



A. KITAIGORODSKI

FÜÜSIKA ON MINU ELUKUTSE

A-30249¹¹

A. Kitaigorodski

FÜÜSIKA

on minu elukutse



Kirjastus «Valgus»
Tallinn 1969

53
K 48

Originaali tiitel:

А. Китайгородский
Физика — моя профессия
Издательство ЦК ВЛКСМ
«Молодая гвардия»
Москва 1965

Vene keelest tõlkinud A. Laisaar

Kaane kujundanud J. Arrak



2-3-1
21-70

Eessõna

Professor Kitaigorodski nimi on hästi tuntud niihästi ta ametivendadele kui ka kõige laiemale lugejate ringile seoses tema korduvate väljaastumistega trükisõnas teaduslike probleemide popularisaatorina.

Raamatus «Füüsika on minu elukutse» püüab autor lähendada rasket, kuid tänuväärset ülesannet – juhtida noor lugeja teaduse maailma, panna teda kõike ümbritsevat vaatama füüsiku silmadega. Ja see on tal õnnestunud. Oma elukutsesse armunud teadlane annab kujukalt edasi kaasaja füüsika probleemide kogu keerukust, teaduslike otsingute pinget, selle ebatavalise töö romantikat.

Sageli, kui teadlased jutustavad laiale auditooriumile oma elukutsest, viib püüe teadust hästi arusaadavas vormis esitada liiga üldistele, mitte alati maksimaalselt selgetele ja täpsetele formuleeringutele, mis paistavad isegi vaieldavatena.

Ei pääsenud sellest ka A. Kitaigorodski. Soov kõita noore lugeja tähelepanu huvitavate, aga vahel ka vaieldavate ning komplitseeritud küsimustega ja esitada seda kõike võimalikult

lihtsalt viib teda füüsika saavutuste üleliia laiendatud tõlgitsemisele. Ent füüsikute teened, samuti kui füüsika enda edusammud ei vaja seda laadi tõlgitsusi teiste teadusalade kahjuks.

Ja siiski, selles raamatus puudutatud probleemide originaalsus väärrib seda, et nad jõuaksid lugejani niisugusel kujul, nagu autor on need esitanud. Peamine on siin mitmesuguste teaduslike küsimuste püstitamine ja arutamine ning autori püüe noortes nende vastu sügavat huvi äratada.

1. peatükk

... väidab, et teaduse ülesanne on loodust seletada ja inimesele allutada. Esimest neist lahendab loodusteadus. Loodusteaduse teedest ja eesmärkidest räägitaksegi selles peatükis.

Teed ja eesmärgid

Aastamiljoneid kestnud evolutsiooni käigus on loodus kasvatatud inimeses püüet luua kõige mitmekesisemaid asju – ehitada maju, valmistada kirveid, kõplaid, rajada teid. See püüe pärineb juba meie karvaselt ürgesivanemalt, kes kinnitas auguga kivi paraja kepi otsa ning raius välja hubase, kõigi mugavustega kolmetoalise kaljukooa kuhugi maalilisele kaldale. Kellel see instinkt on tugev, sellest saab leidur, insener, agronoom. Kui aga lisaks sellele säärane inimene ei taha piirduda oma eelkäijate tegude kordamisega, kui ta tahab ehitada uut tüüpi maju, valmistada niisuguseid tööriistu, mida pole veel kellelgi olnud, saada selliseid saake, mida pole uneski nähtud, siis astub ta tsivilisatsiooniehitajate esiritta.

Paljusid omadusi peab endas ühendama inimene, kes tahab etendada märkimisväärset osa inimkonna edasiliikumises vaimurikka ja mugava elu poole. Ta peab teadlik olema juba saavutatud edusammudest, aga ka pettumust toonud ummikuist. Tal peab olema suurepärase mälu, mis suudaks talletada kõiki asjasse otseselt või kaudselt puutuvaid fakte. Aga visadus ja sihikindlus? Edison katsetas sadu materjale, enne kui leidis sobiva hõõgniidi oma elektripirnile.

Seda laadi inimestele on tingimata omane kirglik soov näha oma töö vilju. Nad ei saa rahu enne, kui miljonid ja miljonid

inimesed tunnevad kasu nende tööst. Ja sealjuures peavad nad oskama mitte ainult töötada, vaid ka oma ideede õigsust tõestada.

Aga tõestada, et tarvis on tööstust reorganiseerida või kõigile harjumuspärasest materjