendid, mida me temas võime märgata, on sama üldised ja hajunud nagu hormonaalne sidesüsteem kehas. Muidugi lõhn — üks keemilistest aistingutest, üldine ja suunamata, nagu ta on — ei erine sugugi hormonaalsetest mõjutustest kehas.

Olgu vahepalana märgitud, et muskust \*, tsiibetit \*, kastooreumi \* ja selletaolisi sugulise peibutuse aineid imetajatel võib pidada kogukondlikeks välisteks hormoonideks, mis on hädavajalikud eriti üksiklastel loomadel, et viia sugupooli õigel ajal kokku, ning täidavad soo jätkamise ülesannet. Sellega ma ei kavatse väita, et nende ainete sisemine toime, kui nad kord on jõudnud haistmiselundisse, oleks pigem hormonaalne kui närvidel põhinev. On raske taibata, kuidas nad võivad olla puhthormonaalsed sellistes kogustes, mis on nii väikesed nagu need, mis osutuvad hõlpsasti tajutavaks; teiselt poolt, me teame liiga vähe hormoonide toimest, et eitada selliste ainete hormonaalse toime võimalikkust ka kaduvväikestes kogustes. Pealegi ei nõua avarad, kokkupõimunud süsinikuaatomite ringid,

mida leidub muskoonis\* ja tsibetonis\*, eriti suurt ümberkorraldust selleks, et moodustuks sidestunud ringidega struktuur, mis on iseloomulik suguhormoonidele, mõnedele vitamiinidele ja mõnedele kartsinogeenidele\*. Mul pole sugugi tahtmist avaldada mingit erilist vaadet selles küsimuses; ma jätan ta siia paika lihtsalt huvitava mõlgutusena.

Sipelga poolt lõhnade tajumine näib kutsuvat esile ülimal määral kindlakujulise käitumise; kuid lihtsa ärrituse, nagu näiteks mingi lõhna väärtus informatsiooni edasi toimetamisel sõltub mitte ainult ärritaja enese poolt edasi toimetatud informatsioonist, vaid samuti ka ärrituse saatja ja vastuvõtja kogu närvisüsteemi ehituslaadist. Oletame, et ma leian end olevat metsas koos kellegi aruka metslasega, kes ei oska kõnelda minu keelt ja kelle keelt ei oska kõnelda mina. Isegi ilma mingite, meile mõlemale ühiste märkidega kõnelemise leppemärkideta võin ma temalt paljugi teada saada. Kõik, mis mul tarvitseb teha, piirdub sellega, et olla erksalt valvas neil hetkedel, mil ta ilmutab erutuse või huvi tundemärke. Ma lasen siis oma pilgul ringi käia, osutades võimalust mööda erilist tähelepanu tema pilgu suunale ja jäädvustades endale mällu, mida ma näen või kuulen. Ei kesta kaua, kui ma juba avastangi neid asju, mis talle tähtsatena näivad, mitte seetõttu, et ta oleks teatanud mulle neist keelendite teel, vaid seetõttu, et ma ise olen neid märganud. Teiste sõnadega, ilma mingi olulise sisuta signaal võib saavutada tähenduse tema mees selle kaudu, mida tema sel silmapilgul märkab, ja võib saavutada tähenduse minu mees selle kaudu, mida mina sel silmapilgul märkan. Võime, mis avaldub selles, et ta taipab minu erilise elava tähelepanu hetki, osutub iseenesest keeleks, mis on sama mitmekesine oma võimalustes nagu see muljete ahelik, millest me mõlemad võime olla ümbritsetud. Seega võivad ühiskondlikud loomad omada elavaid, arukaid, paindlikke sidevahendeid juba kaua enne keele väljaarenemist.

Milliseid sidevahendeid ka tõug võiks omada, ikkagi on võimalik määratleda ja mõõta tõule käepärast olevat informatsioonikogust ning eristada seda informatsioonikogusest, mis on käepärast üksikolendile. Kindlasti pole informatsioon, mis on käepärast üksikolendile, ühtlasi käepärast ka tõule, kui ta mitte ei piiritle ühe üksikolendi käi-

tumist teise suhtes ega ole samaväärne tema käitumisega tõu tähenduses, ilma et ta oleks teiste üksikolendite poolt eristatav teistsugustest käitumisviisidest. Niisiis, küsimus sellest, kas teatav informatsioonilõik on tõule omane või üksnes isiklikult kättesaadav, sõltub sellest, kas ta lõpeb üksikolendis, eeldades mingit tegutsemisviisi, mida võib pidada ilmseks tõu teiste liikmete tegutsemisviisiks selles mõttes, et ta omakorda mõjutab nende tegevust ja nii edasi.

Ma kõnelesin tõust. Tegelikult on see suurema osa kogukondliku informatsiooni mõjupiirkonna kohta liiga laialdaseks väljendiks. Täpsemalt üteldes, kogukond ulatub ainult nii kaugemale, kui kaugemale ulatub tõhus informatsiooni üleandmine. On võimalik anda tema kohta teatud liiki mõõt, võrreldes seda otsustuste arvu, mis saabub mingisse rühma väljastpoolt, rühmas eneses kujunenud otsustuste arvuga. Nii me võime mõõta rühma iseseisvust. Rühma tegeliku ulatuse mõõtu väljendab see ulatus, mis tal peaks olema, et ta saavutaks kindlas ettemääratud astmes iseseisvuse.

Rühm võib omada rohkem rühmainformatsiooni või vähem rühmainformatsiooni kui tema liikmed. Rühm mitteühiskondlikke, ajutiseks kogunenud loomi sisaldab õige pisut rühmainformatsiooni, isegi kui tema liikmed võiksid üksikolenditena omada palju informatsiooni. Seda seetõttu, et väga vähe sellest, mida üks liige teeb, leiab tähelepanu teiste poolt ja avaldab neile mõju sel teel, et kandub rühmas edasi. Teiselt poolt, inimorganism sisaldab tõenäoliselt tohutul hulgal rohkem informatsiooni, kui seda esineb mis tahes tema rakus. Seega pole olemas mingit paratamatut mõlemasuunalist seost tõu või suguharu või kogukonna informatsioonikoguse ja informatsioonikoguse vahel, mis on käepärast üksikolendile.

Nii pole kogu informatsioon, mis on käepärast tõule, samaaegselt ilma erilise ponnistuseta kättesaadav ka üksikolendile. On üldtuntud kalduvuseks raamatukogude takerdumine omaenese suure mahu kammitsatesse; teaduste arenemine sellisel määral erialalisteks, et asjatundja osutub väljaspool oma täppiseriala sageli kirjaoskamatuks. Doktor Vannevar Bush soovitas kasutada tohutute materjalikoguste läbiuurimiseks mehaanilisi abivahendeid. Need tõenäoliselt toovad omalt poolt kasu, kuid nad on piiratud oma võimetusega liigitada mingi raamat tundmatu liigi-

pealkirja alla, ilma et keegi vastav isik oleks juba teinud kindlaks tolle liigipealkirja kuuluvuse just sellele raamatule. Juhul kui kahel teosel on ühesugune käsitluslaad ja mõisteline sisu, kuid nad kuuluvad kaugelt erinevatele aladele, nõuaks see siiski mingit peaaegu Leibnizi taolist kõikehaaravate huvidega isiksust.

Seoses kogukondlikult tõhusa informatsioonikogusega on riikliku ühiskonna suhtes üheks kõige üllatavamaks seigaks, et seal esineb äärmine puudus mõjukatest homöostaatilistest\* vahenditest. Esineb tõekspidamine, mis on levinud paljudel maadel ja on Uhendriikides ülendatud nagu mingisse usundi ametliku põhitõe astmesse, et vaba võistlus ise ongi mingiks homöostaatiliseks vahendiks: et vabaturul annab kaubitsejate isikupärane omakasupüüd, kellest igaüks püüab müüa võimalikult kallilt ja osta võimalikult odavalt, lõppude lõpuks tulemuseks püsiva hindade liikumise ning aitab kaasa suurimale kogukondlikule hüvangule. See on ühenduses väga lohutava arvamusega, et üksik ettevõtja, ajades taga isiklikku kasu, on teataval viisil avalikuks heategijaks, ja on niisiis pälvinud suuri tasusid, millega ühiskond on teda üle külvanud. Kahjuks on alltoodud tõend vastu sellele lihtsameelsele teooriale. Turg on mäng, mis on tõepoolest saanud mingiks pettepidiks Monopoli<sup>1</sup> perekonnamängus. Ta allub seega rangelt üldisele mängude teooriale, mille on arendanud von Neumann ja Morgenstern. See teooria põhineb eeldusel, et iga mängija, pidades igal astmel silmas talle siis käepärast olevat informatsiooni, mängib kooskõlas täiesti aruka ettevaatlikkusega, mis lõpuks peab talle töötama suurimat võimalikku lootust tasule. Seega on turg mänguks, mida mängitakse täiesti arukate, täiesti halastamatute äriomanike vahel. Isegi kahe mängija korral on teooria keerukas, kuigi ta sageli suunab kindla mängukava valikule. Paljudel juhtudel siiski, mil on olemas kolm mängijat, ja rõhuval enamikul juhtudel, kui mängijate arv on suur, osutub tulemus äärmiselt umbmääraseks ja ebakindlaks. Üksikud mängijad on sunnitud omaenese ahnuse tõttu moodustama liite;

<sup>1</sup> **Monopol** (kreekakeelsetest sõnadest *monos*=üks, *ainu-* ja *po-*leo=müün) üldiselt tähendab ainuõigust millelegi, samuti ka suurkapitalistlikku koondist; siin esineb see sõna just viimases tähenduses ja on ka tõlkes antud algteksti eeskujul siinses, teatavas mõttes pilkelaus suure algustähega. (*Toim.*)

kuid need liidud üldiselt ei moodustu mingil ainsal määratud viisil ning tavaliselt lõpevad reetmise, ülejoosikluse ja pettuse segadikus, mis osutub vaid ülimalt tõetruuks pildiks kõrgest äritsemisest või sellega tihedas seoses olevast poliitilisest elust, diplomaatiast ja sõjast. Pikapeale peab isegi kõige hiilgavamad ja põhimõttelagedamad hangeldajat ootama laostumine; kuid tarvitseb aga hangeldajail tüdineda sellest ja nõustuda üksteisega rahus elama, kui juba on kogunenud tagavaraks hiiglaslikud tasud selle ühe jaoks, kes varitseb soodsat aega, et murda oma kokkulepet ja petta oma ärikaaslasi. Pole olemas mitte mingit homöostaasi. Me oleme haaratud äritegevuses elavnemise ja luhtumise vaheldumistesse, diktatuuri ja revolutsiooni järgnevustesse, sõdadesse, mille igaüks kaotab, mis kõik on nii tõelisteks käesoleva aja iseloomustajateks.

Muidugi, von Neumanni pilt mängijast kui täiesti arukast, täiesti halastamatust isikust on üldistuseks ja tõsiasjade pahupidi pööramiseks. Harva võib leida suurel hulgal põhjalikult tarku ja põhimõttelagedaid isikuid üheskoos mingit mängu mängimas. Kus kogunevad kelmid, seal leidub alati lolle; ja kus on piisaval arvul kogunenud lolle, esinevad nad haletsusväärsete olevustena üsna tulusaks kurnamiseks kelmidele. Lolli hingeelu on kujunenud ainevallaks, mis täielikult väärib kelmide tõsist tähelepanu. Selle asemel, et kuidagi von Neumanni mängumehe eeskujul olla valvel ainult omaenese lõpphuvide eest, tegutseb loll niisugusel viisil, mis, üldiselt rääkides, on samavõrd ennustatav nagu roti rabelemine rägastikus. See pettuste poliitika, või õigemini tõe suhtes tähtsusetute väidete poliitika, sunnib teda ostma teatud marki sigarette; *too* poliitika ajendab teda, või vähemalt nii partei loodab, hääletama teatud kandidaadi, mis tahes kandidaadi poolt, või ühinema poliitilise nõiaküttimisega. Teatav täpipealne segu usundist, nilbusest ja ebateadusest tagab pildiajakirjale läbimüügi. Teatav sulam lipitsemisest, altkäemaksuvõtmisest ja hirmutamisest tõukab noore teadlase töötama juhitavate mürskude või aatomipommi alal. Et neid määrata, on meil olemas oma masinavärk ringhäälingu teel hindamiste harrastamiseks, mitteametlikud proovivalimised, vaadete küsitlemised ja teisi hingelaadi uurimisi, mille asjaosaliseks on tavaline inimene; ja alati leidub statistikuid, ühiskonnateadlasi ning majandusteadlasi, keda saab ära kasutada müüma oma teenuseid neile ettevõtetele.

Meie õnneks ei ole need valede suurkaupmehed, need kergeusklike kurnajad veel jõudnud sellisele täiuslikkuse astmele, et asjad toimuksid kõik nende tahtmist mööda. Nii on seetõttu, et ükski inimene pole ei täiesti loll ega täiesti kelm. Keskmise inimene on üsnagi mõõdukalt arukas, niipalju kui puutub asjadesse, mis ulatuvad tema otsese tähelepanu alla, ja üsnagi mõõdukalt teistest hooliv avalikkusele kasuks tulevates asjades või üksikisikute kannatuste suhtes, mis tema enese silma all on aset leidnud. Väikeses külakogukonnas, mis on küllalt kaua kasvanud, et seal on saanud arukas ja käitumine areneda teataval määral ühetaolisele tasemele, esineb üsna silmatorkavalt eeskujulik hoolitsus õnnetute eest, haldus teede ning muude avalike ehitiste üle, leplikkus nende suhtes, kes ühel või paaril korral on ühiskonna vastu eksinud. Kõigest hoolimata on need inimesed seal, ja ülejäänud osa kogukonnast peab jätkama nendega koos elamist. Teisest küljest ei sobi sellises kogukonnas ühelgi inimesel olla harjumust oma naabrite ületrumpamiseks. On olemas teid, et anda talle tunda avaliku arvamise kaalu. Mõne aja pärast tundub see talle nii kõikvõimsana, nii vältimatuna, nii kitsendavana ja rõhuvana, et tal tuleb soov jätta kogukond enesekaitseks maha.

Niisiis on väikestes tihedalt liitunud kogukondades olemas väga märkimisväärselt korraldunud homöostaas; ja seda sõltumata sellest, kas nad on kõrgelt haritud kogukonnad mingil tsiviliseeritud maal või algeliste metslaste külad. Nii võõrastavad ja isegi vastikud, nagu paljude metsinimeste tavad meile ka näida võiksid, üldiselt on neil üsna kindlapiiriline homöostaatiline väärtus, mille tõlgendamise osutub üheks osaks antropoloogide tegevusest. Seda esineb vaid suures kogukonnas, et asjade isandateks olivad<sup>1</sup> kaitsevad endid nälja eest rikkusega, avaliku arvamise eest saladuskattega ja nime varjamisega, salajase arvustuse eest laimukirju taunivate seadustega ja sidevahendite valdamisega, et halastamatus võiks saavutada oma kõige ülevama taseme. Kõigist neist antihomöostaatistest\* teguritest ühiskonnas osutub kontroll sidevahendite üle kõige tõhusamaks ja kõige tähtsamaks.

<sup>1</sup> Algtekstis esineva väljendi all *Lords of Things as They Are*, mis on siin tõlgitud *asjade isandateks olivad*, nähtavasti mõeldakse Ameerika multmiljonäre. (Tõlk.)

Üheks käesoleva raamatu õpetuseks on, et iga organism hoidub oma tegevuses koos informatsiooni hankimiseks, ärakasutamiseks, säilitamiseks ja üleandmiseks määratud vahendite valdamise tõttu. Ühiskonnas, mis on oma liikmete otseseks kokkupuuteks liialt suur, osutuvad sellisteks vahenditeks trükisõna — niivõrd kui see puutub raamatutesse ja kuivõrd see puutub ajakirjandusse, raadio, telefonise, telegraaf, post, teater, kinofilmid, koolid ja kirik. Lisaks endi otsesele tähtsusele sidevahenditena täidab neist igaüks veel muud kõrvalülesannet. Ajakirjandus on teadaannete levitusvahendiks ja tööriistaks rahalisel kasu toomisel oma omanikule, nagu seda on samuti ka kinofilmid ja raadio. Kool ja kirik pole mitte ainult varjupaigaks õpilasele ja vagale, vaid nad on ühtlasi koduks õilsale kasvatajale ja piiskopile. Raamat, mis ei teeni raha oma kirjastajale, tõenäoliselt ei lähe trükki, kindlasti aga ei lähe kordustrükki.

Meie omaga sarnanevas ühiskonnas, mis avalikult põhineb ostmisel ja müümisel, milles kõiki looduslikke ja inimvarusid peetakse täielikuks selle esimese ärimehe omandiks, kes oli küllalt ettevõtlik, et asuda neid oma huvide ära kasutama, kalduvad need sidevahendite kõrvalpaale ikka rohkem ja rohkem nende põhikülgedele õigusi piirama. Seda soodustab nende vahendite endi äärmine keerulisus ja sellest tulenev maksumus. Maa-ajaleht võib edaspidigi kasutada omaenese kirjasaatjaid, et kuulujuttude jaoks sõeluda läbi ümbruskonna külasid, kuid ta ostab oma üldrahvalikud uudised, oma sündikaadi<sup>1</sup> juhtkirjad, poliitilised mõt-

<sup>1</sup> Sündikaat on ameerika ajakirjanduses koondis, mis pakub kirjutiisi, ülevõtteid ja muid selliseid materjale nende üheaegseks avaldamiseks paljudes ajakirjades. (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

<sup>2</sup> Siin on väljend *stereotüüpne* «katlaplekk» antud algtekstis esineva väljendi *stereotyped* «boiler plate» vastena; *stereotüüpne* (kreeka-keelsetest sõnadest *stereos*=tahke ja *typos*=tõmmis) tähendab muutumatuna korduvat ehk täpset teisendit; see mõiste pärineb trükitehnikas esineva menetluse *stereotüüpia* ehk *stereotüüpeerimise* nimetusest; viimane tähendab trükiste valmistamist stereotüüpide abil, mis kujutavad endast trükilaost või -klišeest tervikliku metall-, kummi- või plastmassvormina võetud teisendeid, mille abil valmistatakse kordustrükke või väga suure trükiarvuga väljaandeid, eriti nn. rotatsioonmasinatel; *boiler plate* otseses tõlkes tähendab katlaplekki, s. o. pehmet lehtterast, millest valmistatakse aurukatelde trumleid; algtekstis esineb see väljend ülekantud tähenduses (jutumärkides), sest ka stereotüüp meenu tab koolutatud katlaplekki enne selle kujundamist katla trumliks. (Toim.)

teavaldused stereotüüpsete «katlaplekkidena»<sup>2</sup>. Raadio oma tulu mõttes sõltub tema kaudu kuulutajatest, ja nagu kõikjal, mees, kes torupillimängijale maksab, nimetab ka viisi. Suured teadeteagentuurid lähevad liiga palju maksma, et olla kättesaadavad mõõduka jõukusega kirjastajale. Raamatute kirjastajad koondavad tähelepanu raamatutele, mis loodetavasti oleksid vastuvõetavad mingile raamatuklubile<sup>1</sup>, kes ostaks üles mingi hiiglaväljaande tervikuna. Kolledži presidendil ja piiskopil, isegi kui neil puudub isiklik võimuahnus, tuleb juhtida kulukaid asutisi, ja nad võivad ainult otsida endale raha sealt, kus raha on olemas.

Seege esineb meil kõikjal sidevahendite kolmekordset kitsendust: vähem tulutoovate vahendite kõrvaleheitmist rohkem tulutoovate kasuks; tõsiasi, et need vahendid on jõukate inimeste väga piiratud klassi kättes ja niisiis loomulikult väljendavad selle klassi arvamusi; ning veel tõsiasi, et ühe peamise avara teena poliitilisele ja isiklikule võimule veetlevad nad eelkõige kõiki neid, kes sellise võimu poole püüdleavad. See süsteem, mis rohkem kui kõik teised peaks aitama kaasa ühiskondlikule homöostaasile, on heidetud otseselt nende kätte, kes kõige rohkem huvituvad mängust võimule ja rahale, mis, nagu me juba nägime, on üks peamisi antihomöostaatilisi sugemeid kogukonnas. Seepärast pole sugugi ime, et suuremad kogukonnad, mis on sellele lõhestavale mõjule vastuvõtlikud, sisaldavad palju vähem kogukondlikult kättesaadavat informatsiooni kui väiksemad kogukonnad, rääkimata juba inimest kujutavatest algosadest, kellest kõik kogukonnad üles ehitatud ongi. Nagu hundikari, ehkki lootkem, et vähemal määral, on riik rumalam kui enamik tema koostisosi.

Vastupidiselt sellele ilmneb äritegevust juhtivate isikute, suurte uurimisasutuste juhatajate ja nendetaoliste hulgas laialdaselt kuulda olevat kalduvust eeldada, et kogukond, kuna ta on suurem kui üksikolend, on ka palju arukam. Mõningal määral on see vaade tingitud ei millestki rohkemast kui lapsikust rõõmust suure ja pillava üle. Mõningal määral on ta tingitud sellest, et taibatakse suure ühistu võimalusi hüvangu heaks. Mitte vähe sellest siiski on ei midagi rohkemat kui otsustamine võimu väljavaadete üle ja Egiptuse lihapottide järele himustamine.

<sup>1</sup> Raamatuklubideks nimetatakse Ameerika Ühendriikides raamatu-kaubanduse ettevõtteid, kes perioodiliselt varustavad oma liikmeid või tellijaid uute raamatutega. (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

On olemas veel teine rühm selliseid, kes ei näe midagi head tänapäeva ühiskonna korralageduses, ja keda lootusrikas tunne, et peab leiduma mingi väljapääs, on viinud kogukonnas esineda võivate homöostaatiliste sugemetete ülehindamisele. Nii palju kui me neile isikutele ka kaasa tunneme ja kuidas ka tuleb hinnata seda tundeelamuslikku dilemma\*, mida nad endi ees näevad, ei saa me omistada eriti suurt väärtust seda laadi, igatsusest ajenduvale mõtlemisele. See mõttelaad on omane hiirtele, kui nad vaatavad näkku keerdküsimusele, kuidas kassile kella kaela riputada. Kahtlemata oleks meie hiirtele väga meeldiv, kui selle maailma röövellikkudele kassidele saaks kellad kaela riputatud, kuid kes võiks seda teha? Kes võiks meile tagada, et halastamatu võim ei võiks leida endale tee tagasi nende kätte, kes on kõige ahnemad tema järele?

Ma puudutan seda küsimust nende märkimisväärsete, ja ma mõtlen petlike lootuste pärast, mida mõned minu sõpradest püstitavad selles raamatus sisalduda võivate mis tahes uute mõtteviiside ühiskondliku tõhususe suhtes. Nad on kindlalt veendunud, et meie võime oma materiaalse ümbuskonna üle valitsemiseks on kasvanud tunduvalt kõrgemale meie võimest oma ühiskondliku ümbruskonna üle valitsemiseks ja meie arusaamisest selle üle. Seetõttu arvavad nad, et lähima tuleviku peamiseks ülesandeks on kanda antropoloogia, sotsioloogia, majandusteaduse aladele üle loodusteaduste meetodeid, lootes saavutada samasugusel määral edu ühiskondlikel aladel. Uskudes, et see on hädavajalik, hakkavad nad uskuma, et see on võimalik. Selles, ma rõhutan, nad ilmutavad ülemäärast optimismi\* ja kõigi teaduslike saavutuste olemuse väärmõistmist.

Kõik suured saavutused täppisteadustes on tehtud neil aladel, millel ilmneb väga tunduv nähtuse eraldatus vaatlejast. Astronoomia osas me oleme näinud, et see võib tuleb teatud erakordse nähtuse tohutust ulatusest võrreldes inimesega, nii et inimese kõige tugevamad pingutused, hoopiski rääkimata tema põgusast pilgust, ei suuda tekitada tühisematki silmanähtavat jälge taevases maailmas. Ajakohases tuumafüüsikas\*, teiselt poolt, mis on teaduseks sõnades väljendamatat täpsuse kohta, on tõsi, et ükskõik, mida me ka teeme, see avaldab paljudele üksikutele osakestele mõju, mis on oluline *tolle osakese seisukohalt*. Ent me ei ela huvialuste osakeste mõõtmes, ei ruumis ega ajas; ja sündmused, mis võivad olla suurima tähtsusega vaatleja

seisukohalt, kes ühtib nende olemasolu mõõtmetega, ilmnevad meile — tõsi küll mõningate eranditega, nagu Wilsoni\* udukambri\* katsetes — vaid keskmistena hulganähtustest, milledes esineb koos tohutul arvul osakesi. Nii palju kui see puutub nendesse nähtustesse, osutuvad ajavahemikud, millega on tegemist, üksiku osakese ja tema liikumise vaatekohalt suurteks, ja meie statistika teooriatel on oivaliselt sobiv alus. Lühidalt, me oleme liiga väikesed, et mõjutada tähti nende liikumistes, ja liiga suured, et võiksime hoolitseda millegi muu kui molekulide, aatomite ja elektronide hulganähtuste eest. Mõlemal juhul me saavutame küllaltki nõrga seose selle erakordse nähtusega, mida me õpime tundma selleks, et anda kaalukat täielikku seletust selle seose kohta, kuigi see ei tarvitse meil olla küllalt nõrk, et me võiksime ta täielikult tähele panemata jätta.

Ühiskonnateadustes on nii, et seos vaadeldava nähtuse ja vaateleja vahel on vaevalt nõrgendatav tema vähimale määrale. Ühelt poolt, vaateleja suudab avaldada märkimisväärt mõju nähtusele, mis köidab ta tähelepanu. Täielikus lugupidamises minu antropoloogidest sõprade arukuse, oskuse ja eesmärkide siiruse suhtes, ei saa ma mõelda, et iga kogukond, mida nad on uurinud, võiks kunagi olla täiesti samasugune ka hiljem. Mõnigi misjonär on igavese seadusena jäädvustanud oma isiklikke väärmõistmisi algelisest keelest selle kirjapanemiseks kohandamise käigus. Mingi rahva ühiskondlikes tavades leidub hulgaliselt seda, mis on hajunud ja moonutunud ainuüksi nende kohta toimunud küsitluste mõjul. Erinevalt sellest tähendusest, milles see on tavaliselt kindlaks määratud — *traduttore traditore*\*.

Teiselt poolt pole ühiskonnateadlasele sugugi kasulik vaadata oma ainealadele alla jahedatelt igaviku ja kõikehõlmavuse kõrgustelt. Väga võimalik, et on olemas ühiskonnateadus, mis käsitab inimkonna animalkuluste\* hulki nagu drosoofilate\* populatsioone\* põhukuhjas, kuid see pole ühiskonnateaduseks, millest meie, kes me ise inimkonna animalkulusteks olemegi, eriti huvi tunneksime. Me pole kuigi palju huvitatud inimkonna tõusudest ja mõõnadest, naudingutest ja ahastustest *sub specie aeternitatis*\*. Teie antropoloog jutustab tavadest, mis on seoses eluga, kasvatusega, tegevusega ja surmaga inimestel, kelle elukestus on peaaegu samasugune nagu tema enda omagi. Teie majandusteadlane on kõige rohkem huvitatud sellest, et ennustada niisuguseid äritegevuse ajajärke, mis möödu-

vad vähema kui ühe inimpõlvega; või vähemalt tekitavad vastukajased, mis mõjutavad inimest tema elukäigu erisugustel ajajärkudel erisuguselt. Vähesed tänapäeva poliitika mõttetarkadest hoolivad sellest, et piirduda oma uurimustes Platoni mõttemaailmaga.

Teiste sõnadega, ühiskonnateadustes on meil tegemist lühikeste statistiliste ridadega, ja me ei saa olla veendunud, et tunduv osa sellest, mida me tähele paneme, pole mitte meie endi loomingu viljaks. Väärtpaberite börsi uurimine tõenäoliselt osutuks väärtpaberite börsi segipaiskamiseks. Me oleme liiga suures kooskõlas oma uurimisaluste asjadega, et saaksime olla headeks proovimise tundlateks. Lühidalt, ükskõik kas meie uurimised ühiskonnateaduste alal on statistilised või dünaamilised — ja tõepoolest peaksid nad osutama mõlemateks, nad ei saa iialgi olla täpsed rohkema kui mõne üksiku kümnendkoha piires, ning lühemalt, ei saa meid kunagi varustada kinnitust leidnud tähendusriikka informatsiooniga sellises koguses, mis võiks olla võrreldav tollega, mida me oleme harjunud ootama loodusteadustes. Me ei saa endile lubada seda, et võiksime nende arvestamisest loobuda; samuti ei peaks me rajama liialdatud lootusi nende poolt pakutavate võimaluste suhtes. On olemas palju, mille me peame jätma, ükskõik kas see meile meeldib või mitte, kutselise ajaloolase «ebateadusliku» jutustava käsitlusviisi hoolde.

Esineb veel üks küsimus, mis õigupoolest kuuluks sellesse peatükki, aga ta ei kujuta endast mingil määral selle väidete haripunkti. Selleks osutub küsimus, kas on võimalik ehitada malet mängiv masin, ning kas sellega seoses olev oskus kujutab endast olulist erinevust masina ja mõistuse töövõime vahel. Märkigem, et meil ei tarvitse tõsta küsimust selle kohta, kas on võimalik ehitada masin, mis hakkaks mängima kõige soodsamakujulist mängu von Neumanni käsitluse mõttes. Isegi kõige parem inimaju ei lähene sellele. Teiselt poolt on kahtlemata võimalik ehitada mingi masin, mis hakkaks mängima malet selles mõttes, et ta järgiks mängujuhiseid, hoolimata mängu headusest. See kindlasti pole sugugi raskem, kui ehitada lukustussignaalide seadmestik raudtee tsentraalpostile. Tegelikult lähendamist nõudvaks ülesandeks on vahepealne: ehitada masin, mis pakuks mängijale huvitavat vastupanu mingisugusel neist paljudest tasemetest, mis vastaksid inimesest malemängijate omadele.

Ma mõtlen, et selleks otstarbeks on võimalik ehitada suhteliselt lihtsakoeline, kuid mitte täiesti labane seade. Masin peab tegelikult selgitama — nii suure kiirusega kui võimalik — kõik omaenese soodsaimad käigud ja kõik vastase soodsaimad vastuskäigud, kahe või kolme käigu võrra ette. Igale käikude jadale peab ta omistama teatud leppelise hinnangu. Seejuures saavutab vastase matistamine igas seisus kõrgeima hinnangu, ise matistada saamine aga madalaima; kuna aga malendi kaotus, vastase malendite võtmine, kuningale tuleandmine ja teised üldtuntud olukorrad peavad saavutama hinnangu, mis poleks väga erinev sellest, mille neile head mängijad omistaksid. Esimene mingist kogu käikude jadast peab saavutama peaaegu sama suguse hinnangu, nagu talle omistaks von Neumanni teooria. Seisus, milles masinal on käia ühte viisi ja vastasel ühte viisi, osutub mängule masina poolt antud hinnanguks vähim hinnang seisuga kohta pärast seda, kui vastane on tei-

nud kõik võimalikud käigud. Seisus, milles masinal on käia kahteviisi ja vastasel kahteviisi, osutub mängule masina poolt antud hinnanguks vähim, pidades silmas vastase esimest suurima hinnanguga käiku, mis on tehtud masina poolt astunud käikudele seisus, milles võib järgneda üksainus käik vastase poolt ning üks masina poolt. Seda võtet võib laiendada juhule, mil kummalgi mängijal on kolm käiku, ja nii edasi. Siis valib masin mingi nende käikude hulgast, mis annavad suurima hinnangu seisule  $n$  käigu võrra ette, kusjuures  $n$  omab mingit väärtust, mille oli talle valinud masina looja. Selle käigu teeb masin oma lõpliku käiguna.

Selline masin mitte ainult mängiks malet eeskirjade kohaselt, vaid ta mängiks malet ilmselt sugugi mitte nii halvasti, et see oleks naeruväärne. Igas seisus, milles oleks võimalik anda matti kahe või kolme käiguga, masin teeks seda; ja kui oleks võimalik vältida vaenlase poolt kahe või kolme käiguga tehtavat matti, masin väldiks seda. Ta tõenäoliselt võidaks oskamatut või hooletut maletajat, ja pea-aegu kindlasti kaotaks tähelepanelikule mängijale, kellel on mingi märkimisväärne vilumuse järk. Teiste sõnadega, ta võiks väga hästi olla sama heaks mängijaks, nagu on rõhuv enamik inimkonnast. See ei tähenda, et ta oleks saavutanud Maelzeli\* petturliku masina vilumuse järgu, kuid sellest hoolimata võib ta saavutada üsnagi tubli täiuslikkuse taseme.

MASIN ON TARGEM KUI TEMA VALMISTAJA<sup>2</sup>

Viimase kümne aastaga tekkis uus vaade sidetehnikale ja automaatide osale sidevahenditena. Selles valdkonnas tehtud töö võib juba jagada kahte järku. Esimeseks järguks oli see ajajärk, millal esines minu enese töö ja millal Claud Shannon — üks kõige omapärasemaid uurijaid selles valdkonnas — suunas oma pingutused selleks, et selgitada side olemust ennast, sidealaste mõõtmiste teooria ja tegelike kogemuste selgitamisele, sellele, et uurida juhtimist kui nähtust, mis oma olemuselt kuulub side valdkonda, ja üldse grammatikale, mis käsitleb seda uut teadust, millele ma andsin nimeks küberneetika.

Doktor Ashby\* töö moodustab küberneetika osa, mis tekkis juba selle teaduse koidikul ning on pühendatud mitte niivõrd mõistete ja oskussõnavara määratlemise algelistele küsimustele, kuivõrd nendele küberneetika filosoofia küsimustele, mis puutuvad küberneetiliste seadmetike eriomadustesse ning mis, ehkki käsitlevad määratlusi, osutuvad küsimusteks tõsiasjadest ja loogikast ning ulatuvad kaugele määratluste raamidest välja.

Nende küsimuste hulka, millega tegeleb doktor Ashby, kuuluvad järgmised: mis on õppimine? kas võime õppimiseks tuleb kanda masinasse masina väga eriotstarbelise

<sup>1</sup> Käesoleva raamatu venekeelses tõlkes ilmunud väljaande (Н. Винер, «Кибернетика», Изд. «Советское Радио», М., 1958) järgi tõlgitud. (Toim.)

<sup>2</sup> Wiener, N., A Machine Wiser Than its Maker, Electronics, 1953, vol. 26, № 6, pp. 368—374. Nagu ajakirja «Electronics» toimetust teatab, kirjutab N. Wiener selle artikli pärast seda, kui ta oli läbi lugenud raamatu W. R. Ashby «Aju ehitus» (Ashby, W. R., Design for a Brain, John Wiley & Sons, New York, 1952). Väljavõtte sellest W. R. Ashby raamatust, ja muide ka allpool mainitava homöostaadi kirjeldus on avaldatud lisana tema enese raamatu «Sissejuhatus küberneetikasse» venekeelses tõlkes (У. Р. Эшби, «Введение в кибернетику», ИЛ, М., 1958). See sisaldab ka kaalutlusi «masinatest, mis on targemad enda valmistajast», ehk nagu väljendab Ashby — «vaimsete omaduste võimenditest». (Venek. tõlke allteksti põhjal. Toim.)

korraldatuse teel või võib ilmutada kalduvust õppimiseks masin, mille korraldatus on tunduvalt määral juhuslik? kas masin saab olla targem oma loojast?

Kõik need küsimused võidakse esitada kahelt erisuguselt seisukohalt. Puhtbioloogiliselt seisukohalt käsitlesid neid arutlusi bioloogid sellest ajast peale, mil bioloogia väljus puhtteoloogiliste põhjenduste arengujärgust; muide on nad seoses nende küsimuste olemusega, mis puutuvad evolutsiooni ja eriti loomuliku valiku teel toimuvasse darvinistlikku evolutsiooni. Mehaanika seisukohalt kerkivad need küsimused seoses tunduvalt piiratumate masinatega, mida loob inimene, ja nende tingimustega, millele ta peab alluma, võttes teadlikult enesele looja ülesande.

#### INIMESE POOLT LOODAVAD MASINAD JA LOODUSE POOLT LOODAVAD MASINAD

Hinnates looduslike masinate suuremat tõhusust ja nende siseehituse ning tegutsemisviisi suuremat kohanemisvõimet, võrreldes masinatega, mis on loodud inimese poolt, tuleb siiski märkida, et masinad, mis on loodud inimese poolt, töid teaduse relvalattu uue relva eluslooduse tundmaõppimiseks ja teoreetilisteks uurimisteks. Nende osa sarnaneb drosoofila osaga. Viimane nagu oleks sihilikult selleks loodudki, et muuta geneetikat sajandeid kestvate vaatluste teadusest, milleks ta paratamatult oleks olnud juhul, kui ta oleks pidanud piirduma vaatlustega inimese ja suurte koduloomade jälgimiseks, teaduseks, mis on kooskõlastatav väikese bioloogialaboratooriumi piiratud ruumiliste ning ajaliste tingimustega. Täpselt samuti töötavad inimese poolt loodud masinad taandada meie poolt toimuva bioloogiliste õppimise ja kohandumise, isikupärase arengu ja evolutsiooni nähtuste tundmaõppimise sellistesse mõõtmetesse, mille puhul me suudame neid raskesti taibatavaid nähtusi õppida tundma täie veendumuse ja täpsusega, mis on võrreldavad nendega, mis meil esinevad füüsika- ja tehnikalaboratooriumis. Teadlaste hulgas, kes mitte ainult kõnelevad neist asjust, vaid tõepoolest ka midagi teevad, on ühele tähtsamale kohale asunud doktor Ashby.

Loomuliku valiku põhimõte, mida Darwin on evolutsiooniteoorias rakendanud, seisneb selles, et Maa flora ja fauna koosnevad vormidest, mis on jõudnud meieni lihtsalt

jääkvormidena, mitte aga mingisuguse täiuslikkusele püüdleva tegevuse tulemusena. See pole mitte marmoritükk, mis on loova kunstniku kätes muutunud täiuslikuks raidkujuks, vaid on pigem üks neid tuule poolt kujuks raiutud liivakivisambaid, mis kaunistavad Utah' [loe: juute'] osariigi kanjoneid\*. Juhuslikud üksteisele järgnevad uuristustegevused omavahel liitudes kujundasid need kivisambad, millel on losside ja mälestussammaste välimus ning isegi inimeste ja loomade kuju. Kuid nende ilu ja pildirikkus pole sellised nagu maali ilu ja pildirikkus, vaid on sellised nagu Rorschachi laikudel — teiste sõnadega, mitte kunstniku silma jaoks, vaid vaataja silma jaoks. Selletaoliselt see näiline teodiike\*, millele viitab lõpmata keeruka looduse-riigi hiilgus ja tarkus, kujutab endast vastavalt darvinismile vaid seda, mis jäi üle pärast juhuslikku kasvamise ja muutumise arengujärku, mil õrnemad ja vähem vastupidavad avaldumisvormid hävisid aegade liiva toimel ja omaenese jõuetusest tuleneva koorma mõjul.

#### PUSIKINDLUS — MAAILMA ISELOOMUSTAJA

Looduses võib panna tähele veel ühte jääkvormide moodustumise viisi, mis on suguluses loomuliku valikuga, kuid omab veidi teistsugust mõtet. Abikaasade Curie'de\* tööde aegadest peale me teame, et mõnede elementide aatomid teevad läbi üha kasvava muunduse. Kui võtta raadiumiaatom, siis varem või hiljem toimub temas tingimata muundus, millega seoses ta hakkab välja saatma raadiumiannatsiooni. Me ei saa ütelda, kunas toimub see muundus, sest nähtavasti toimub see juhuslikuna. Kuid me võime ütelda, et teatud aja pärast — mida nimetatakse raadiumi poolestuskestuseks — tõenäosus selleks, et muundus toimus, osutub võrdseks ühe kahendikuga.

Kuid radioaktiivsetel elementidel tuleb taluda mitte ühteainsat muundust, vaid tervet jada üksteisele järgnevaid muundusi teisteks elementideks, ja igal neist on oma poolestuskestus. Suure poolestuskestusega elementide suhtes võib ütelda, et nad on püsikindlad, väikese poolestuskestusega elementide suhtes — et nad on ebapüsivad. Kui me jälgime mingit elementi tema muundustes, siis üldiselt üteldes, ta esineb pikka aega elementidena, millel on suur poolestuskestus, ja lühikest aega elementidena, millel on

väike poolestuskestus. Järelikult, vaadeldes seda olukorda pikema ajavahemiku jooksul, selgub meile, et suurema poolestuskestusega elemente kohtab sagedamini kui väikese poolestuskestusega elemente. See tõendab, et uurimisel, mille puhul me vaatleme rohkem levinud elemente ega jälgi üksiku aatomi elukäiku, me tõenäoliselt ei pane tähele suure radioaktiivsusega aineid, millel on väikene poolestuskestus. Siit me näeme, et püsikindlus on omane suuremale osale maailmast. Seega, ebapüsivate esinemisviiside puudumist, mida me avastame bioloogilistes jadades seetõttu, et nad pole võimelised üle elama võitlust olemasolu eest, võib märgata radioaktiivsete elementide evolutsioonis tingituna sellest, et ebapüsivad vormid mööduvad niivõrd kiiresti, et me ei märka neid, nii nagu me märkame püsikindlaid vorme.

Üheks tulemuseks sellest püsikindluse statistilisest ülekaalust maailmaruumis osutub see asjaolu, et me väga vähe teame sellest, mis toimub ebapüsivuse iseloomulikel ajavahemikel. Mainigem näiteks hästi tuntud nähtust, mille on avastanud Arthur Compton\*: footoni kokkupõrkel elektroniga põrkuvad mõlemad sellistes sihtides, mida saab määrata kindlaks vaid statistiliselt. Esineb vähemalt kahtlus, et tõepoolest elektron ja foton, mis esialgu ei ole ühinenud, astuvad siin ühendusse liiga lühikeseks ajaks, et me saaksime määrata kindlaks sündmuste tõelist käiku, ja et seejärel nad väljuvad sellest ühendusest üha nõrgemate ühenduste kaudu, millest igaüks kulgeb isemoodi. Mõned füüsikud, näiteks Bohm\*, püstitasid oletuse, et tegelik sündmuste käik polegi niivõrd määramatu, nagu eelõeldu, kuid et selle lühikese ajavahemiku jooksul, mil osakesed asetsevad koos, leiab aset väga keerukas sündmuste järgnevus, mis määrab ära nende edaspidise käitumise. Kui see on tõsi, siis on suurem osa kõige olulisemaid füüsikalisi nähtusi meile teadmata, sest me läbime nad nii kiiresti, et me neid ei märka.

Mis puutub neisse kahte liiki loomulikku valikusse: loomulikku valikusse kõlbmatu hävimise tagajärjel ja loomulikku valikusse selle tagajärjel, et me läbime ebapüsiva olukorra erakordse kiirusega, siis viimane ilmneb säilimise nähtustes, mis takistavad ebapüsiva lihtsat kõrvaldamist. Ashby käsitleb ülikeerukaid masinaid, milles üksikosad on omavahel ühendatud enam või vähem juhuslikul viisil, nii et me teame ühte-teist ühenduse statistikast ja väga vähe

ühenduse üksikasjadest. Need masinad, üldiselt võttes, hävivad väga kiiresti, kui neis pole võetud kasutusele kaitseosi, mis sarnanevad amplituudipiirajatega\* elektrilülitustes. Nende piirajate toime annab seadmestikule teatava alalhoidlikkuse võime. Seetõttu püüavad Ashby masinad veeta suurema osa oma olemasolust suhteliselt püsikindlates seisundites, aga nende ebapüsivad seisundid, ehkki neid esineb, on siiski ajaliselt nii piiratud, et nad seadmestiku statistilisel tundmaõppimisel avalduvad väga vähe.

Tuleb pidada silmas, et elunähtustes ja käitumistes huvitavad meid suhteliselt püsikindlad seisundid, mitte aga absoluutselt püsikindlad. Absoluutne püsikindlus on saavutatav ainult väga suurte entroopia väärtustel ja õigupoolest kujutab enesest soojuslikku surma. Kui aga süsteem on selle soojusliku surma eest kaitstud mingisuguste tingimuste tõttu, millele ta allub, siis veedab ta suurema osa oma olemasolust seisundis, mis pole mitte täieliku tasakaalu seisunditeks, kuid sarnanevad tasakaalu omadega. Teisiti üteldes, entroopia omab siin mitte absoluutset, vaid suhtelist suurimat väärtust, või vähemalt ta muutub väga aeglaselt nende seisundite piirolukordades. Just nimelt sellised tasakaalu taolised, mitte aga tõeliselt tasakaalus olevad seisundid on seoses eluga ja mõtlemisega ning kõigi muude orgaaniliste nähtustega.

#### MASIN SILMADE JA KÕRVADEGA?

Ma eeldan, et ühtib täielikult Ashby mõttega, kui ütelda, et need tasakaalus olevatega sarnanevad seisundid oma olemuselt osutuvad, üldiselt kõneldes, seisunditeks, mille puhul toimub suhteliselt väikene energia ülekanne süsteemi enese ja ümbritseva keskkonna vahel, kuid sellele vaatamata toimub suur informatsiooni vahetamine. Süsteemid, mida käsitleb doktor Ashby, omavad silmi ja kõrvu ning seetõttu saavad andmeid ümbritseva keskkonnaga kohandamiseks. Nad lähenevad automaatidele oma sisemise energiatasakaalu mõttes, kuid on väga kaugel automaatidest oma välise entroopia- või informatsioonitasakaalu mõttes. Seetõttu võib tasakaal, millele nad lähenevad, olla niisuguseks tasakaaluks, mille puhul nad on hästi kohandatud muutustele väliskeskkonnas ja teatud määral ebapüsivad nii-

suguste muutuste suhtes. Nad on osalise homöostaasi seisundis.

Doktor Ashby homöostaat kavandati riistana, millel on just niisugune side väliskeskkonnaga ja millel ilmneb teataval määral juhuslikkus siseehituses. Selline masin võib õppida piiratud määral, s. t. ta võib kohandada oma käitumise laadi püsikindla tasakaaluolekuga ümbritseva keskkonna suhtes. Kuid tõelised homöostaadid, mis seni on doktor Ashby poolt üksikasjaliselt kavandatud, ehkki on võimelised neelama informatsiooni ümbritsevast keskkonnast, sisaldavad oma sisekoetises informatsiooni ja otsustuste koguse, mis on liiga suur võrreldes sellega, mis saabub, nõnda ütelda, nende tundeelundite kaudu. Lõpptulemusena on need masinad võimelised õppima, kuid tegelikult pole nad targemad oma loojatest või on ligikaudu sama targad. Sellest hoolimata doktor Ashby eeldab, et tegelikult on võimalik luua masinaid, mis on palju targemad kui nende loojad; ja selles olen ma temaga täiesti ühel arvamusel. Pole olemas piiramist *a priori* selle informatsioonikoguse suhtes, mida võib riist märgata oma tundeelundite kaudu, nii et see ei nõua suuremal arvul otsustusi kui too, mis juba oli mahutatud tema koetisse. Üldse, süsteemi võime neelata informatsiooni kasvab algul üsnagi aeglaselt, võrreldes temasse mahutatud informatsioonikogusega. Ja vaid pärast seda, kui mahutatud informatsioon ulatub väljapoole teatud punkti, hakkab masina võime neelata edasi informatsiooni jõudma järele tema koetise siseinformatsioonile. Kuid teatava keerukuse määra puhul võib hangitud informatsioon mitte ainult olla võrreldav sellega, mis oli algul masinasse mahutatud, vaid kaugelt seda ületada, ja sellest keerukuse astmest alates omandab masin mõningad elusolendi olulised omadused.

#### ON VAJA KEERUKUST

Käsiteldav olukord lubab teha huvitava võrdluse aatomipommiga, aatomireaktoriga ja tulega koldes. Kui te püüaksite ehitada liiga väikestes mõõtudes aatomireaktori või aatomipommi, või süüdata suure tammehalu ühe tikuga, te veenduksite, et igasugune teie poolt esilekutsutud tuumareaktsioon või keemiline reaktsioon kustub niipea, kui tema ergastaja eemaldatakse, ega hakka kunagi kasvama

või püsima ühel tasemel. Vaid siis, kui süütaja saavutab teatud suuruse, või aatomireaktorisse koondatakse teatud kogus molekule, või uraaniisotoobi mass saavutab teatud, plahvatuseks küllaldase määra, olukord muutub ja me saame näha mitte ainult mööduvaid ning ebatäielikke protsesse. Sarnanevalt sellega algavad tõeliselt olulised ja toimekad elu ning õppimise nähtused alles pärast seda, mil organism saavutab teatava otsustava keerukuse määra; ja ehkki see keerukus tõenäoliselt on saavutatav puhtmehaaniliste, mitte eriti keerukate vahendite abil, ikkagi on vaja niisuguste vahendite äärmuseni ulatuvat pingutust.

Sellest arutelust, mis on pühendatud vaid mõnedele doktor Ashby raamatu juhtmõtetele, võib näha, et see võimaldab meil tungida kaugemale mõtte uutesse valdkondadesse. Ehkki doktor Ashby põhiliselt valitseb matemaatilisi kujutlusi väga kõrgel määral, ei osutu ta täies mõttes elukutseliseks matemaatikuks, ja elukutseliste matemaatikute ülesandeks jääb paljude tema poolt kavandatud põhimõtete teostamine. Ta ei nimeta end elukutseliseks matemaatikuks; kuid ta kahtlemata omab süvenemisvõimet ja kõrgeid vaimuandeid, ning tema raamat tuleb lugeda läbi, kuna see osutub üheks esimeseks viljaks sellel põllul, mis väärrib edasist harimist.

**Ad hoc** [loe: *ad hok*] on ladinakeelne väljend, mis tähendab *selleks*, s. t. mingiks kindlaks otstarbeks või juhtumiks; mingile üksikjuhule sobitatud.

**Aditiivsus** (ladinakeelsest sõnast *additivus*=juurdeantav, lisandatav) on suuruste see omadus, et suuruse väärtus, mis vastab tervikeselele, võrdub summaga neist suuruse väärtustest, mis vastavad eseme osadele tema ükskõik millise jaotuse korral; näiteks mahu aditiivsus tähendab, et keha maht võrdub teda moodustavate osade mahtude summaga; aditiivsus ilmneb ka niisugustel suurustel, nagu joone pikkus, pinna pindala, keha mass jms.

**Aegread** ehk dünaamilised read ehk kronoloogilised read on statistilised \* arvuread, mis näitavad nähtuste muutumist ajas.

**Afekt** (ladinakeelsest sõnast *affectus*=erutus) ehk pahvak kujutab võrdlemisi järsku tekkivat erutust, mis on seoses mitmesuguste muutustega hingeelus ja kehalises talitluses ning millega kaasneb tahtelise enesevalitsemise kadu tingituna peaaegu koore pidurdava toime ajutisest lakkamisest; afektiivne tähendab: afektist tingitud; afektiivne toonus on seega meeleliigutusest ehk erutusest tingitud ebatavaline pingus.

**Afiinne** (ladinakeelsest sõnast *affinis*=naabruses olev): näiteks äfiinne geomeetria on õpetus suurustest ja geomeetristest kujunditest, mis jäävad afiinsetel teisendustel muutumatuiks; afiinsed teisendused on sellised tasapinna või ruumi teisendused, et sirged teisenduvad sirgeteks ja säilib rööbitiolek.

**A fortiori** on ladinakeelne väljend, mis tähendab *seda enam*.

**Akustik** (kreekaakeelsest sõnast *akustikos*=kuulmis-) on eriteadlane akustika küsimustes; **akustika** on õpetus helidest ja ehitiste ruumilise kõlavuse tingimustest.

**Algoritm** (sõna pärineb araabia keelest, tulenedes matemaatiku Al-Khwārizmī\* nimest) tähendab arvutuseeskirja, antud liiki ülesande lahendamiseks ettenähtud tehete kombinatsiooni, mis võimaldab ülesannet lahendada igal üksikjuhul (kuid ei tarvitse esineda üldiseks valemiks kokkuvõetuna), näit. Eukleides\* algoritm kahe lõigu ühismõõdu või kahe täisarvu suurima ühisteguri leidmiseks aheljagamise teel, ruutjuure leidmise algoritm, jm.

**Amiinohapped** on orgaanilised happed, milles radikaali üks vesinikuatoom on asendatud nn. amiinorühmaga NH<sub>2</sub>; nende tüüpilisemaks esindajaks on glükokoll ehk glütsiin — amiinoäädikhape NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>·COOH; nad tekivad valkainetest ja etendavad olulist tähtsust taimede ning loomade ainevahetuses.

**Amplituud** (ladinakeelsest sõnast *amplitudo*=ulatuvus) tähendab füüsikas suurimat võnkeulatust — võnkuva keha suurimat hälvet oma tasakaaluasendist.

**Amplituudimodulatsioon** vt. modulatsioon.

**Amplituudiiraaja** on raadiotehnikas ja elektroonikas kasutatav seadis, mis peab säilitama elektrivõngete amplituude teatud piires.

**Analoog** (kreekakeelsest sõnast *analogos* = vastav, sobitatud, millest on tulnud ka sõna *analoogiline* = samalaadne, sarnane) on mingi eseme või nähtuse teiseks või jäljendaja, mis ilmutab temaga sarnasust või ühetaolisust; vt. ka ekvivalent.

**Analoogarvuti** kannab kodumaises kirjanduses sageli ka *modelleeriva seadme* nimetust; *analoogia* tuleneb kreekakeelsest sõnast ja tähendab sarnasust ehk samalaadsust; *modelleerimine* tuleneb ladina keelest ja tähendab eeskjuu põhjal sellega sarnase mudeli vormimist.

**Anastomoos** (kreekakeelsest sõnast *anastomosis* = ühendus) on liitumus torukujuliste elundite, nagu vere- või mahlasoonte vahel, mis võimaldab verel või mahlal voolata ühe soone alt teisele; samuti ka närvide liitumus.

**Aneemia** (kreekakeelsest eesliitest *an-*, mis tähendab eitust, ja sõnast *haima* = veri) ehk kehveres on vere omaduste halvenemine tema koostise muutumise tõttu; aneemiast, mida nimetatakse ka verevaesuseks, tuleb eristada oligeemiat ehk väheveresust — vere koguse vähenemist.

**Animalkulistid** (ladinakeelsest sõnast *animalculum* = metsloomake ehk metsloomapoe, tuleneb vähendavana sõnast *animal* = loom, uluk) ehk seemneuskujad kuuluvad preformistide hulka; *preformism* (ladinakeelsest eesliitest *prae-* = eel- ja sõnast *forma* = kuju, liik) ehk preformatsiooniteooria, mis kannab ka ennakmoodustusteooria ehk ka predelineatsiooniteooria nimetust, oli bioloogias XVII sajandil kujunenud ja järgmise sajandi keskpaigani esinenud metafüüsiline teooria, mis väitis, et täiskasvanud elusolend esinevat ülitillukese sugemena juba sugurakus; olendi arenemine seisnevat vaid selle preformeeritud ehk ennakult moodustunud sugeme väljaarenemises ehk evolutsioonis lihtsalt tema suurenemise teel; ovistid ehk ovulistid (lad. *ovum* = muna) ehk munauskujad oletasid, et see suge peituvat munarakus; animalkulistid soovust väitsid, et sugemena esinev ennakmoodustis ehk nn. animalkulus peitub isasolendi seemnerakus ehk spermatoosoidis; leidus isegi preformiste, kes väitsid, et sugurakkudes on üksikesse peidetuna preformeerunud ka järgnevate põlvkondade olendid; preformismi idealistliku ja metafüüsilise evolutsiooni\* seisukoha bioloogias kummutas Peterburi akadeemik K. Fr. Wolff\*, kes 1759. aastal tõestas, et seemnerakkudes taolised tillukesed olendid puuduvad, ja rajas epigeeneesiõpetuse, mis väitis, et olendi teke algab koetiseta ainet; hiljem aga selgus, et sugurakud siiski pole lihtsalt ainetombud, vaid on teatud ehitusega arendid.

**Antihomöostaatiline** on moodustatud sõnast *homöostaatiline* \* eesliiteta *anti-* (kreekakeelsest *anti-* = vastu), mis tähendab liitsõnadega *-vastane*; võiks tähendada *homöostaasivastane* ehk *homöostaasi* \* *ärastav, kaotav, vältiv*; sisuliselt võiks aga selle sõna käesolevas teoses tõlkida siiski mitte *püsikkust* või *sisetasakaalu säilitava vastane* ehk *püsikkust* või *sisetasakaalu häiriv*, vaid *näiliselt püsikkust säilitav* või *näilist sisetasakaalu säilitav*.

**Antinomia** (kreekakeelsest eesliitest *anti-* = vastu ja sõnast *nomos* = seadus) ehk vasturääkivus tähendab filosoofias kahe seaduse või kahe teineteist eitava otsustuse tulenemist näivalt samadest eeldustest; kahe otsustuse teineteist eitamist.

**Antitees** (kreekakeelsest sõnast *antithesis* = vastuseadmine) ehk

vastuväide on teesile (kr. *thesis* = väide) ehk tõestatud otsustusele vastandata väide, selle otsustuse eitus; ka kahe vasturääkiva mõiste teineteisele vastandamine; tähendas Hegelil\* teist lüli tema kolme triaadi ehk kolmikuse — teesi, antiteesi, sünteesi — hulgas.

**Antropoloog** (kreekakeelsetest sõnadest *anthropos* = inimene ja *logos* = mõiste, õpetus) on teadlane, kes tegeleb inimeseteaduse ehk antropoloogiaga, s. o. teadusega, mis kõigekülgselt õpib tundma inimese bioloogilist olemust, tema seisukohta elusolendite jadas, inimese tekkelugu, inimese ürgseid ja tänapäevaseid kehaehituslikke tüüpe, inimese kehaehituslikke, elutegevuslikke, soolisi ja vanuselisi iseärasusi.

**Antropomorfism** (kreekakeelsetest sõnadest *anthropos* = inimene ja *morphe* = kuju) on iidne kujutus, nagu eviksid loomad, taimed ja ürgsed elutu looduse nähtused inimeste omadusi — mõtlemisvõimet, tundeid, taht.

**Apertuur** (ladinakeelsest sõnast *apertus* = avatud) on nurk optilise telje ja optilisse süsteemi pääsevaid kiiri hõlmava koonuse moodustaja, s. t. optilist süsteemi läbiva äärmise kiire vahel.

**A posteriori** on ladinakeelne väljend, mis tähendab: *tagantjärele, kogemuse järgi, kogemuse põhjal*, vastand a priori.

**A priori** on ladinakeelne väljend, mis tähendab: *ette, enne kogemusi, kogemusest sõltumatult*, kogemust ja tunnetust tingivalt ning neid võimaldavalt, sünnipäraselt, vastand a posteriorile.

**Argument** (ladina keeles *argumentum*) ehk tõestusvahend on tõestuse aluseks olev loogiline põhjend; matemaatikas aga sõltumatu muutuv suurus, millest sõltub teine suurus, nn. funktsioon.

**Arvuti** on arvutusmasin, arvutusvahend (vrd. vene keeles *вычислительная машина*; saksa keeles *Rechenmaschine, Rechengerat*; inglise keeles *computer, computing machine*, prantsuse keeles *machines à calculer*).

**Astrofüüsika** (kreekakeelsetest sõnadest *astron* = taevatäht ja *physike*, mis tuleneb sõnast *physis* = loodus) on astronoomia (kr. *astron* ja *nomos* = seadus) ehk täheteaduse haru, mis uurib taevakehade ehitust, füüsikalisi omadusi ja keemilist koostist.

**Ataksia** (kreekakeelsest sõnast *ataxia* = korratus) on haigus, mis ilmneb häiretena lihaste korrapärasel liiguluste kooskõlastuses, mis tekivad muutuste tagajärjel peaaigus, seljaaigus või närvides ja avalduvad näiteks tuikuva kõnnakuna.

**Atmosfäärihäired** on raadiosidet takistavad häired, mille põhjustajaks on atmosfääris esinevad elektrinähtused.

**Audiogramm** (ladinakeelsest sõnast *audire* = kuulama ja kreeka keelsest sõnast *gramma* = kirjutus) on kõver, mis näitab kõrva kuulmisteravuse sõltuvust helisagedusest.

**Augustiinlased** on rooma-katoliku kiriku koosseisus alates XI sajandist tekkinud kerjusemungaordude liikmed — mungad ja nunnad; need ordud olid võtnud omaks nn. augustiinlaste põhikirja, mis tugineb ühel kirikutegelase Augustinuse\* kirjal.

**Autokorrelatsioon** vt. korrelatsioon.

**Barjäär** (prantsuskeelne sõna *barrière* [loe: *barjäär*]) on tõke, mis takistab vaba läbipääsu; takistus, mida liikumisel tuleb ületada; jõuväljas esinev tõkestav kõrge tase, näiteks elektriväljas potentsiaalibarjäär.

**Bensooliring** on kuusnurka meenutav bensooli keemiline struktuurvalem, milles süsinikuaatomid on omavahel ühinenud ringiks ja vesinikuaatomid ühtlaselt süsinikuaatomitele jagunenud; **bensool** (araabia keelest keskladina keelde siirdunud sõnast *benzoe*) on värvusetu süttiv vedelik, saadakse kivisöeförva, nafta jms. utmise teel; on iseloomuliku lõhnaga ja moodustab nn. aromaatsete süsivesinike rea põhiühendi, mille koostis on  $C_6H_6$ , lahustab hästi rasvu, vaike, kummi ja paljusid muid aineid ning leiab kasutust lahustina ning värvide, lõhkeainete ja ravimite tootmisel, samuti mootorikütusena.

**Bessemeriprotsess** on Bessemeri\* poolt avastatud menetlus vedelast malmist õhu läbipuhumise teel valuterase saamiseks; läbipuhumine toimub erilises pirnikujuulises sulatamisahjus — konverteris ehk bessemeripirnis.

**Biheivorism** (inglisekeelsest sõnast *behaviour* ehk *behavior* [loe: *biheivoje(r)*]=käitumine) on eriti Ameerika Ühendriikides esinev mehhanistlik\* suund psühholoogias\*, mis tunnustab psühholoogia uurimiseaineks vaid välise käitumise, mida saab jälgida vaatlusel nähtavate liigutuste põhjal; inimese käitumist käsitatakse kui reaktsiooni välis- mõjutustele, pidades sisemuljeid kõrvaliseks asjaks.

**Biofüüsik** (kreekakeelsetest sõnadest *bios*=elu ja *physike*, mis tuleneb sõnast *physis*=loodus) on eriteadlane biofüüsikas; viimane on bioloogia osa, mis käsitleb füüsikalisi seaduspärasusi bioloogilistes protsessides ja füüsikaliste nähtuste mõju elusolendite kulgevatele protsessidele.

**Biokeemik** (kreekakeelsetest sõnadest *bios*=elu ja *chemeia*, mis tuleneb sõnast *chymos*=nesté, mahl) on eriteadlane biokeemias; viimane on keemia osa, mis käsitleb elusolendite keemilist koostist ja neis kulgevaid keemilisi muundusi.

**Calculus ratiocinator** [loe: *ka'lkulus ratsiotsinaator*] (ladinakeelsetest sõnadest *calculatio*=arvutamine ja *rationalis*=mõistuslik) tähendab Leibnizil\* järelduste arvutamist.

**Carnot' printsiip** on termodünaamikas\* esineva nn. teise algseaduse lähtekoht, mille esimesena sõnastas Carnot\* tema nime kandva ringprotsessi käsitlemisel.

**Cirrocumulus** on kiudrõnkpilv, mis koosneb väikestest valgetest varjudeta pallikestest, enamasti rühmade või ridadena, kiiresti oma kaju muutes.

**Deduktiivne** (ladinakeelsest sõnast *deductio*=väljaviimine, eemaldamine) on deduktsioonil põhinev, deduktsiooni rakendav — meetod, mis teeb loogilisi järeldusi üldiselt erijuhule, üksikule, tuletab üldisest osalist.

**Deemon** (kreekakeelsest sõnast *daimon*=jumalus, hing) tähendas vanaaja mütoloogias head või kurja vaimu, mis avaldab mõju tegevusele ja saatusele; ristiusu mütoloogias aga tähendab saatanat, kuri- vaimu; käesolevas teoses esineb ka tähenduses Maxwelli\* deemon.

**Deferminant** (ladinakeelsest sõnast *determinans*=määraja) on matemaatikas (näiteks lineaarsete võrrandisüsteemide lahendamisel esinev) eriline avaldis, mis kirjutatakse ridadeks ja veergudeks korraldatuna.

**Diferentsiaalalanüsaator** (ladinakeelsest sõnast *differentia*=vahe,

erinevus ja kreekakeelsest sõnast *analysis*=lahutamine, lahendamine) on eriline kõrgema matemaatika ülesandeid lahendav arvutamismetod.

**Dihhotoomia** (kreekakeelsetest sõnadest *dicha*=kaheks ja *tome*=lõikamine) tähendab üldse terviku üksteisele järgnevat kaheks jagamist, saadud osade omakorda kahestamist jne.; loogikas tähendab jagamist kahe liikmega, liigitelu kahelt vaatekohalt lähtudes, mõiste mahu, jagamist kaheks vasturääkivaks mõisteks; botaanikas tähendab taimede hargnemisviisi, mille puhul harud tekivad alati kahekaupa, on ühetugevused ja asetsevad neid moodustava haru tipus.

**Dilemma** (kreekakeelsetest sõnadest *di(s)*=kaksik ja *lemma*=eeldus) tähendab üldse vajadust teha raskeks osutuv valik kahe võimaluse vahel, millest kumbki pole valikutegijale meelt mööda; loogikas tähendab ta aga järeldust, mille üks eeldus on tingiv ning teine jaatav.

**Doktriin** (ladina keeles *doctrina*) on teoreetiline õpetus, ühekülgne väide, uskumuseks kivistunud arvamus, eluvööras seisukoht, teaduslik või filosoofiline teooria, teat. poliitiline süsteem.

**Drosoofiila** (kreekakeelsest sõnast *drosos*=kaste) on kahtiivaliste (diptera) putukate seltsi lühisarveliste (brachycera) alamseltsi *drosofiilidae* sugukonda kuuluv liik viljakärblasi — kaste- ehk äädikkärbes: väike kärbes, kelle vagnel elavad käärivates vedelikes või puuviljas; *drosofiila melanogaster* on eelistatumaks katseliseks aretusloomaks geneetikas\* kromosoomide\* uurimisel.

**Durchmusterung** (saksa keelne sõna, mis otseses tõlkes tähendab läbivaatamine, ülevaatus) on tähekatoloogide nimetuseks, s. t. tabel, mis sisaldab andmeid kinnistähedega kohta.

**Efektor** (ladina keelsest sõnast *effectus*=toime) on teostuselund; efektoriteks on lihased või näärmed, s. t. need teostuselundid, kuhu erutus tsentrifugaalset teed mööda kesknärvisüsteemist pärast seda saabub, kui kesknärvisüsteemis on toimunud muundusi, mis on tingitud retseptoris\* tekkinud ärrituse mõjul kujunenud erutuse saabumisest.

**Ekspérimentaalembrioloog** vt. *embrüoloogia*.

**Ekstrapoleerimine** (ladina keelsest eesliitest *extra*=üli-, välis-, lisa- ja sõnast *interpolare*=uendama, muutma) ehk ekstrapolatsioon on teatud nähtuse kohta või teatud alal leitud seaduspärasuste laiendamine teistele nähtustele või aladele; matemaatika: funktsiooni\* antud väärtuste jada põhjal tema teiste, väljaspool seda jada olevate väärtuste leidmine.

**Ekvivalent** (ladina keelsest sõnast *aequivalens, aequivalentis*=samaväärne) on sama väärtusega suurus või ese; kodumaises kirjanduses on aga viimasel ajal hakanud samas tähenduses levima väljend *analooq*\*

**Elektroentsefalogramm** (kreekakeelsetest sõnadest *enkephalos*=aju ja *grapho*=kirjutata) on peanahka vigastamata, eriliste tundlate ja võimendite ning kirjutusseadmete abil ülesvõetud diagramm ajus esinevatest elektrilise muutustest, mis peegeldavad suuraju koore talitlust; kui katsealune on täiesti rahulik, siis saadakse ligikaudu ühtlane võnkumine, nn.  $\alpha$ -lained, mille kordumissagedus on umbkaudu kümne ümber sekundis ja mis kannab *alfarütmi* nimetust.

**Elektronika** (kreekakeelsest sõnast *elektron*=merevaik) on elektrotehnika haru, mis käsitleb peamiselt nähtusi elektronlampides ning viimasel ajal ka pooljuhtseadistes ja neil põhinevate nn. elektronlülituste ning elektronseadmete rakendusi.

**Elimineerima** (ladinakeelsest sõnast *eliminare* = välja kihutama, mis tuleneb eesliitest *ex*=välja-, *ära*- ja sõnast *limen*=lävi) tähendab *kõrvaldama*, *eemaldama*; **matemaatikas**: mõne tundmatu kõrvaldamine võrrandisüsteemist.

**Embrüoloogia** (kreekakeelsetest sõnadest *embrion*=loode ja *logos*=mõiste, õpetus) on bioloogia — elu ja elusolendite arengu seaduspärasusi uuriva teaduse alaosaks, mis käsitleb organismide lootelist arengut; **embrüoloog** on seda teadust viljelev eriteadlane, **eksperimentaalembrüoloog** aga teadlane, kes selleks eelkõige rakendab eksperimente ehk katsetusi — katsetel põhinevaid uurimisviise.

**Energeetika** (kreekakeelsest sõnast *energetikos*=tegev) on õpetus energiast ja selle muundumistest; ka tehnika ala, mis käsitleb energia tootmist ja rakendamist.

**Ensüümid** (kreekakeelsest eesliitest *en*=sise- ja sõnast *zūme*=juuretis) on elusolendeis moodustunud erilised ollused, mis põhjustavad teiste orgaaniliste ainete lahustumist, näiteks toitaineid lahustumist ja muutumist seeditavaks; sama, mis *fermendid*.

**Entiteet** (ladinakeelsest sõnast *entitas*=olemasolemine) ehk olemus tähendab filosoofias esemete tõelist, iseseisvalt oielevat olu; **olu** aga on esemete omaduste ning nende kohta kehtivate suhete ja seadmete kogum; **loogikas** tähendab *olu* mõistes mõeldud sisu, mida väljendatakse tema oluliste tunnuste kaudu.

**Entroopia** (kreekakeelsest eesliitest *en*-, mis vastab meie käändelõpule -s, ja sõnast *trope*=pööre, muundus) tähendab füüsikas erilist suurust, mis iseloomustab meie poolt tavaliselt tähelepandavates nähtustes ja olukordades esinevat energia hajumist ning väärtusetuks muutumist seetõttu, et igasugune energia muundub soojuseks ja viimane jaguneb ühtlaselt kõigi kehade vahel looduses; idealistid teevad sellest tagurliku, tänapäeva teadusega vastuolus oleva järelduse, et maailma tabab «soojuslik surm».

**Epitsükkel** (kreekakeelsest eesliitest *epi*=peal ja *kyklos*=ring) on **Ptolemaiiose\*** maailmasüsteemis kujuteldav taevakehade liikumistee — ringjoon, mille keskpunkt liigub mööda teist ringjoont.

**Ergoodiline** (kreekakeelsetest sõnadest *ergon*=töö ja *odos*=rada) on niisugune süsteem, milles faasikeskmised ühtivad ajakeskmistega; sellel mõistel on oluline tähtsus dünaamikas, diferentsiaalarvutuses, statistikas\* ja mujal.

**Esikloomalised** ehk ahvilised, keda nimetatakse ka primaatideks, on imetajate hulka kuuluv loomaselts, millesse kuuluvad olendid omavad viievarbalisi lamedate küüntega jäsemeid, kõnnivad taldadel, on taime- või segatoitlased; nad jagunevad poolahvilisteks ja inimeselaadseteks.

**Evolutsionist** on too, kes asub looduses evolutsiooni tunnustaval teaduslikul seisukohal; **evolutsioon** (ladinakeelsest sõnast *evolutio*=laialilaotumine, hoo andmine, kiire arendamine) on üks looduses ja ühiskonnas esinevaid liikumise vorme — lakkamatu, pidev mahuline muutumine, erinevalt hüppelisena toimuvast sisulisest muutusest — revolutsioonist.

**Faas** (kreekakeelne sõna *phasis*=avaldumine) on teatud hetk nähtuse arengus või keha kujumuutuses, mingi perioodilise nähtuse mitmesugused seisundid, tema arengujärgud; teatud ajajärg ajaloolises arengus.

**Faasimodulatsioon** vt. modulatsioon.

**Faasiruum** tähendab klassikalises statistilises mehaanikas \* vaadel-dava süsteemi kõigi üldistatud koordinaatide ja üldistatud impulsside ruumi; üldistatud koordinaatide ja üldistatud impulsside väärtused mingil hetkel määravad täielikult süsteemi seisundi ehk faasi\*.

**Farmakoloogia** (kreeka keelsetest sõnadest *pharmakon* = ravim ja *logos* = mõiste, õpetus) on õpetus raviainete toimest organismisse; farmakoloogiline tähendab farmakoloogiasse puutuvat.

**Farmatseutika** ehk farmaatsia (kreeka keelsetest sõnadest *pharmakeia*, mis tuleneb sõnast *pharmakon* = ravim) on rohuteadus, s. t. arstiteaduse ala, mis käsitleb ravimite hankimist, töötlemist, kontrollimist, säilitamist, valmistamist ja väljastamist; farmatseutiline on rohu-teadusesse puutuv ehk rohuteadusealane.

**Fibrillatsioon** on rütmilise südametegevuse lakkamisel kujuneda võiv üksteisele korrapäratute lainefena järgnev südamelihaste pulseerimine.

**Flamingod** (portugali keelsest sõnast *flamante* = leegitsev) on Lõuna-Euroopas, Aasias, Aafrikas ja Ameerikas soojadel aladel elavad linnud; pikajalalised, väga pika kaelaga ja allapoole kooldunud tugeva nokaga, värvuselt peamiselt roosad; elutsevad hiiglakarjadena mererannikuil, harvem järvedel; pesad ehitatakse vette kõrgete kuhikutena; pojad on pesahoidjad.

**Fluktuatsioon** (ladina keelsest sõnast *fluctuatio* = võnkumine) tähendab edasi-tagasi voogamist, võnkumist; füüsikas: gaasis või vedelikus esinev ajutine juhuslik kõrvalekaldumine molekulide korrapärasest asetusest, mida põhjustab soojuslik liikumine, tekitades osakeste hoovust; meditsiinis: võdin, mida tajub käsi või sõrm, surutuna vastu mingi kehas oleva vedelikukogu elastset seina, kui seina vastasküljele koputada; bioloogias: muutlikkus pärilikkuses, mille puhul olendid on omavahel ja esivanematega üleminekute teel niisuguses seoses, et moodustub pidev jada; vastand mutatsioonile.

**Fookus** (ladina keelsest sõnast *focus* = kolle) omab üldtuntu tähenduse *tulipunkt* kõrval ka mitmeid eritähendusi; käesolevas teoses esineb ta arstiteaduslikus tähenduses: kolle, mis hajutab verre baktereid.

**Fosforestseeriv** (kreeka keelsetest sõnadest *phos* = valgus ja *phoros* = kandja) on fosforestsentsi teel helendav; fosforestsents on luminesentsi teatud liik, mis avaldub võimes pärast valgustamist mõnda aega helendada.

**Fotorakk** (kreeka keelsest sõnast *phos* = valgus) on teatud liik fotoelektrilisi seadiseid, mille elektrilised omadused valguse toimel muutuvad; on oluliseks osaks paljude elektronseadmetes.

**Fotosüntees** (kreeka keelsetest sõnadest *phos* = valgus ja *synthesis* = ühendamine, kooskõlastus) on anorgaanilistest ainetest, nagu veest ja süsihapest, orgaaniliste ainete — süsivesikute — tekkimine taimede klorofüllil ehk leherohelise toimel ja valguskiirguse mõjul.

**Fröidism** vt. psühhonaalüüs.

**Funktsionaalne** on talitluslik ehk funktsioonidesse puutuv; funktsioon (ladina keelsest sõnast *functio* = teostamine, tegevus) tähendab bioloogias elundi või elusolendi iseloomulikku talitlust; matemaatikas: muutuja, mille väärtus sõltub argumentist\*.

**Funktsiooni universum** (ladina keelsest sõnast *universum* = üldine) tähendab funktsiooni\* argumenti\* kõigi väärtuste hulka.

**Geen** (kreekakeelsest sõnast *genos*=sünd, sugu) on rakutuuma kromosoomides \* peituvad piiritlevad ainelised osakesed, mida peetakse teatud pärilikkude omaduste kandjaks.

**Geneetik** on teadlane geneetika alal: geneetika (kreekakeelsest sõnast *genetikos*=sünni puutuv) on teadus, mis tegeleb elusolendite pärilikkusega ja selle sõltuvustega.

**Geštalt** on algkujul üle võetud saksakeelne sõna *die Gestalt*, mis tähendab kuju, vormi; on üheks nn. kujupsühholoogia ehk geštalt-sühholoogia \* põhimõisteks.

**Geštaltpsühholoogia** (saksakeelsest sõnast *die Gestalt*=geštalt \* ja kreekakeelsetest sõnadest *psyche*=hing ning *logos*=mõiste, õpetus) on käesoleva sajandi algul Saksamaal tekkinud idealistlik suund psühholoogias \*, mis väidab, et vaimsetes nähtustes avaldub «terviklikkus», mis tekib mitte välismõjutustel, vaid mingi, neile endile omase sisemise arengu tulemusena.

**Glükogeen** (kreekakeelsetest sõnadest *glykys*=magus ja *genos*=sünd, sugu) on loomne tärkliis — maksas, lihastes jt. kudedes varuainena sisalduv süsivesinik; tekib seedimisel moodustuvast viinamarjashukrust ja muutub elundite vajaduste rahuldamisel taas viinamarjashukruks; esineb ka seentel ja bakteritel.

**Glükooos** (kreekakeelsest sõnast *glykys*=magus) on viinamarjashukur, tärkliisshukur, mida leidub enamikus magusates puuviljades, mees jm.; saadakse tärglisse keetmisel lahjendatud hapetega; käärib kergesti; tarvitatakse söögisiirupina, marmelaadide, keediste jm. valmistamisel, ravivahendina ja ka värvitööstuses.

**Gravitatsiooniastronoomia** (ladinakeelsest sõnast *gravitas*=raskus ja kreekakeelsetest sõnadest *astron*=taevatäht ning *nomos*=seadus) on Newtoni \* poolt avastatud ülemaailmse tõmbejõu alusel väljaarenenud taevamehaanikal põhinev astronoomia; ta jätab aga vastuse võlgu reale küsimustele, mis tulenevad lõpmatu maailma kujutlusest.

**Haldustehnika** (vene keeles *оргтехника*) on tehnika haru, mis käsitleb haldusalaste tööde ja töökorraldusse puutuvate ülesannete, nagu plaanimise, arvelduse, aruandluse, dokumenteerimise jms. mehhaniseerimist; hõlmab selleks vajalikke arvutusvahendeid, side- ja signalisatsiooniseadmeid jms.

**Harmoniline analüüs** (kreekakeelsetest sõnadest *harmonikos*=kooskõlaline ja *analysis*=lahutamine, lahendamise) on kõrgema matemaatika haru, mis käsitleb funktsioonide \* väljendamist trigonomeetriliste ridadena.

**Hertzi \* laineteks** nimetatakse elektromagnetiliste lainete teatavat lühilainelist ala.

**Heuristika** (kreekakeelsest sõnast *heurisko*=leian), nn. «tõe leidmise kunst» ehk «leiutamiskunst» on juhendite süsteem või õpetus sellest, kuidas meetodilisel teel leida uut või uusi teadmisi, avastada tõdesid; heuristiline on heuristikasse puutuv, see, mis on seoses tõdede avastamisega, tunnetuseesmärke taotlev ja arendav, uutele teadmistele viiv.

**Hevea** on Lõuna-Ameerikast pärinev brasiilia kautšukipuu.

**Holomorfne** (eesliide *holo-* tuleb kreekakeelsest sõnast *holos*=tervik ja tähendab liitsõnades eesliidet *täis-*, *kogu-*; lõppliide *-morfne* tuleb kreekakeelsest sõnast *morphe*=kuju ja tähendab liit-

sõnades lõppliidet *-kujuline, -taoline*) võiks tõlkida *tervikuline* ehk *täieline*.

**Homöostaas** (kreekakeelsetest sõnadest *homoios*=sarnane, sama ja *stasis*=liikumatus, soikumine) on elundeis ilmnev valik keerukaid sobitavaid reaktsioone, mille ülesandeks on kõrvaldada või võimalikult suurel määral piirata selliste välis- ja sisekeskkonna tegurite mõju, mis häirivad suhtelist püsivolukorda olendi sisekeskkonna talitluses, nagu kehatemperatuuri, glükoosi-<sup>\*</sup> ja kaltsiumisisaldust veres, vere vesinikuioonide sisaldust ja -rõhku jms.; näiteks tekib puudulikul hapniku sattumisel kopsu ja verre eelkõige kõhuõõne elundeis veresoonte ahenemine — veredepoode (verd talletavate pesade) tühjenemine, vererõhu tõus ja südame ning aju veresoonte laienemine.

**Homöostaatiline** on õigupoolest arstiteaduse valdkonda kuuluv oskussõna (vt. homöostaas), mida aga käesolevas teoses on algtekstis kasutatud ka ülekantud tähenduses ja sellisena säilitatud tõlkeski; tema eestikeelseks vasteks võiks siin olla: *püsilikust säilitav* ehk *sisesaakaalu säilitav*.

**Hormoonid** (kreekakeelsest sõnast *hormon*=liikumapanev) ehk inkreedid on füsioloogiliselt ehk elutalitluselt aktiivsed ained, mida toodavad ja eritavad verre sisenõristusnäärmed ning mis võtavad osa looma elutalitluse reguleerimisest; *hormonaalne* tähendab hormoonidega seoses olev, hormoonidest tingitud.

**Humoraalne** (ladinakeelsest sõnast *humor*=niiskus) on füsioloogiline mõiste, mis tähendab organismi vedelikega (verega, koevedelikuga) seoses olevat, näit. humoraalsed tegurid, humoraalsed ained — organismis tekkivad ained, mis avaldavad oma toimet organismi vedelike kaudu.

**Hüdrosfäär** (kreekakeelsetest sõnadest *hydor*=vesi ja *sphaira*=—kera) ehk vesikond on Maal leiduvate vete kogunimetus.

**Ideaalne gaas** (prantsuskeelne sõna *idéel* [loe: *idea'l*], mis tuleb kreekakeelsest sõnast *idea*=laad, algkuju, ja prantsuskeelne sõna *gaz*, mille keemik Helmont<sup>\*</sup> XVII saj. tuletas arvatavasti kreekakeelsest sõnast *chaos*=segadus), on kujuteldav gaas, mis koosneb jäikadest, jõuvabadest ja täpikujulistest molekulidest.

**Immunoloogia** (ladinakeelsest sõnast *immunis*=millestki vaba, puutumatu ja kreekakeelsest sõnast *logos*=mõiste, õpetus) tähendab õpetust immuunsusest — tõvekindlusest ehk nakkusohutusest.

**Impulss** (ladinakeelne sõna *impulsus*) on aje ehk tõuge ja tähendab üldse (tavaliselt järsku) mõjuvat põhjust, hetkelist otsust; **füüsikas**: jõu mõju liikuvale kehale teatava aja vältel; **elektrotehnikas**: lühiaegne voolutõuge.

**Induktsioon** (ladinakeelsest sõnast *inductio*=ülekanmine, ergutamine) on loogikas üksikjuhtumist üldise järeldamine; **matemaatikas** tõestusviis, mis põhineb üleminekul järeldusele; mis kehtib mingi täisarvu *n* suhtes, järeldusele, mis kehtib arvu *n+1* suhtes.

**Insuliin** ja **metrasool** on teatud eriotstarbelised ravimid.

**Intentsioonitremor** (ladinakeelsetest sõnadest *intentio*=kavatus, eesmärk ja *tremor*=värin) on teatav tserebellaarse (ladinakeelsest nimetusest *cerebellum*=väikeaju) tremori — jäsemetes väikeaju kahjustuse tagajärjel ilmneva väikese ulatusega tõmbluse ehk lihasevärina — erijuht, mis avaldub sihile suunduva liigutuse puhul, kusjuures korrapäratu värin liigutuse lõpu poole tavaliselt suureneb.

**Internuntsiaalne puul** on ingliskeelse väljendi *internuncial pool* tõlkeks; internuncial tuleneb sõnadest *internal*=sisemine, sise- ja *nuncio*=saadik ning *pool* [loe: *puul*]=ühispanus, liit; vt. alltekst lk. 180.

**Intuitsionism** (ladinakeelsest sõnast *intueri*=teraselt vaatama) on subjektiivse idealismi suund matemaatika filosoofias, mis eitab matemaatika tunnetuslikku väärtust; intuitsioon on idealistlikus filosoofias tõe müstiline vahetu mõistmine ilma teaduslikke kogemusi ja mõistuspäraseid järeldusi kasutamata.

**Invariant** (ladinakeelsest eesliitest *in-*=mitte- ja sõnast *varians*=muutuv) on matemaatikas teatud teisenduste puhul muutumatuks jääv suurus või seos.

**Inversioon** (ladinakeelsest sõnast *inversio*=ümberpööramine) on matemaatikas elemendipaar, mille järjestus on vastupidine samade elementide algjärjestusele, ka permutatsiooni kahe elemendi vahetamine teineteisega; eri tähendust omab geomeetrias ja veel real aladel.

**Isomeetiline** (kreekaakeelsest eesliitest *iso*=võrd- ja sõnast *metron*=mõõt) tähendab: *võrd- ehk samamõõduline*, näiteks pikkuse järgi.

**Isotooniline** (kreekaakeelsest eesliitest *iso*=võrd- ja sõnast *tonos*=pinge) tähendab: *osmootse rõhu* \* järgi võrdne ehk ühesuguse osmootse rõhuga.

**Joogi** on jooga harrastaja; jooga (sanskritikeelsest sõnast *yoga*=ühendus, mõttekoondus, enesevaatlus) on vana-india müstiline usundiline õpetus, mis väidab, et inimene suutvat enesevaatluse, endassesüvenemise ja enesepeenamise teel saavutada ühendust üleloomulike jõududega.

**Jälgivseade** (vene keeles *следящий механизм*, inglise keeles *servomechanism*) on niisugune vahend, mis säilitab alatise asendi-ühtluse tüüritava ja tüüriva seadme vahel.

**Kaalfunktsioon** on mitmesuguste funktsioonide integreerimisel tegurina kasutatav funktsioon\*.

**Kahendsüsteem** on arvusüsteem alusel 2; kahendsüsteemis väljendatakse kõiki arve ainult numbritega 0 ja 1.

**Kanjon** (hispaaniakeelsest sõnast *cañon* [loe: *ka'njon*] = toru) ehk kuruorg on sügav, kitsas jõeorg järskude, sageli astmeliste nõlvadega.

**Karbamiid** (ladinakeelsest sõnast *carbo*=süsi ja kreekaakeelsetest sõnadest *am(moniakon)*=kummivaik ning *eidós*=kuju) ehk kusiaine on valkude keemilise lagunduse lõppsaadus.

**Kardioid** (kreekaakeelsetest sõnadest *kardia*=süda ja *eidós*=kuju) on südame piirjooni meenutav kõver, mille joonistab ringjoone punkt ringi veeremisel teist niisama suurt paigal püsivat ringi mööda.

**Kardioloogia** (kreekaakeelsetest sõnadest *kardia*=süda ja *logos*=mõiste, õpetus) tähendab arstiteaduse osa, mis käsitleb südant.

**Kartsinogeenid** (kreekaakeelsetest sõnadest *karkinos*=vähk ja *genos*=sünd, sugu) ehk ka kantserogeenid on vähktõve esilekutsuvad ained, nagu arseen, kromaadid, aniliin, mõned nitrovärvid, tõrv, aga ka ioniseerivad kiirgused jm., millega aastaid kestev kokkupuutumine võib teataval tingimustel kutsuda esile vähktõve.

**Kastooreum** (kreekaakeelsest sõnast *kastor*=kobras) ehk kopra-nõre on kopra suguelundite läheduses paiknevate näärmete nõre, mis

kuivatatult moodustab punakas-pruuni või pruunikas-musta, tugeva palderjaniiaolise lõhna ja terava, mõru maitsega, vaigutaolise massi; tarvitatakse ravimina ja lõhnaainena; saadakse peamiselt Ameerikas elunevalt kanada kopralt ja Siberis elunevalt siberi kopralt.

**Kasutegur** on arv, mis iseloomustab energia ärakasutamise määra masinas või seadmes; väljendatakse kümnendmurruna või protsentides.

**Katalüsaator** (kreekakeelsest sõnast *katalysis*=lahustamine) on aine, mille manulus kiirendab või aeglustab keemiliste muunduste kulgu, ilma et see aine reaktsioonist otseselt osa võtaks.

**Katarsis** (kreekakeelsest sõnast *katharsis*=puhastus) tähendab Aristotelese \* poolt tragöödia suhtes kasutatud mõistet: tragöödia, kutsudes pealtvaatajas esile hirmu, kaastunnet jm. hingelisi elamusi, nagu puhastaks teda elamuste kaudu hingeliselt kõigist kirgedest; arsti teaduses: soolte puhastus, kõhulahtistus.

**Kinesteetiline** (kreekakeelsetest sõnadest *kinema*=liigutus ja *esthe*=vaist) tähendab liigutustega seoses olevat; kinesteetilised aistingud ehk liigutusaistingud on aistingud, mis tekivad kehaosade liigutustest või kehaosade vastupanust liigutustele; need aistingud moodustavad nn. lihasetundlikkuse, mida võimaldavad lihastes, soontes ja kõõlustes algavad tundenärvid; kinesteetika on õpetus liigutusaistingutest.

**Kitiin** on mitmesuguste selgrootute — lüljaljalgsete — väliskestas (peaaegu puhtal kujul lehepõrnikate kattetiibades) sisalduv orgaaniline aine.

**Klasside algebra** on matemaatika osa, kus arve tõlgendatakse üldistavalt klassidena ja suunatakse peafähelepanu eeskirjadele, mille järgi nende suuruslega saab arvutada; eriline tähtsus on Boole'i \* klasside algebra, millest on arenenud välja matemaatiline loogika \*.

**Klooniline kramp** vt. k r a m p.

**Kobras** ehk piiber on näriliste seltsi kuuluv kohmakas, tihedakarvaline, lühikeste jäsemetega ja lapiku, sarvsetest soomustest katunud sabaga loom; koprad on osavad ujuiad, toituvad puukoorest ja -lehtedest, elutsevad koos nn. kolooniate ehk seltsingutena veekogude kallastel, kuhu uuristavad endile elamiseks koopad, millest käigud avanevad vee alla; koobaste ette kuhjavad endile talvetoiduks suuri ujuvaid raohunnikuid; ka ehitavad kaldale või madalvetesse okstest suuri koprakuhje, mille sees on kattakujuline eluruum, kust väljuvad maa-alused käigud vette.

**Koleopteroloog** (kreeka keelest) on teatud mardikaliste eriteadlane; koleopteroloogia on bioloogia osa, mis uurib teatud mardikalisi.

**Kommutatiivne** (ladinakeelsest sõnast *commutare*=vahetama, muutama) tähendab ümbervahetatav ehk vahetuv; matemaatikas kehtib kahe arvu liitmisel ja korrutamisel kommutatiivsus- ehk vahetuvusseadus — summa on sõltumatu liidetavate ja korrutis tegurite järjekorrast.

**Kompensaator** (ladinakeelsest sõnast *compensare*=tasakaalustama, tasuma) on üldse tasakaalustusvahend; füüsikas: teatav mõõtevahend; masinaehituses: lingukujuline vahetükk torudel või aparaatide tasakaalustusseadis.

**Komplektsापिंद** (ladinakeelsest sõnast *complexus*=kokku põimitud) on tasapind, kus kompleksarvud, s.t. arvud, mis arvu mõiste laiendusena kujutavad reaali- ja imaginaararvu summat, esitatakse punktidenä.

**Konservatiivne süsteem** (ladinakeelsest sõnast *conservativus*=säilitav ja kreekaelsest sõnast *systema*=tervik) tähendab füüsikas kehade süsteemi, milles mõjuvad ainult sisejõud, s.t. tõmbe- ja tõukejõud, mis sõltuvad ainuüksi punktide vahekaugusest.

**Kontiinum** (ladinakeelsest sõnast *continuum*=lakkamatu) on matemaatiline punktide või arvude pidev hulk, näiteks sirgjoone või selle lõigu kõigi punktide hulk, kõigi reaalarvude hulk või mingi arvuvahemik.

**Kood** (prantsuskeelsest sõnast *code* [loe: kood] = koodeks, seaduste kogu) on kogu leppelisi lühendmärke, näiteks telegraafisides tähtede ja numbrite märgitsemiseks: koodimine tähendab teate «tõlkimist» leppemärkide «keelde».

**Korrelatsioon** (ladinakeelsest sõnast *correlatio*=seos; auto-korrelatsioon aga samast sõnast koos kreekaelse eesliitega *autos*=ise) kujutab statistikas \* uuritavat juhuslikus ehk statistilises nähtuses naaberhetkedel esinevate väärtuste vahelist seost sõltuvalt ajavahemikust, mille võrra suuruse üks vaadeldav väärtus teisest erineb; ajavahemiku muutmisel muutub ka seos, mida väljendab korrelatsioonifunktsioon; kui väljendatakse seost kahe erisuguse nähtuse üheaegsete väärtuste vahel, nimetatakse seda vastastikuseks korrelatsiooniks, kuna aga ühe ja sellesama juhusliku nähtuse enese naaber-väärtuste vahel ilmneb autokorrelatsioon.

**Kramp** on lihaste mittetahtlik ja valu tekitav tugev kokkutõmbumine, mida põhjustavad närvikava häired: tooniline e. pingne kramp on kaua jältav lõtvumisteta kramp; kloonilise e. vapluskrambi puhul järgnevad lihaste kokkutõmbumine ja lõtvumine kiiresti teineteisele.

**Kriteerium** (kreeka keeles *kriterion*) on alus millegi üle otsustamiseks, küllaldane tunnus, eristamise kindel alus.

**Kromosoomid** (kreekaelsest sõnast *chroma*=värvus ja *soma*=keha) on rakkudes sisalduvad aasakeste, pulgakeste, terakeste jms. taolised osakesed, mis kujunevad rakkude pooldumisel; nende arv, kuju ja suurus on iga liiki taimedel ja loomadel üldiselt jäävad ja neile iseloomulikud; arvatakse, et pärilikkude tunnuste edasikandmine just kromosoomide vahendusel toimubki.

**Kuuldelävi** on piir, millest väiksema valjusega helisid kõrv ei taju.

**Kvaasi-** on ladina keelest tulenev eesliide, mis tähendab *just nagu*, *eba-*; kvaasiatomarne on näiliselt üksikutest aatomitest koosnev.

**Kvantmehaanika** (ladinakeelsest sõnast *quantum* = kui palju ja kreekaelsest sõnast *mechanike*, mis tuleneb sõnast *mechane*=masin) on füüsika haru, mis uurib elementaarosakeste liikumisseadusi.

**Lainefilter** on peamiselt raadiotehnikas kasutatav seadis, mis laseb läbi ainult nõutud sagedustega elektrivoole.

**Lameussid** on pehme kehaga lamedad ussikulised loomad; arenevad osalt otseselt, osalt aga keeruka moonde teel; osalt vabalt elavad — peamiselt vee-elanikud, osalt nugalised, millel sageli esineb peremehevaheldus; nende klass jaguneb kolmeks seltsiks: ripsussilised, imiussilised ja paelussilised.

**Langetõbi** e. epilepsia on peaaegu talitluse häiretest põhjustatud ja

aeg-ajalt korduv haigusnäht, mis avaldub mõistusekaotuses ja krambihoogudes.

**Laotusmenetlus** on televisioonis rakendatav menetlus pildi jaotamiseks erisuguse heledusega täppideks; laotuskiire hälvitamine võib toimuda ridadehaaval, spiraaljoont mööda või muul viisil.

**Lause** ehk teoreem tähendab matemaatikas väidet, mis tõestatakse, s. t. loogiliselt järeldatakse tema eeldustest ja juba tõestatud lausetest või aksioomidest.

**Leviathan** ehk eesti keeles *leviaatan* tuleneb heebrea keelest ja tähendab midagi tohutut või koletislikku; pärineb piibli vanas testamendis esineva hiiglasaliku taolise merekoletise nimetusest; «Leviathan» on pealkirjaks *Thomas Hobbesi*\* sulest 1651. aastal ilmunud raamatul, milles «kõigi sõda kõigi vastu» käsitatakse loomuliku olukorrana, mille ületab organiseeritud riigivõim.

**Looded** (om. loodete; sõna esineb ainult mitmuses!) on ühiseks nimetuseks tõusu ja mõõna kohta.

**Maatriks** (ladinakeelsest sõnast *matrix*=emane, emaloom) on matemaatikas esinev arvude või üldse suuruste kahemõõtmeliselt korraldatud kogu, mis mahub riskülikusse, koosnedes ridadest ja veergudest; maatriksitega saab teatud juhiste kohaselt arvutada.

**Maniakaal-depressiivne psühhooos** on vaimuhaigus vahelduvate enam-vähem kestvate erutuse ja masenduse hoogudega; **maniakaalne** (prantsuskeelsest sõnast *maniaque* [loe: *mania'k*]) tähendab maaniast haaratu; maniakk on haige, kes kannatab ebaloomuliku ühekülgse kiindumuse all millessegi, mingi ainsa soovi või kinnismõtte all; **maania** (kreekaelsest sõnast *mania*=hullumeelsus, kiindumus) ehk hullus on millegi kirglik harrastus, haiguslikult suurenenud erutus seisund, mis moodustab maniakaal-depressiivse psühhooosi ühe külje; ajuhaigus, millele on iseloomulik kujutelmade haiglaselt kiire möödumine ja aju liigutuskeskuste haiguslikult suurenenud ärrituvus; raskeimal juhul ilmneb märatsemine ja segasus; üldkeeles tähendab maania mingi ala kirglikku harrastamist, millessegi kiindumust; **depressioon** (ladinakeelsest sõnast *depressio*=surutus, masendus) tähendab arstiteaduses masendust — erilist rõhutatud vaimset seisundit, hingelist rusutud olekut, meeoleolangu, nukrutsemistunnet, mille mõjul kogu ümbritsev olukord tundub süngena; esineb mitmesuguste hingeliste häirete ja ajurikete puhul; **psühhooos** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing) ehk vaimuhaigus on peaju haigestus, mis kutsub esile täieliku või osalise teadvusekaotuse ja avaldub inimese ebaloomulikus käitumises.

**Matemaatiline loogika** on matemaatika haru, mis käsitleb loogiliste arutelude väljendamist matemaatilisel kujul; omab olulist tähtsust elektronarvutiites rakendatavas masinarvutuses, küberneetikas ja mitmel muudel aladel.

**Maxwelli deemon**: *Maxwelli*\* viitas esimesena sellele, et termodünaamika \* teisele algseadusele vasturääkivaid nähtusi molekulimõõtelises maailmas võiks muide põhjustada teatava otsustusvõimega ja vaimuandeid omavate olendite (nn. Maxwelli deemonite) vahelesegamine.

**Maxwelli jaotus** on statistiline\* seaduspärasus, mis ilmneb osakeste (molekulide, aatomite) hulga liikumises sellisena, et soojusliku tasakaalu puhul jääb kindlates piirides oleva kiirusega osakeste keskmine arv konstantseks ning on arvutatav *Maxwelli*\* poolt antud valemiga.

**Mediaan** (ladinakeelsest sõnast *mediana*=keskmine) ehk keskne

väärtus on statistilises\* reas see arv, millest väiksemaid liikmeid on reas sama palju nagu temast suuremaid.

**Mehhanistlik** (kreekakeelsest sõnast *mechane*=masin) tähendab filosoofias antidialektilist seisukohta, mis käsitab kõike mehhanismina või masinana, püüdes taandada kogu maailma mitmekesisuse ühtlike mateeriaosakeste liikumisele ja kõik arenguseadused lihtsatele mehaanika seadustele; mehhanistlik materialism ehk mehhanitsism on materialistliku filosoofia üks arenguastmeid — marksismieelne metafüüsiline materialism, mis püüdis kõiki loodusnähtusi seletada mehaanika seaduste põhjal; hoolimata vigadest oli ta XVII—XVIII sajandil progressiivne, võideldes idealismi ja religiooniga; tänapäeval on ta tagurlik filosoofiline suund, mis suhtub vaenulikult teaduslikku dialektilisse materialismi.

**Meripõis** ehk Physalia on liigirikasse ainuõossete loomaklassi kuuluvate nn. hüdralaadsete, putkeliste seltsi ühete vabalt ujuvate kolooniate (seltsingute ehk organismide koondiste vormide) esindajaks; hüdralaadsete põhikujuks on mingile esemele kinnistunud toru või karikakujuline, tavaliselt kolooniaid moodustav polüüp, mille kehas esineb ainuke jagunematu õõs, mis avaneb ülemisel kehaotsal ainsa avausena; putkelised ongi hüdralaadsete ühte seltsi moodustavateks vabalt ujuvateks kolooniateks, mis koosnevad suurest hulgast ühise toru ja tüve külge kinnitunud, kujult ja talitlustelt erisugustest isenditest; näiteks meripöiel hoiab seda kolooniat püstasendis vee-pinnale ulatuv, õhuruumi sisaldav ujupöike, mille abil tuul looma edasi kannab; meripõis esineb Vahemeres ja Atlandi ookeanis.

**Merkaptaanid** ehk tioalkoholid on rühm keemilisi ühendeid, mis kujutavad alkohole, milles hapniku asemele on astunud väävel; enamik neist on väga ebameeldiva lõhnaga, vees raskesti lahustuvad vedelikud.

**Meromorfine** (eesliide *mero-* tuleb kreekakeelsest sõnast *meros*=osa; lõppliide *-morfine* tuleb kreekakeelsest sõnast *morphe*=kuju ja tähendab liitsõnadest lõppliidet *-kujuline*, *-taoline*) võiks tõlkida *osa-taoline*; matemaatikas on meromorfine funktsioon polünoomide jagatise taoliste omadustega funktsioon\* (reaksarendamine).

**Metafoorne** (kreekakeelsest sõnast *metaphora*=ülekanne) on piltlik, üle kantud tähendusega.

**Metamatemaatika** (kreekakeelsetest sõnadest *meta*=järel, koos ja *mathema*=tunnetus, teadus) on matemaatika haru, mille eesmärgiks on matemaatika enese sügavam tundmaõppimine; ta peab kindlaks tegema aksioomisüsteemi ulatuse, selgitama tema vasturääkimatust ja ja täielikkust, õppima tundma vahendeid, kuidas luua tema abil uusi mõisteid, tõestada teoreeme jms.

**Metastabiilne** (kreekakeelsest liitest *meta*=järel, koos, ja ladinakeelsest sõnast *stabilis*=püsikindel) olek on selline tasakaal, mis pole välistingimustega kooskõlas ja on seetõttu ebakindel, nii et ka väikeste mõjutuste tagajärjel tekib uus tasakaal, mis on välistingimustega kooskõlas ja seega stabiilne ehk püsikindel; esineb näiteks alla hangumistemperatuuri jahutatud vedelikul, liigküllastatud lahusel, ergastatud aatomil, mis veel ei kiirga, jne.

**Modulatsioon** (ladinakeelsest sõnast *modulatio*=paras mөөt) on näiteks raadiotehnikas esinev kandjaks ehk kandelaineks oleva kõrgsagedusliku elektromagnetilise laine või elektrivoolu mõjutamine ülevantavat teadet matkiva, moduleeriva madalsagedusliku elektromagnetilise laine või elektrivooluga; amplituudimodulatsioonil

muutub moduleeriva laine rütmis kandja amplituud, faasimodu-  
latsioonil selle faas \* ja sagedusmodulatsioonil sagedus.

**Monaadid** (kreekakeelsest sõnast *monas*=ühik, jagamatu) on Leibnizi\* idealistlikus filosoofias esinevad jagamatud vaimsed algelemendid, mis pidavat moodustama maailmaaine aluse.

**Monopol** vt. alltekst lk. 195.

**Mood**, om. moodi (prantsuskeelsest sõnast *mode* [loe: mood] = harjumus, komme) tähendab statistilises \* reas kõige sagedamana esinevat liiget.

**Multineuroniline** (ladinakeelsest sõnast *multus*=palju, mitu ja kreekakeelsest sõnast *neuron*=soon, närv) tähendab hulgast neuronitest \* moodustunud, paljudest neuronitest koosnev.

**Muskoon** (ladinakeelsest sõnast *muscus*, mis algselt pärineb sanskriti keelest) on muskuses \* umbes poolteise protsendi ulatuses leiduv aine — tugeva lõhnaga värvusetu vedelik.

**Muskus** (ladinakeelsest sõnast *muscus*, mis algselt pärineb sanskriti keelest) ehk bisam (keskladinakeelne sõna *bisamus*, mis algselt pärineb heebrea keelest) on Aasias Tiibetist Süüriani mägedes elutseva hallika või kollakaspruuni muskushirve, pikakihvalise isaslooma kõhunahas leiduva muskusnäärme nõre, mida kuivatatuna kasutatakse ravimite ja lõhnaainete tootmisel.

**Mutant** (ladinakeelsest sõnast *mutans*=muutuv, vahelduv) on normaalsetel vanematel tekkinud, neist ilmselt erinev järglane, kes oma tüvivormist erinevaid tunnuseid või omadusi järgnevatele põlvetele edasi pärandab.

**Määramatuse printsiip** on kvantmehaanikas \* see üldjuhis, et mida läpsemalt osake impulss kindlaks teha, seda ebatäpsemalt on määratud tema asukoht, ja vastupidi.

**Müeliinkestata** (kreekakeelsest sõnast *myelos*=luuüdi) ehk säsitud närvikiud koosnevad ainult telgsilindrist ehk aksonist, mis ongi erutuste edasikandjaks, ja teda otseselt katvast neurilemmist ehk Schwanni\* tupest, ilma neid omavahel eraldava müeliin- ehk säsitupeta, mis kolmanda kihina esineb müeliinkududel.

**Neuroanatoom** (kreekakeelsetest sõnadest *neuron*=soon, närv ja *anatomye*=lahtilõikamine, väljalõikamine) on eriteadlane närvisüsteemi ehitust käsitlevates küsimustes.

**Neurofüsioloogia** (kreekakeelsetest sõnadest *neuron*=soon, närv, *physis*=loodus ja *logos*=mõiste, õpetus) on teadus, mis käsitleb elusolendi närvitalitlust, närvisüsteemi tegevust; neurofüsioloog on eriteadlane neurofüsioloogia alal.

**Neuroloogia** (kreekakeelsetest sõnadest *neuron*=soon, närv ja *logos*=mõiste, õpetus) ehk närviteadus on õpetus, mis käsitleb närvisüsteemi ehitust ja talitlust.

**Neuron** (kreekakeelsest sõnast *neuron*=soon, närv) on närvisüsteemi algühik — närvirakk koos sellest väljuvate harudega.

**Neuroos** (kreekakeelsest sõnast *neuron*=soon, närv) on närvisüsteemi funktsionaalne häire, mis areneb organismi vastutoimena mitmesuguste hingelistele vapustustele, mille puhul pole aga võimalik avastada närvisüsteemis anatoomilisi muutusi.

**Nide** ehk komissuur tähendab anatoomias sümmeetriliselt asetsevate moodustiste vahelist ühendust — närvisõlmi närvikiududega ristisihis ühendavaid närvikiude.

**Nominalistid** (ladinakeelsest sõnast *nomina*=nimed) on nomina-

lismi pooldajad; nominalism oli suund keskaegses skolastilises\* filosoofias, mille järgi üldmõistetele midagi tõelisuses ei vasta ja nad on vaid nimetusteks hulgate üksikutele esemetele.

**Numbriline** (vene keeles *цифровой*, inglise keeles *digital*) on numbritega tegutsev, numbrites väljendav, näiteks numbriline arvuti, numbriline moodsuriist jt.

**Okasionalism** (ladinakeelsest sõnast *occasionalis*=juhulik) on XVII sajandist pärinev metafüüsiline idealistlik õpetus, milles püütakse «vaimu» ja keha suhet esitada juhuslikkusest põhjustatuna, jumaliku mõjutusena.

**Operaator** (ladinakeelsest sõnast *operator*=toimija) esineb real aladel teatud kindlat ülesannet täitva isiku ametinimetusena, näiteks kinooperaator; matemaatikas eritähisena esitatud, teatud tehteid ja toiminguid sisaldav eeskiri, mis rakendub funktsioonile\* või üldse teatud klassi kuuluvale elemendile (näiteks Laplace'i\* operaator  $\Delta$  on  $\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  ja rakendub kolme muutuja funktsioonile).

**Operatsioonialism** (ladinakeelsest sõnast *operatio*=tegevus) on subjektiivne idealismi kuuluv suund kodanlikus filosoofias, mis tekkis käesoleva sajandi kahekümnendatel aastatel ja ühendab endas juba möödunud sajandil esinenud filosoofilisi voolusid — pragmatismi ja empiriokriititsismi ehk mahhismi; operatsioonialistid väidavad, et iga mõiste on rea katseliste ja loogiliste tehete ehk operatsioonide tulemuseks; mõisted, mida ei saa samastada mingisuguse mõõtmisoperatsiooniga, kuulutavad nad mõttetuteks, väljamõeldud «fetiisiteks» — pimesi kummardatavateks või usutavateks asjadeks, lugedes viimaste hulka eelkõige mateeriat.

**Optimism** (ladinakeelsest sõnast *optimus*=parim) on julge, rõõmus ellusuhtumine, elujaatav maailmakäsitlus.

**Orbiit** (ladinakeelsest sõnast *orbis*=rööbas, tee) on üldkeeles: mõjupiirkond; astronoomias: tee, mida mööda taevakeha maailmaruumis mingi teise taevakeha suhtes liigub.

**Osmootne rõhk** (kreekaelsest sõnast *osmos*=tõuge) on osmootsist tingitud rõhk; osmoos on segunevate vedelike imbumine läbi urbse vaheseina.

**Paavian** (saksakeelsest nimetusest *der Pavian*; lad. *Papio*) ehk koerapeaahv on kitsanialiste nn. koerahvlaste ehk pärdiklaste sugukonda kuuluv ahv — ettepoole küündivate lõugadega ja peaaegu ühepikkuste ees- ning tagajäsemetega; paaviane esineb Aafrikas ja Väike-Aasias; nad elavad enamasti kaljustes paikades, harvem metsades; toituvad peamiselt taimedest, ka linnunadest ja väiksematest loomadest; värvuselt pruunid või tumehallid kuni mustjad.

**Paleontoloogia** (kreekaelsest sõnast *palaios*=vana, *ontos*)=olev ja *logos*=mõiste, õpetus) on teadus, mis uurib möödunud geoloogilistel aegadel elanud olendite kivistisjäänuseid.

**Palindroom** (kreekaelsest sõnast *palindromos*=tagasijooksev) on sõna või lause, mis niihästi päri- kui ka tagurpidi loetuna sisaldab ühesugust või üldse mingit tähendust, nagu udu, asi jt.

**Paradoks** (kreeka keeles *paradoxon*=üllatuslik) on teaduses ootamatu nähtus, mis näib vasturääkivana tavalistele kujutlustele; näilikult mõistusevastane väide.

**Parameeter** (kreekakeelsest sõnast *parametron*=mõõtev) tähendab matemaatikas abisuurust, mis võib üksiku ülesande puhul olla jääv, kuid üldjuhul muutuda; tehnikas mingit seadet iseloomustav suurus.

**Paranoik** (kreekakeelsest sõnast *paranoia*=meeletus) ehk hullumeelne on paranoiati põdeja; *paranoia* ehk hullumeelsus on kroonilise vaimuhaiguse erivorm, mille puhul haigele tundub, et teda lakkamatult petetakse ja kiusatakse, et tal on vaenlased, kes teda jälitavad, mistõttu ta muutub umbusklikuks; mõni haige arvab nägevat või kuulvat oma vaenlasi ja tagakiusajaid; esineb ka suurehullustena.

**Parasümpaatiline närvisüsteem** vt. sümpaatiline närvisüsteem.

**Parees** (kreekakeelsest sõnast *pareisis*=nõrgenemine) on mitmetäielik halvatus, mingi elundi talitluse nõrgenemine.

**Par excellence** [loe: *pareksela'(n)ss*] on prantsuskeelne väljend, mille tähenduseks on *eriti, sõna otseses mõttes*.

**Pari passu** on ladinakeelne ratsaspordis esinev väljend, mis tähendab *ühtlasel sammul, sammu pidades*.

**Parkinsoni tõbi** ehk *paralysis agitans*, eestikeelse nimetusega värihalvatus on aju kahjustusest tingitud tõbi, mis avaldub alatises lihaste värisemises; ta algab värisemisliigutustena kätelihastes, millele hiljem lisanduvad värinad teistes kehaosades ja lihaste jäikus ning lühenemine.

**Patoloogiline** (kreekakeelsetest sõnadest *pathos*=kannatus, piin ja *logos*=mõiste, õpetus) tähendab *haiguslik* või *patoloogiasse puutuv*; *patoloogia* ehk haiguseõpetus uurib haiguste põhjusi, teket ja haiguslikke nähtusi ning muutusi kehas.

**Perifeersed kiud** (kreekakeelsest sõnast *periphereta*=ringjoon) on silma võrkkesta äärealadel ehk perifeerias (väljaspool kollastähni) olevad kiud; perifeerne nägemine on nägemine võrkkesta äärealaga; perifeerse närvisüsteemi moodustavad pea- ja seljaajust väljuvad närvid koos nende lõpmetega elundeis.

**Perpetuum mobile** ehk igiliikur tähendab lakkamatult isenesest liikuvat masinat; teist liiki *perpetuum mobile*ks nimetatakse sellist igiliikurit, mis muundab soojuse mehaaniliseks tööks, ilma selleks temperatuurivahet vajamata; tema loomine on võimatu, sest ta oleks vastuolus termodünaamika teise printsiibiga; esimest liiki *perpetuum mobile*, seevastu, oleks seade, mis liiguks igavesti, ilma energiat vajamata; ka selline on teostamatu, olles vastuolus termodünaamika esimese printsiibiga, sest iga liikumisega paratamatult kaasneb ärritumine ja sellest tingitud energiakadu kasutult hajuva soojusena.

**Pingus** ehk toonus (ladinakeelne sõna *tonus*, mis tuleneb kreeka-keelsest sõnast *tonos*=pinge) on püsivalt talitlevate elundite alatine pinevus seisund ehk ärritumiseks valmisolek.

**Piruett** (prantsuskeelne sõna *pirouette* [loe: *piruett*]) on kiire tantsupöörde ühel jalal; ratsahobuse pöörde tagajalgadel; kohal pöörlemine iluuisutuses.

**Planetaarium** (ladinakeelsest sõnast *planeta*=rändtäht, mis tuleneb kreeka keelest: *planetes*=ekslev) on mudel planeetide, Kuu ja Päikese liikumise selgitamiseks; optiline seade tähistaeva pildi projitseerimiseks kuplitaolisele ekraanile.

**Populatsioon** (ladinakeelsest sõnast *populatio*, mis tuleneb sõnast *populus*=rahvas) tähendab üldiselt rahvastust, bioloogias aga

ühte või teise liiki kuuluvate, teataval loomuliikul levikualal leiduvate taimede või loomade kogumit; ka liigi olemiskuju.

**Postulaat** (ladinakeelsest sõnast *postulatum*=nõutav) on nõue, vajalik eeldus, kehtivana eeldatav alusväide, põhieeldus, mis tõestust ei vaja.

**Potentsiaal** (ladinakeelsest sõnast *potentia*=võimsus, võimalus) on varjatud võimaluste määr sõjalises, majanduslikus või muus mõttes: füüsikas: suurus, mis iseloomustab välja teatavas punktis oleva keha energiavaru; potentsiaalibarjäär vt. barjäär.

**Potentsiomeeter** (ladinakeelsest sõnast *potentia*=võimsus, võimalus ja kreekaelsest sõnast *metreo*=möödan) on elektrotehnikas tundlik mõõteriist elektromotoorse jõu, voolu või takistuse mõõtmiseks kompensatsioonimeetodil; peamiselt elektroonikas: seadis pinget sujuvaks muutmiseks.

**Proprioretseptiivne** ehk ka proprioretseptiivne (ladinakeelsetest sõnadest *proprio*=omaene, omaalgatus ja *recipere*=vastu võtma) tähendab: proprioretseptorite kaudu saabuvatest ärritustest tingitud; proprioretseptorid on lihastes ja kõõlustes peituvad retseptorid\*, mis erutuvad lihaste mehaanilisest venitusest tingitud ärrituse tagajärjel, andes olendile taju elundi asendi, paigutuse ja liikumise kohta.

**Proteiinid** (kreekaelsest sõnast *protos*=esimene) on lihtvalgud, millest on moodustunud looma- ja taimerakud.

**Psühhiaatria** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing ja *iatreia*=ravi) on arstiteaduse haru, mis käsitleb vaimuhaigusi ja nende ravi; psühhiaater on vaimuhaiguste arst.

**Psühhooanalüüs** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing ja *analysis*=lahutamine, lahendamine) on subjektiivsesse idealismi kuuluv suund kodanlikus psühholoogias\* ja psühhoteerapias\*, mille rajajaks on olnud austria psühhiaater Freud\* ja mida tuntakse ka fröidismi nimetuse all; omistab inimese vaimsete nähtuste seletamisel erilist tähtsust niinimetatud allasurutud ehk teadvusest «väljatõrjutud» vaimsetele elamustele, eriti mitmesugustele rahuldamata jäänud sugeluliste laadi soovidele, mida ta nimetab kompleksideks; need olevatki mitte ainult põhjuseks vaimsetele häiretele, vaid ka aluseks kogu inimeste ning ühiskonna vaimuelule; täiesti eitatakse elu sotsiaalseid tingimusi kui määravat tegurit inimese hingelaadi kujunemises ja arenemises, ei tunnustata vääriiselt teadvuse osa vaimuelus ja lõpptulemusena eitatakse vaimse tegevuse uurimise võimalusi ning taandatakse bioloogilisele alusele ühiskondlik-ajaloolised seaduspärasused; fröidism tekkis algul arstiteadusliku õpetusena närvahaiguste ravimiseks, hakkas aga hiljem tegelema unenägude, eksimuste, usu, kunsti, kirjanduse, rahvaluule, pedagoogika, iseloomu ja muude kultuurpsühholoogiliste küsimustega.

**Psühholoog** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing ja *logos*=mõiste, õpetus) on eriteadlane psühholoogias, s. o. teaduses, mis uurib hingeelulisi nähtusi.

**Psühhopaatoloogia** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing, *pathos*=kannatus, kahjustus ja *logos*=mõiste, õpetus) on õpetus vaimsetest ja hingelistest häiretest ning ebanormaalsustest; psühhopaatoloog on eriteadlane vaimsete häirete alal.

**Psühhoteeraapia** (kreekaelsest sõnast *psyche*=hing ja *therapeia*=hoolitsus, ravimine) on haiguste ravimine vaimse mõjutamisega, näiteks hüpnooti ehk nn. kunstliku unega, sugereerimise ehk sisendamise ja muul sellisel teel.

**Quadriceps extensor femoris** [loe: *kva'dritseps ekste'nzor feemo-riis*] on neljapäine reiesirutajalihas.

**Rabi** (vana-heelbreakeelsest sõnast *rabbi* = mu õpetaja) on juudi usukultuse teener, preester.

**Radar** (selle sõna moodustavad algustähed ingliskeelsetest sõnadest *radio detecting and ranging* [loe: *reidio detekting ünd rendzing* = raadioga avastamine ja sihtimine]) on raadiotehnikast välja kasvanud tehnikaala, mis algul oli määratud vaenlase lennukite ja laevade avastamiseks suurelt kauguselt ja oma lennukite suunamiseks ning suurtükitle juhtimiseks; tänapäevaks on ta kujunenud peaaegu tõeliseks kaugele vaatamise tehnikaks, võimaldades näha kaugeid esemeid hoolimata päevaajast ja ilmast; meil tuntakse seda tehnikaala raadiolokatsiooni nimetuse all.

**Refleks** (ladinakeelsest sõnast *reflexus* = peegeldus) tähendab füsioloogias organismis närvisüsteemi kaudu toimuvat vastumõju ärritusele; eristatakse kaasasündinud tingimatuid reflekse ja olendi iseseisva elu kestel kogemuste najal kujunenud tingitud reflekse ehk tingreflekse; viimased võivad kaduda, taastuda ja kujuneda ümber tingimatuiks.

**Refleksikaar** on rada, mida mööda kulgeb erutus ärrituskohast kesknärvisüsteemi ja sealt teostuselundesse.

**Reflektorne** on refleksidega seoses olev või refleksi\* teel toimuv, tahteale allumatu.

**Relaksatsioonvõnkumine** (ladinakeelsest sõnast *relaxatio* = puhkus, kergendus) on hüppeliselt üksteisele järgnevate tõugetena korduv võnkumine, näiteks elektrotehnikas saehammaspinge.

**Relee** (prantsuskeelsest sõnast *relais* [loe: *rölee*] = postijaam küt-hobuste vahetamiseks) on seadis, mis mingi suuruse mõjutusel lülitab ümber elektrivooluringe; olulisemaid üksikosi automaatikas; kõige levinum on elektromagnetiline relee.

**Resonants** (ladinakeelsest sõnast *resonare* = kajama) on keha või süsteemi kaasavõnkumine juhul, kui mõjutava võnkumise sagedus on võrdne keha või süsteemi omasagedusega.

**Retseptorid** (ladinakeelsest sõnast *recipere* = saada) on tunde-närvide lõppmoodustised ehk lõpmed, mis on võimelised võtma elus-olendi välis- ning sisekeskkonnast vastu ärritusi ja muundama need nn. tsentripetaalsete närvide kaudu kesknärvisüsteemi ülekantavateks erutusteks.

**Rorschachi\* test** vt. alltekst lk. 166.

**Ruutkeskmise** vt. vea ruutkeskmise.

**Sagedusmodulatsioon** vt. modulatsioon.

**Salvarsaan** (ladinakeelsest sõnast *salvare* = päästma ja keemilise elemendi nimetus *arsen*) on süüfilise ravimiseks tarvitatav arseenipreparaat.

**Sekulaarne** (ladinakeelsest sõnast *saeculum* = igavik) on pikaajaline, sadu või tuhandeid aastaid kestev.

**Semantika** (kreekakeelsest sõnast *semantikos* = tähistav) on keele, üksikute sõnade ja sõnaosade tähenduslik külg.

**Sfäärیدهarmonia** (kreekakeelsetest sõnadest *sphaira* = kera ja *harmonia* = side, kooskõla) on Pythagorase\* ja tema koolkonna

õpetuses ehk pütagoreismis esinev seletus inimestele tajumatust taeva-  
tähtede kooskõlast, mis tekib nende pöörlemisest «maailmatule» ümber.

**Sisand** vt. alltekst lk. 18.

**Skisofreenik** on haige, kes põeb varast nõdrameelsust, mis kannab  
nimetust dementia praecox ehk skisofreenia (kreekakeelsetest  
sõnadest *schizo*=purustan, tükeldan, ja *phren*=mõistus); skisofree-  
niaks nimetatakse nooreas, eriti suguküpsusse jõudmise eas, seni tead-  
mata põhjustel algavat vaimset tasakaalutust, mis pikkamööda järk-  
järgult raskemaks arenedes õigeaegse ravi puudumisel viib ajus tek-  
kivate muutuste tagajärjel mõistuse kaotuseni; oma algjärgus on edu-  
kalt ravitav kestva unega ja muudel meetoditel.

**Skolastika** (kreekakeelsest sõnast *scholē*=kool ladina keelde kan-  
dunud sõnast *scholasticus*=kooli-) oli keskage se feodaalühiskonna  
peamine religioosne idealistlik filosoofia, mis põhines kirglikel dog-  
madel ja mida iseloomustasid põhjendamatud kaalutlused ning viljatud  
näival loogilised pettearutlused.

**Solenoid** (kreekakeelsetest sõnadest *solen*=toru ja *eidōs*=kuju)  
on silindrilisel keritud juhtmetest moodustuv elektromagnet.

**Sotsioloogia** (ladinakeelsest sõnast *soci(etas)*=ühiskond ja kreeka-  
keelsest sõnast *logos*=mõiste, õpetus) on kodanlik ühiskonnaõpetus,  
mis ei omista vajalikku tähendust ajaloolise arengu seaduspärasustele.

**Spasm** (kreeka keeles *spasma*) on püsiv kramplikult kangestunud  
olek, eriti õõneselundel.

**Spinaalne** (ladinakeelsest sõnast *spina*=selgroog) tähendab *selg-  
roo*-, *seljaaju*-; spinaalne ahelik on seljaaju kaudu kulgev  
närviahelik; spinaalne katseloom (enamasti konn, koer,  
kass) on selline, kellel on füsioloogiliste uurimiste jaoks ühendus pea-  
aju ja seljaaju vahel viimase läbilõikamise teel katkestatud.

**Statistika** (ladinakeelsest sõnast *status*=seisund) on teadus, mis  
käsitleb, massiliselt ehk hulgi esinevaid nähtusi nende arvulise kirjeldu-  
sena; ühiskonnateaduses uurib ühiskonnas esinevaid majandus-  
likke nähtusi arvulises väljenduses; füüsikas: füüsikaliste suu-  
ruste ja seaduste arvuline tuletamine tõenäosusel põhinevate tähelepane-  
kute põhjal, lähtudes vähimate osakeste liikumistest; statistiline  
tähendab statistikas esinevat, statistikasse puutuvat.

**Statistiline mehaanika** nagu ka statistiline füüsika on teo-  
reetilise füüsika osa, mis käsitleb makroskoopiliste süsteemide omadusi  
nende atomaarse ehituse seisukohalt.

**Stereotüüpne** vt. alltekst lk. 198.

**Strühniin** (kreekakeelsest sõnast *strychnos*=karumustikas) on  
strühniinipuude seemneis ja koores sisalduv väga mürgine lämmastiku-  
ühend, mida tarvitatakse vereringehäirete, silmahaiguste jm. raviks,  
samuti kahjulike loomade hävitamiseks.

**Sub specie aeternitatis** [loe: *sub speetsie äternitaatis*] on ladina-  
keelne väljend *igaviku tähe* (ehk *märgi*) *all* — igaviku seisukohalt.

**Subsumptioon** (ladinakeelsetest sõnadest *sub*=all ja *sumptio*=  
võtmine, eeldus) tähendab üldse allutama, järjestama; loogikas:  
mõistete alluvus, milles kitsam mõiste suhtub laiemasse nagu liik  
soosse, näit. vares — lind, elamu — hoone jne.; *subsumeerimine*  
on kitsama mõiste allutamine avaramale.

**Südameklõppimine** on südame tugevamatest ja sagenenud lööki-  
dest tekkiv klõppimistunne rinnal, mida võib esineda ka tervetel in-  
imestel ülepingutuste korral.

**Sümboolika** (kreekakeelsest sõnast *symbolon*=tunnus) on sümbo-  
lite — võrdkujude, piltide, tingmärkide, tähiste — kasutamine.

**Sümpaatilise** (kreekakeelsest sõnast *sympatheia*=poolehoid) ehk vegetatiivse närvisüsteemi närvid korraldavad veresoonte laienemist ja ahenemist, näärmete tegevust jne.; parasümpaatilisteks (kreekakeelse eesliitega *para*=kõrval, juures, vastu) nimetatakse mõningaid ajunärve, mis on tihedas seoses sümpaatilistega ja millel on samu talitluslikke omadusi.

**Sünapsid** (kreekakeelsest sõnast *synapis*=ühendus) on moodustised, milles toimub närvirakkude kokkupuude omavahel või kudedega; nende kaudu toimub närviimpulsside üleandmine; iga neuron\* on naaberneuronitega ühenduses 500...3500 sünapsi kaudu.

**Tabes dorsalis**, selja taabes ehk seljaajukuive tähendab teatavaid muutusi seljaaju tagumistes väätidest: neid moodustavas ja närvi-kiududest koosnevas valgeolluses esineb hallväärastus, mis avaldub närvide müeliintupe laostumisena ja hävimisena, mille tagajärjel valgeollus omandab halli värvuse; hävivad ka närvikiud ise.

**Teist liiki perpetuum mobile** vt. *perpetuum mobile*.

**Tajur** vt. alltekst lk. 42.

**Telegraafitranslatsioon** (kreekakeelsetest sõnadest *tele*=kaug- ja *grafo*=kirjutan ning ladinakeelsest sõnast *translatio*=ülekandmine) on eriline releevõimendi — vahejaamades telegraafisignaalide tugevdamiseks ja üleandmiseks releede abil.

**Tensomeeter** (ladinakeelsetest sõnadest *tendere*=pingutama ja *metro*=mõõdan) ehk pingusmõõtja on riist pinguse mõõtmiseks väikeste pikenenemiste põhjal.

**Teodiike** (kreekakeelsetest sõnadest *theos*=jumal ja *dike*=õigus, õiglus) ehk jumalaõigustus tähendab usulis-filosoofilisi arutlusi, mis käsitlevad jumala ja maailmas valitseva kurjuse vahekorda, püüdes kuidagi seletada kurja päritolu, riivamata jumala eeldatavat headust ja tema hoolitsust maailma eest, püüdes seletada ja õigustada ilmselt ning leppimatut vastuolu ühelt poolt maailmas valitseva kurjuse ja ebaõigluse ning teiselt poolt usundites jumalale omistatava õilsuse ja kõikvõimsuse vahel; teodiiket esines juba vana-kreeka stoikute filosoofilise koolkonna esindajatel, kes pidasid kurja paratamatuseks, ja esineb kristluse usuõpetuses, eriti aga XVII—XVIII sajandi filosoofilistes vooludes.

**Termodünaamika** (kreekakeelsetest sõnadest *thermos*=soe ja *dynamikos*=jõusse puutuv) on füüsika osa, mis käsitleb soojusliku tasakaalu küsimusi ja soojuse ühtekuuluvust teiste energiatega.

**Termostaat** (kreekakeelsetest sõnadest *thermos*=soe ja *statos*=seisev) on mahuti või ruum, milles automaatselt säilitatakse püsivat temperatuuri.

**Tingrefleks** vt. *refleks*.

**Titanoteerlased** on paaritukabjaliste väljasurnud sugukond.

**Tooniline kramp** vt. *kramp*.

**Toonus** vt. *pingus*.

**Topograafia** (kreekakeelsetest sõnadest *topos*=koht, maastik ja *grapho*=kirjutan) on rakenduslik geodeesia, mis käsitleb maakoha määramise ja kaardistamise küsimusi, ka maa-ala üksikute paikade omavahelisi seoseid; topograafiline on eelmisest tulenev omadussõna; näiteks topograafiline anatoomia moodustab anatoomia haru, mille eesmärgiks on keha elundite ja osade paiknevuse ning vastastikuste suhete uurimine.

**Topoloogia** (kreekakeelsetest sõnadest *topos*=koht, maastik ja *logos*=mõiste, õpetus) on matemaatika osa, mis uurib geomeetristlike kujundite paigutusvahekordi ja asendilist struktuuri.

**Traduttore — traditore** on itaaliakeelne sõnademäng, mis otseses tõlkes kõlab: *tõlkija — reetur*; selle väljendi mõtteks on, et vilets tõlkija moonutab esialgse mõtte sisu täielikult.

**Transfiinitne** (ladinakeelsetest sõnadest *trans*=läbi ja *finis*=piir) tähendab *lõputa, lõpmatu*.

**Transitiivsus** (ladinakeelsest sõnast *transitus*=üleminek, siirdumine); matemaatikas nimetatakse omadust *s* transitiivseks ehk siirduvaks, kui seoseist *asb* ja *bsc* järgeldub seos *asc*; transitiivne on näiteks omadus «võrdne»: kui kaks suurust või eset on kolmandaga võrdsed, siis on nad ka omavahel võrdsed — seoseist *a=b* ja *b=c* järgeldub *a=c*; samuti on transitiivseteks omadused «suurem» ja «mittesuurem»; omadus «mittevõrdne» seevastu pole transitiivne.

**Treemor** vt. *intentsioonitreemor*.

**Tromboos** (kreekakeelsest sõnast *thrombos*=klomp, kalgend) on haiguslik vere hüübimine elava olendi veresoontes, mingi kahjustuse tagajärjel konarlikuks muutunud veresoonte seintel tekkivate ja verehüübeid moodustavate trombidena, mis sageli põhjustavad veresoone ummistuse.

**Tsentraallohk** (ladinakeelsest sõnast *centralis*=keskne) on silmama sisepeemõõdu moodustava nn. võrkkesta tagumise osa ehk silmapõhja kõige nägemistundlikuma ala — kollastähni — keskmeks; kollastähni abil toimuv otsene ehk tsentraalne nägemine ehk päevane nägemine on selge, kuna aga temast väljaspool olevate, teda ümbritsevate võrkkesta aladega toimuv perifeerne ehk kaudne nägemine, mida nimetatakse ka hämaras nägemiseks, on ebaselge.

**Tsentraalpost** (ladinakeelsest sõnast *centralis*=keskne) ehk keskuhtimistorn on raudteesõlmes leiduv tornikujuuline ehitis, kust toimub kogu sõlme ulatusel kulgeva liikluse keskendatud juhtimine ja kontrollimine vastava signaalsatsiooni abil.

**Tsiibtoon** (araabia keelest) on tsiibetis\* sisalduv lõhnaaine.

**Tsiibet** (araabia keelest) on muskuselõhnaeline\* aine, mida saadakse tsiibetkassi pärakunäärme taskuist ja kasutatakse lõhnaainete tootmiseks; tsiibetkass ehk kärpkass on Aafrikas elunev tuhkhall, musta-pruuni tähniline pika rulja kerega, pikliku peaga ja pika kaelaga, kiskjaliste seltsi imetaja.

**Turbulents** (ladinakeelsest sõnast *turbulentus*=korrapäratu) on keeriste tekkimine vedelikkude ja gaaside voolamisel; *turbulentne* voolamine tähendab voolamist keeriste tekkimisega.

**Tuumafüüsika** on füüsika haru, mis käsitleb aatomituumi ja elementaarosakesi; moodustab tuumatehnika teadusliku aluse.

**Täitur** vt. alltekst lk. 61.

**Universum** vt. funktsiooni *universum*.

**Variatsioon** (ladinakeelsest sõnast *variatio*=muutus) üldse tähendab teisendust; bioloogias: loomade ja taimede väikene kõrvalekalduvus põhitudubist; muusikas: ühe ja sama muusikalise teema kordamine pisut muudetud kujul; matemaatikas: diferentsiaali üldistus funktsionaalidele.

**Variatsioonarvutus** (ladinakeelsest sõnast *variatio*=muutus) on matemaatika osa, mis käsitleb ühe või mitme funktsiooni\* valikust sõl-

tuvate suuruste, nn. funktsionaalide suurima ja vähima väärtuse leidmist.

**Vea ruutkeskmise** on ruutjuur vigade rüntude aritmeetilisest keskmisest; vähimruutude meetod on niisugune ligikaudse funktsiooni\* leidmisviis, et vea ruutkeskmise osutub minimaalseks.

**Vektoranalüüs** (ladinakeelsest sõnast *vector*=vedav, kandev ja kreeka keelsest sõnast *analysis*=lahutamine, lahendamine) on matemaatika osa, mis käsitleb tehteid vektoritega ja vektorite diferentseerimist ning integreerimist; vektor on pikkust ja suunda määrav suurus, kuna aga skalaar on ainult arv või üldse arvvärtusi omandav suurus.

**Vitalism** (ladinakeelsest sõnast *vitalis*=eluline) on idealistlik filosoofiline maailmavaade, mis eeldab üleloomuliku, mittemateriaalse «elujõu», «hinge», «entelehhia» jms. olemasolu elusolendites.

**Vocoder** vt. alltekst lk. 80.

**Vurrkompas** on laeva kursi hoidmiseks ja asukoha määramiseks kasutatav kompass, mille põhiosaks on pöörlev vurr.

**Väljundama** vt. alltekst lk. 18.

**Wheatstone'i\* sild** on elektrotehnikas esinev mööduriist takistuse mõõtmiseks tasakaalustusmeetodil.

**Wilsoni\* udukamber** on põhiline tuumafüüsikas kasutatav riist, mis võimaldab elementaarosakeste liikumistee jälgimist.

**Õlikrakkimisaparaat** on seade rasketest õlidest bensiini valmistamiseks krakkimismenetlusel, mis seisneb süsivesinike lagundamises nende ülekuumutamisega aurustunud olekus.

## BIOGRAAFILINE MÄRKSONASTIK

**Abel, Niels Henrik**, 1802—1829, norra matemaatik (lk. 70).

**Adler, Alfred**, 1870—1937, austria närviarst ja psühholoog, nn. individuaalpsühholoogia rajaja (lk. 184).

**Aiken** [loe: *eikn*] (lk. 28, 29).

**Al-Khwārizmī**, Abū 'Abdallāh Muchammad ibn Mūsā, elas IX saj. esimesel poolel Bagdadis, vanema araabia perioodi silmapaistvam matemaatik; on kirjutanud õpperaamatud algebrast ja aritmeetikast; XII saj. algul sattus araablaste matemaatika koos hindu-araabia numbritega Euroopasse peamiselt tema teoste tõlgete kaudu (lk. 212).

**Ampère, André Marie** [loe: *a(m)päär, a(n)dree marii*], 1775—1836, prantsuse matemaatik ja füüsik, elektrodünaamika rajajaid (lk. 24).

**Ananke** [kr. *Αναγκη*] tähendab kreeka keeles paratamatust, saadust; esines kreeklaste jumaliku olendina (lk. 56).

**Aristoteles** [kr. *Ἀριστοτέλης*, loe: *aristoteeles*], 384—322 e.m.a., kreeka filosoof; Ateenas nn. peripateetilise kooli asutaja; mitmekülgsem antiikaja teadlane (lk. 222).

**Ashby, Walter Ross** [loe: *ešbi, uolte(r) ross*] (lk. 205, 208, 209, 210, 211).

**Augustinus, Aurelius** [loe: *augustiinus, aureelius*], 354—430, pärit Numiidias, Põhja-Aafrikas; üks tähtsamaid ristiusu kirikutegelasi (lk. 214).

- Balzac**, Honoré de [loe: *balza'k*, *onoree dö*], 1799—1850, prantsuse romaanikirjanik (lk. 155).
- Bartlett**, F. C. [loe: *bä(r)let*] (lk. 38).
- Bateson**, Gregory [loe: *beitsn*, *gregori*] (lk. 33, 39).
- Bayes**, Thomas [loe: *beies*, *tomäs*], sünniaasta teadmata, surnud 1763, inglise matemaatik, tõenäosusteoorias esineva tema nime kandva teoreemi autor (lk. 119).
- Bergson**, Henri [loe: *bergsó'(n)*, *a(n)rüü*], 1859—1941, prantsuse idealistlik filosoof (lk. 55, 62).
- Bernal**, John Desmond [loe: *berna'l*, *džon desmond*], sünd. 1901, inglise füüsik ja ühiskonnategelane (lk. 38).
- Bessemer**, Henry, sir [loe: *bässimä(r)*, *hänri. söör*], 1813—1898, inglise tehnik ja leidur, temanimelise terasetootmisenetluse leiutaja (lk. 215).
- Bigelow**, Julian H. [loe: *biglou*, *džuliän h.*] (lk. 17, 18, 19, 20, 25, 29, 33).
- Birkhoff**, George Dawid [loe: *birkhof*, *džoodž deivid*], 1884—1944, ameerika matemaatik (lk. 67, 74, 75, 89).
- Blake**, William [loe: *bleik*, *uiljäm*], 1757—1827, inglise luuletaja, graafik ja maalikunstnik (lk. 43).
- Blanc-Lapierre** [loe: *bla(n)-lapjä'r*] (lk. 39).
- Bogoljubov**, Nikolai Nikolajevitš [Боголюбов, Николай Николаевич], sünd. 1909, nõukogude matemaatik (lk. 9, 79).
- Bohm** [loe: *boom*] (lk. 208).
- Bohr**, Niels [loe: *boor*, *nüls*], sünd. 1885, taani füüsik, aatomi ehituse kvantteooria rajaja, Nobeli \* preemia laureaat (lk. 55).
- Boltzmann**, Ludwig, 1844—1906, Austria füüsik, kiirguse teooria ja gaaside kineetilise teooria rajajaid (lk. 55).
- Bonin**, von (lk. 33, 38, 174).
- Boole**, George [loe: *buui*, *džoodž*], XIX saj. inglise matemaatik, matemaatilise loogika \* rajaja (lk. 26, 148, 222).
- Borel**, Émile [loe: *bore'l*, *emi'l*], 1871—1956, prantsuse matemaatik (lk. 63).
- Braille**, Louis [loe: *brai'*, *lui'*], 1809—1852, prantsuse pimedate õpetaja, rahvusvaheliselt käibel oleva pimedatekirja looja (lk. 174).
- Brown**, Robert [loe: *braun*, *robö(r)t*], 1773—1858, inglise taime-teadlane; muu hulgas avastanud tema nime kandva molekulaarliikumise (lk. 91, 92, 94, 99, 102, 111, 113, 114, 119, 240, 242).
- Bush**, Vannevar [loe: *buš*, *vannevar*] (lk. 14, 15, 17, 28, 147, 194).
- Butler**, Samuel [loe: *batle(r)*, *sämjuel*], 1835—1902, inglise kirjanik; vt. alltekst lk. 43.
- Caldwell**, Samuel [loe: *kolduell*, *sämiuel*] (lk. 17).
- Cannon**, Walter Bredford [loe: *kännon*, *uolte(r) bredfo(r)d*], 1871—1945, ameerika füsioloog (lk. 11, 31, 145).
- Cantor**, Georg [loe: *kantor*, *georg*], 1845—1918, saksa matemaatik, klasside algebra rajajaid (lk. 26, 64, 157).
- Carnap**, Rudolf [loe: *karna'p*, *ruudol*], sünd. 1891, Austria filosoof-neopositivist, üks loopilise semantika \* rajajaid; aastast 1936 professor Chicago ülikoolis (lk. 26).
- Carnot**, Nicolas Léonard Sadi [loe: *karnoo*, *nikolaa leonaar sadii*], 1796—1832, prantsuse füüsik, termodünaamika teise printsiibi sõnastaja (lk. 56, 215).

**Carroll**, Lewis [loe: *kärel, ljuis*], varjunimi, mille all avaldas rea fantastilisi lasteraamatuid inglise kirjanik, Oxfordi ülikooli matemaatika dotsent **Dodgson**, Charles Lutwidge [loe: *dodžen, tšaalz latuidž*], 1832—1898 (lk. 68, 159, 160, 180).

**Cauchy**, Augustin Louis [loe: *koši, ogüstä'(n) luit*], 1789—1857, prantsuse matemaatik (lk. 105).

**Cayley**, Arthur [loe: *keili, aat(s)e*], 1821—1895, inglise matemaatik (lk. 133).

**Chávez**, Ignacio [loe: *tšaavez, ignaasio*] (lk. 31, 37).

**Chandrasekhara** ehk **Chandrasekhar**, Subrahmanjan [loe: *tšandrasekaar, subrahmanjan*] sünd. 1910, india astrofüüsik, aastast 1937 Chicago ülikooli Yerkesi [loe: *jööksi*] tähetorni kaastöötaja ja Chicago ülikooli õppejõud, 1942. aastast professor (lk. 48).

**Compton**, Arthur Holly [loe: *kompten, aat(s)e holi*], sünd. 1892, ameerika füüsik, tuumafüüsikas tema nime kandva nähtuse avastaja (lk. 208).

**Curie** [loe: *kürii*], abielupaar: Pierre [loe: *pjäär*], 1859—1906, prantsuse füüsik, ja tema abikaasa Marie [loe: *marii*], sünd. Skłodowska, 1867—1934, füüsik ja keemik, päritolult poolatar; polooniumi ja raadiumi avastajad, Nobeli\* preemia laureaadid (lk. 207).

**Daidalos** [kr. Δαίδαλος=taidurlik], vana-kreeka mütoloogias esinev meisterlik kujur, arhitekt ja leidur (lk. 57).

**Daniell** [loe: *deinief*] (lk. 30).

**Darwin**, Charles Robert [loe: *daa(r)uin, tšaa(r)ls robõ(r)l*], 1809—1882, tuntud inglise looduseuurija ja evolutsiooniõpetuse eest võitleja ning tema järgi darvinismiks nimetatud õpetuse rajaja; õppis arsti- ja usuteadust; loodusteadlane — zooloog ja geoloog — ning võitleja evolutsiooniõpetuse eest, millele pani aluse juba tema vanaisa Erasmus D. [loe: *iräzmes*] (1731—1802, arst, loodusteadlane ja luuletaja), kujunes Charles'ist kestvatest loodusteaduslikest uurimisreisidest osavõtu tulemusena (lk. 12, 54, 206).

**Darwin**, George Howard [loe: *daa(r)uin, džoodž hauä(r)d*], 1845—1912, eelmise poeg, täheteadlane ja füüsik; eriti tuntud on tema uurimused tõusust ja mõõnast ehk nn. loodete evolutsiooni teooria (lk. 52, 54).

**Darwin**, Charles sir [loe: *daa(r)uin, tšaa(r)ls, söör*] (lk. 54).

**Descartes**, René [loe: *deka'rt, rōnee*], 1596—1650, prantsuse filosoof, füüsik, matemaatik ja füsioloog, analüütilise geomeetria rajaja (lk. 58).

**De Vries**, Hugo [loe: *de friis, huugo*], 1848—1935, hollandi botaanik; eriti tuntud on tema tööd pärilikkuse alal; püstitas nn. mutatsiooni teooria (lk. 54).

**Doob**, J. L. [loe: *duub*] (lk. 30, 118).

**Dubé**, Georges [loe: *dübee, žorž*] (lk. 45).

**Einstein**, Albert [loe: *einštein, albert*], 1879—1955, saksa füüsik, saavutas maailmakuulsuse relatiivsusteooria loojana (lk. 91).

**Ericsson**, M. [loe: *erikson*] (lk. 33).

**Eukleides** [kr. Εὐκλείδης, loe: *euklei'des*], 315—255 e. m. a., kreeka matemaatik, on avaldanud ülisuurt mõju matemaatika arengule (lk. 212).

**Faraday, Michael** [loe: *färedi, maikl*], 1791—1867, inglise füüsik ja keemik; üks peamisi elektrotehnika aluste rajajaid; saavutas silmapaistvaid tulemusi ka keemias ja käsitles mõningaid muud tehnika-alasid (lk. 12).

**Fechner, Gustav Theodor**, 1801—1887, saksa füüsik ja filosoof; üks psühhofüüsika ja eksperimentaalse psühholoogia\* rajajaid; eriti tuntud on tema tööd taju uurimise alal, Weberi\*-Fechneri seadusele matemaatilise väljenduse andja (lk. 35, 242).

**Fisher, Ronald A.**, sünd. 1890, inglise matemaatik-statistik (lk. 22, 23, 82, 119).

**Fourier, Jean Baptiste Joseph de** [loe: *furjee, ža(n) bati'st žose'f dö*], 1768—1830, prantsuse matemaatik; tõestas esimesena, et iga funktsioon\* on avaldatav reana (lk. 99, 100, 104, 109, 112, 242).

**Fremont-Smith, Frank** [loe: *frimount-smit(s), fränk*] (lk. 32).

**Freud, Sigmund** [loe: *fröid, zigmund*], 1856—1939, austria arst ja psühhiaater\*; pani aluse psühhoanalüüsile\*, millest arenes välja *fröidismi\** nime all tuntud õpetus (lk. 162, 184, 229).

**Freymann** [loe: *freiman*] (lk. 39).

**Galilei, Galileo**, 1564—1642, itaalia füüsik, mehaanik ja astronoom; üks tänapäeva katselise loodusteaduse rajajaid, nn. Galilei pikksilma leiutaja (lk. 48).

**Gauss, Karl Friedrich**, 1777—1855, saksa matemaatik, kes tegeles peaaegu kõigi matemaatika harudega, avaldades mitmeid teed-rajavaid uurimusi; avaldas tähtsaid uurimusi ka täheteaduses, geodeesias, magnetismi alal, optikas ja mitmel muul alal (lk. 12, 57, 107, 112).

**Geulincx, Arnold** [loe: *göölinks, arnold*], 1624—1669, belgia filosoof; okasionalismi\* rajajaid (lk. 59).

**Gibbs, Josiah Willard** [loe: *gibz, džozai'ä uilä(r)d*], 1839—1903, ameerika füüsik; avaldanud põhjapanevaid uurimusi termodünaamika\* ja statistilise mehaanika\* alalt (lk. 55, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 73, 75, 76, 119).

**Goldstine** [loe: *goldstain*] (lk. 28, 29).

**Golem** [heebrea keelest], legendaarne kunstlik inimene, kelle oletavat savist valmistanud ja elustanud Praha rabi Jehuda ben Bezalel Löwe (1520—1609) (lk. 57).

**Guggenheim, John Simon** [loe: *guggenheim, džon saimon*] (lk. 32).

**Guilbaud, G. T.** [loe: *gilboo*] (lk. 24).

**Gödel, Kurt**, austria matemaatik, üks metamatemaatika\* rajajaid (1931) (lk. 157).

**Haar, H.** (lk. 73).

**Haldane, John Burdon Sanderson** [loe: *holdein, džon bö(r)don sandersn*], sünd. 1892, inglise bioloog (lk. 38, 54, 120, 121).

**Harrison, George** [loe: *härrisn, džo(r)dž*] (lk. 37).

**Heaviside, Oliver** [loe: *hevisaid, olivä(r)*], 1850—1925, inglise füüsik; on uurinud elektromagnetiliste lainete levikut ja avastanud neid laineid peegeldava kivi Maa õhkkonnas (lk. 57, 68).

**Hegel, Georg Wilhelm Friedrich** [loe: *heegel, georg*

*vilhelm früidrih*, 1770—1831, saksa filosoof; esimesena arendas idealistlikus filosoofias dialektilist mõtlemisviisi (lk. 55, 214).

**Heisenberg**, Werner, sünd. 1901, saksa füüsik; üks tähtsamaid teoreetilise füüsika arendajaid ja kvantmehaanika \* loojaid, sõnastas määramatuse printsiibi \* (lk. 21, 55, 119).

**Helmont**, Johann Baptist van, 1577—1644, hollandi keemik; püsis reas küsimustes alkeemia tasemel; tõi keemiasse oskussõna *gaas* (lk. 220).

**Heron Aleksandriast** [kr. Ἡρόων, loe: *heeron*], elas umbes II saj. lõpul e. m. a.; päritolult arvatavasti egiptlane, vanaaja rakendusmatemaatik ja füüsik (lk. 57).

**Hertz**, Heinrich Rudolf [loe: *härts, heinrih ruudolf*], 1857—1894, saksa füüsik; elektromagnetiliste lainete avastaja (lk. 61, 219).

**Hilbert**, David, 1862—1943, saksa matemaatik (lk. 26, 105).

**Hill**, George William [loe: *hill, džoo(r)dž uiljäm*], 1838—1914, ameerika astronoom; on uurinud häireid taevakehade liikumises ja nende häirete arvutamist (lk. 139, 140).

**Hobbes**, Thomas [loe: *hobz, tomäs*], 1588—1679, inglise filosoof; üks tema tähtsamaid töid on «Leviathan» \* (1651) (lk. 191, 224).

**Hopf**, Eberhard, sünd. 1902, saksa matemaatik (lk. 67).

**Hume**, David [loe: *hjuum, deivid*], 1711—1776, inglise filosoof, psühholoog \*, ajaloolane ja ökonomist (lk. 158, 166).

**Hurewicz** [loe: *hureviitš*] (lk. 79).

**Huyghens**, Christiaan [loe: *höighäns, hristjaan*], 1629—1695, hollandi füüsik, matemaatik ja astronoom (lk. 56, 59).

**Joule**, James Prescott [loe: *džaul, džeimz preskät*], 1818—1889, inglise füüsik (lk. 56).

**Jung**, Carl Gustav [loe: *jung, karl gustaf*], sünd. 1875, šveitsi psühholoog \* ja psühhiaater \*, üks šveitsi psühhoanalüüsi \* koolkonna loojaid (lk. 184).

**Кас**, M. [loe: *kats*] (lk. 103).

**Kelvin of Largs**, lord, sir William Thomson [loe: *kelvin of laagz, lord, sõör uiljäm tomsnl*], 1824—1907, inglise füüsik (lk. 57).

**Kepler**, Johannes, 1571—1630, saksa matemaatik ja täheteadlane, üks tänapäeva täheteaduse rajajaid, kes avastas kolm tema nime kandvat seadust planeetide liikumise kohta ja arendas välja astronoomilise pikksilma teooria (lk. 48).

**Klüver** (lk. 33).

**Kolman**, E. J. [Кольман, Э. Я.], nõukogude filosoof (lk. 10).

**Kolmogorov**, Andrei Nikolajevitš [Колмогоров, Андрей Николаевич], sünd. 1903, nõukogude matemaatik (lk. 9, 23, 30, 242).

**Koopman** [loe: *kuupmän*] (lk. 67, 73, 74, 103).

**Kopernikus**, Mikolaj [loe: *kope'rnikus, miko'lai*], 1473—1543, poola päritoluga täheteadlane; esimene heliotsentrilise planeetide-süsteemi põhjendaja, kes tõendas, et Maa ja teised planeedid liiguvad Päikese ümber (lk. 48).

**Kozuljajev**, P. A. [Козуляев, П. А.], nõukogude matemaatik (lk. 30).

**Kraepelin**, Emil [loe: *krepeliin, emiil*], 1856—1926, saksa psühhiaater \* (lk. 178, 180).

**Krein** (lk. 144).

**Krõlov, Nikolai Mitrofanovitš** [Крылов, Николай Митрофанович], sünd. 1879, nõukogude matemaatik (lk. 9, 79).

**Laplace, Pierre Simon de** [loe: *läpla'ss, pjäär simoo(n) dö*] 1749—1827, prantsuse matemaatik ja astronoom (lk. 227).

**Lebesgue, Henri** [loe: *löbeeg, a(n)rii*], 1875—1941, prantsuse matemaatik (lk. 63, 64, 65, 66, 67, 72, 94).

**Lee, Yuk Wing** [loe: *lii, juk ving*] (lk. 14, 30, 111).

**Leibniz, Gottfried Wilhelm** [loe: *leibniits, gotfriid vilhelm*], 1646—1716, saksa filosoof ja matemaatik; õppinud õigusteadust, matemaikat ja filosoofiat, omandas õigusteaduse doktori kraadi; teotses ka ajaloo, poliitika, usuteaduse ja keeleteaduse alal; matemaatikas diferentsiaal- ja integraalarvutuse rajajaid ning praeguse tähistusviisi looja; arendas omapäraselt filosoofiat, mis hiljem avaldas suurt mõju saksa idealismile (lk. 12, 25, 59, 78, 156, 191, 195, 215, 226).

**Lettvin, J.** (lk. 27, 162).

**Levinson** (lk. 30).

**Levy, H.** [loe: *levii*] (lk. 38).

**Lewin, Kurt**, sünd. 1890, saksa psühholoog\*, üks geštaltpsühholoogia\* rajajaid (lk. 33).

**Linné** [loe: *linnee*], aastani 1762 **Linnaeus** [loe: *linnäus*], Karl von, 1707—1778, rootsi loodusteadlane; tema nime kandva taimede seksuaalsüsteemi looja (lk. 158).

**Ляпунов, А. А.** [Ляпунов, А. А.] (lk. 27).

**Lloyd** [loe: *loid*] (lk. 33).

**Locke, John** [loe: *lok, džon*], 1632—1704, inglise filosoof (lk. 158, 159, 166, 170).

**Loève** [loe: *loe'v*] (lk. 39).

**Macy, Josiah** [loe: *meisi, džosaiä*] (lk. 25, 32, 36, 38, 39).

**Maelzel** [loe: *meltseI*] (lk. 204).

**Malebranche, Nicolas de** [loe: *malbra'(n)š, nikolaa dö*], 1638—1715, prantsuse filosoof; idealist, okasionalismi\* esindaja (lk. 59).

**Maxwell, James Clerk** [loe: *mäksuell, džeimz klaakI*], 1831—1879, inglise füüsik; elektromagnetilise välja teooria rajaja (lk. 23, 24, 55, 77, 78, 124, 215, 224, 225).

**McCull, L.** [loe: *mükoll*] (lk. 19, 34, 134).

**McCulloch, Warren** [loe: *mäka'llahh, uorren*] (lk. 25, 26, 27, 29, 32, 37, 38, 41, 174, 175).

**Mead, Margaret** [loe: *miid, ma(r)grit*] (lk. 33, 39).

**Mendel, Johann**, 1822—1884, austria loodusteadlane; tänapäeva geneetika\* rajajaid (lk. 54).

**Moleschott, Jakob** [loe: *molešot, jakob*], 1822—1893, saksa füsioloog; vulgaarse materialismi esindaja (lk. 10).

**Morgenstern, O.** (lk. 33, 39, 195).

**Morison, Robert** [loe: *morisn, robö(r)t*] (lk. 36).

**Morton, Arthur Leslie** [loe: *mortn, aa(r)t(s)ä lezli*], sünd. 1903, inglise ajaloolane (lk. 43).

**Neumann, John von** [loe: *neiman, džon jon*] (lk. 28, 29, 33, 39, 67, 73, 82, 89, 119, 163, 195, 196, 203).

**Newcomen, Thomas** [loe: *njukoomän, toomäs*], 1663—1729, inglise leidur; ehitas aurumasinaga veeputa (lk. 56).

**Newton, Isaac**, sir [loe: *njuutn, aizäk, söör*], 1643—1727, inglise astronoom, füüsik, mehaanik ja matemaatik, klassikalise mehaanika rajaja, ülemaailmse tõmbejõu avastaja, diferentsiaal- ja integraal-arvutuse loojaid (lk. 48, 49, 50, 55, 56, 57, 62, 63, 219).

**No, Lorente de** [loe: *noo, lorente dö*] (lk. 29).

**Nobel, Alfred**, 1833—1896, rootsi tööstur ja rea lõhkeainete leiutaja; pändas surres oma suure varanduse tema nime kandvate preemiade määramiseks (lk. 235, 236, 240, 241).

**Northrup, F. C. S.** [loe: *noo(r)t(s)rüp*] (lk. 33).

**Osgood, W. F.** [loe: *osguud*] (lk. 67).

**Oxtoby, J. C.** [loe: *okstobi*] (lk. 66).

**Paley, R. E. A. C.** [loe: *peili*] (lk. 91, 242).

**Pascal, Blaise** [loe: *paska'l, bleez*], 1623—1662, prantsuse matemaatik, filosoof ja kirjanik; arvutusmasina leiutaja (lk. 25).

**Pasteur, Louis** [loe: *pastöör, luii*], 1822—1895, prantsuse keemik ja bioloog; muude oluliste uurimuste kõrval on tal eriline tähtsus marutõve vastu võitlemises (lk. 188).

**Pavlov, Ivan Petrovitš** [Павлов, Иван Петрович], 1849—1936, vene füsioloog; loomade ja inimese kõrgema närvitalitluse materialistliku õpetuse rajaja (lk. 8, 159).

**Perrin, Jean** [loe: *perrää(n), žaa(n)*], 1870—1910, prantsuse füüsik ja keemik; teinud tähelepanuväärseid uurimisi kolloidide ja Browni\* liikumise alal; Nobeli\* preemia laureaat füüsikas (lk. 91).

**Phillips** [loe: *fillips*] (lk. 30).

**Pitts, Walter** [loe: *pits, uolte(r)*] (lk. 26, 27, 29, 31, 37, 38, 45).

**Plancherel** [loe: *planšerel*] (lk. 67).

**Planck, Max Karl** [loe: *plank, maks karl*], 1858—1947, saksa füüsik; kvantiteooria rajaja (lk. 55).

**Platon** [kr. Πλάτων, loe: *plaaton*], 427—347 e.m.a., kreeka filosoof (lk. 24, 202).

**Poincaré, Jules Henri** [loe: *puä(n)karee, žül a(n)rii*], 1854—1912, prantsuse matemaatik ja filosoof (lk. 139).

**Ptolemaios, Klaudios** [kr. Πτολεμαῖος, Κλαύδιος], elas II sajandil Aleksandrias, kreeka astronoom; esitas geotsentrilise maailmasüsteemi, milles Maad käsitati maailma paigalseisva keskmene, mille ümber liiguvad teised planeedid ja Kuu ning Päike (lk. 48, 217).

**Pythagoras** [kr. Πυθαγόρας, loe: *pütaagoras*], umbes 580—500 e.m.a., kreeka filosoof, matemaatik ja astronoom (lk. 230).

**Ramos, F. Garcia** [loe: *raamus, f. gartsiiä*] (lk. 32).

**Rashevsky** [loe: *raševski*] (lk. 26, 60).

**Rockefeller** [loe: *rokfeller*] — Ameerika Ühendriikide suurimate rahandusmagnaatide perekond, kelle rajajaks oli John Davison [loe: *džon deivisn*], 1839—1937; rahvusvaheline Rockefelleri Sihtasutus suunab laialdasi uurimistöid arsti-, loodus- ja ühiskonnateaduse alal ja valdab vastavaid uurimiskeskusi (lk. 29, 34, 36, 37).

**Rorschach, šveitsi psühholoog** (lk. 166, 207, 230).

**Rosenblueth, Arturo** [loe: *roozenbljuut(s) artuuro*] (lk. 11, 12, 13, 15, 19, 20, 23, 25, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 242).

**Royce, Josiah** [loe: *roiss, džouza'ä*], 1855—1916, ameerika filosoof, asus idealistlikel pragmatismi seisukohtadel; tähtsust on tema uurimustel matemaatilise loogika \* alal (lk. 12).

**Rumford, Benjamin Thompson** [loe: *ramfä(r)d, bendžämin tomsn*], 1753—1814, inglise füüsik; katsetas peamiselt soojuste alal, otsides seost mehaanilise töö ja soojuste vahel (lk. 56).

**Russell, Bertrand** [loe: *rassl, böötränd*], sünd. 1872, inglise matemaatik, filosoof ja loogik (lk. 26, 157).

**Santillana, G. de** [loe: *santiljaana, g. de*] (lk. 39).

**Savage** [loe: *seivädž*] (lk. 33).

**Schierda** [loe: *šüirda*] (lk. 33).

**Schrödinger, Erwin** [loe: *šröödinge, ärvoin*], 1887—1961, austria füüsik; lainemehaanika rajaja; Nobeli \* preemia laureaat (lk. 23).

**Schwann, Theodor** [loe: *švann, teodor*], 1810—1882, saksa anatoom ja füsioloog; muuseas avaldanud rakuteooriat rajava töö, millel on bioloogias pöördeline tähtsus (lk. 226).

**Schwarz, Hermann Amandus** [loe: *švarts, härman amandus*], 1843—1921, saksa matemaatik (lk. 128).

**Selfridge, Oliver G.** [loe: *sälfridž, olivä(r) g.*] (lk. 31, 45).

**Shannon, C. E.** [loe: *šennon*] (lk. 23, 26, 27, 88, 113, 162, 205).

**Smoluchowski, Marian**, 1872—1917, poola füüsik; erilise tähtsusega on tema klassikalised tööd fluktuatsiooni \* alal, samuti statistilises füüsikas \* (lk. 91).

**Spinoza, Benedictus de** [loe: *spinoza, benedi'ktus de*], 1632—1677, hollandi filosoof-materialist (lk. 59).

**Stieltjes, Thomas Joannes** [loe: *stiiltjes, toomas joannes*], 1856—1894, hollandi matemaatik (lk. 94).

**Stodola, Aurel** [loe: *stoodola, aurell*], 1859—1942, slovaki termodünaamik \*; peamiselt uurinud auru- ja gaasiturbiinide projekteerimise ja arvutamise teaduslikke aluseid ning automaatse reguleerimise teooriat (lk. 24).

**Szent-Györgyi, Albert** [loe: *sent-djördüi*], sünd. 1893, ungari biokeemik; eriti kuulsad on tema tööd lihaste biokeemia ja vitamiinide alal; Nobeli \* preemia laureaat (lk. 39, 122).

**Zelevnov, N. A.** [Железнов, Н. А.] (lk. 23).

**Tauber, R.**, austria matemaatik (lk. 242).

**Thompson, D'Arcy** [loe: *tompson, darsii*] (lk. 185).

**Turing** [loe: *tjuuring*] (lk. 26, 27, 38, 156, 158).

**Tyche** [kr. Τυχη, loe: *tüühe*] on kreeka jumalanna: algselt hüvede ja edu annetaja, hellenismiajastul aga kõikvõimas juhuse-, saatuse- või õnnejumalanna (lk. 56).

**Ulam, S. M.** [loe: *juläm*] (lk. 66).

**Vallarta, Manuel Sandoval** [loe: *valja'rta, manue'l sandova'ri*] (lk. 11, 12, 31).

**Van der Pol, B.** [loe: *van der pool*], hollandi füüsik (lk. 139).

**Vogt, Karl** [loe: *foogt, karl*], 1817—1895, saksa loodusteadlane ja filosoof; vulgaarse materialismi esindaja (lk. 10).

**Võšnegradski, Ivan Aleksejevitiš** [Вышнеградский, Иван Алексеевич], 1831—1895, vene insener ja teadlane; üks automaatse reguleerimise teooria rajajaid (lk. 24).

**Wallace, Alfred Russel** [loe: *uo'lis, älfred rasl*], 1823—1913, inglise loodusteadlane ja reisija; üks selektsiooniteooria rajajaid (lk. 54).

**Wallmann** (lk. 30).

**Walter** [loe: *uolte(r)*] (lk. 176).

**Watt, James** [loe: *uott, džeimz*], 1736—1819, inglise füüsik ja leidur; täiustatud aurumasina looja ja tsentrifugaalregulaatori leiutaja (lk. 124).

**Weaver, Warren** [loe: *uivä(r), uorrän*] (lk. 23, 29, 36).

**Weber, Ernst Heinrich** [loe: *veeber, ärnst heinrih*], 1795—1878, saksa anatoom ja füsioloog; eriti tuntud on tema uurimused taju alal ja tema poolt avastatud Weberi-Fechneri\* seadus aistingu kohta (lk. 35, 237).

**Webster, Frederic** [loe: *uebstä(r), fräderik*] (lk. 45).

**Weyl, Hermann** [loe: *vail, herman*], 1885—1955, saksa matemaatik; üks intuitsionismi\* loojaid (lk. 26).

**Wheatstone, Charles, sir** [loe: *uiitstän, tša(r)lz, söör*], 1802—1875, inglise füüsik; avaldanud silmapaistvaid uurimusi peamiselt elektri alal (lk. 57, 167, 234).

**Wiener, Norbert** [loe: *viiner, norbö(r)t*], sünd. 1894, ameerika teadlane. Sai 14-aastaselt kõrgema hariduse matemaatikas ja 18-aastasena matemaatilise loogika\* alal filosoofiadoktoriks Harvardi ülikoolis. Aastail 1913—15 jätkas õpinguid Cambridge'is [loe: *keimbridžis*] Inglismaal ja Göttingenis Saksamaal. Aastail 1915—17 õpetas loogikat ja matemaatikat mitmetes ameerika ülikoolides. Aastail 1917—19 tegeles ajakirjanduse alal. Alates aastast 1919 Massachusetts'i [loe: *mässetšuuitsi*] tehnoloogia instituudi õppejõuks ja aastast 1932 professoriks. Tema varasemad tööd käsitlevad peamiselt matemaatika aluseid. Kahekümnendate aastate lõpupoole tegeles teoreetilise füüsikaga — kvantite teooriaga ja relatiivsuseõpetusega. Kõige laialdasema tähelepanu osaliseks on tema matemaatikaalastest töödest saanud uurimused analüüsi alal (potentsiaali ja harmooniliste funktsioonide teooria, peaaegu perioodiliste funktsioonide\* teooria, Tauberi\* teoreemide kohta, ridadest ning Fourier'\* teisendustest) ja tõenäosusteooria alal (statsionaarsed juhuslikud protsessid). Kolmekümnendatel aastatel lõi Tauberi teoreemide üldise teooria, seostades selle Fourier' teisenduste teooriaga, ja koos inglise teadlase R. Paley'ga\* arendas välja harmoonilise analüüsi\* komplektsapinnal\*. Tõenäosusteooria alal uuris ta tähtsat juhuslike protsesside klassi, millele hiljem on antud tema nimi, ja sõltumata nõukogude teadlasest A. N. Kolmogorovist\* arendas välja neljakümnendatel aastatel interpolatsiooni ja ekstrapolatsiooni\* teooria ning statsionaarsete juhuslike protsesside filtratsiooni-teooria. Tema matemaatilist loomingut iseloomustab tähelepanu osamine loodusteaduste ja tehnika vajadustele, nagu Brown'i\* liikumise uurimine jm. Teise maailmasõja päevil, aastail 1939—45 tegeles ta elektrivõrkudega ja arvutustehnikaga. Aastail 1945—47 töötas koos mehhiko teadlase A. Rosenbluethiga\* Rahvuslikus Kardioloogia\* Instituudis Mehhikos. Tunduv sarnasus protsesside vahel, mis kulgevad

elektri- ja elektronseadmestikes ning elusolendeis, viis teda küberneetika loomisele. Tema poolt 1948. aastal koostatud raamat «Küberneetika» avaldas sügavat mõju maailma teaduse arengule. Korduvalt on ta ajakirjanduses juhtinud tähelepanu teadlaste vastutusele uurimistulemuste ärakasutamise eest massilise hävitamise relvade loomiseks («БСЭ» t. 51) (lk. 7, 9, 10, 20, 25, 29, 30, 31, 72, 91, 118, 156, 205).

**Williams** [loe: *uiljams*] (lk. 153, 154).

**Wilson**, Charles Thomson Rees [loe: *uilsn, tšaalz tomsn riiz*], sünd. 1869, šoti päritoluga inglise füüsik; tema nime kandva udukambri leiutaja (lk. 201, 234).

**Wolff**, Kaspar Friedrich [loe: *volf, kaspar friidrih*], 1733—1794, päritolult sakslane, kes pärast ülikooli lõpetamist asus elama Venemaal; loodusteadlane, epigeneesiõpetuse rajaja (lk. 213).

SISUKORD

	Lk.
Eessõna eestikeelsele tõlele . . . . .	3
Sissejuhatav osa venekeelsele tõlele . . . . .	5
Sissejuhatus . . . . .	11
I peatükk	
Njuutonlik ja bergsonlik aeg . . . . .	47
II peatükk	
Rühmad ja statistiline mehaanika . . . . .	63
III peatükk	
Aegread, informatsioon ja side . . . . .	80
IV peatükk	
Tagasisidestus ja võnkumine . . . . .	122
V peatükk	
Arvutid ja närvisüsteem . . . . .	146
VI peatükk	
Geštalt ja üldmõisted . . . . .	166
VII peatükk	
Küberneetika ja psühhopatoloogia . . . . .	178
VIII peatükk	
Informatsioon, keel ja ühiskond . . . . .	191
Lõppmärkus . . . . .	203
Lisa.	
Norbert Wiener. Masin on targem kui tema valmistaja . . . . .	205
Entsüklopeediline märksõnastik . . . . .	212
Biograafiline märksõnastik . . . . .	234

Норберт Винер

КИБЕРНЕТИКА

На эстонском языке

Оформление: Г. Пант

Эстонское Государственное Издательство  
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

Toimetaja L. Abo

Tehniline toimetaja E. Lumet

Korrektorid E. Bitter ja Ü. Rattur

Ladumisele antud 15. VII 1961. Trükkimisele antud 16. XI 1961. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 15,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 12,51. Arvutusploognaid 14,6. Trükiarv 2000. Tellimise nr. 655. Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. I

Hind 85 kop.



85 kop.

85 kop.

V-22317  
KÜBERNEETIKA

N. WIENER

KÜBERNEETIKA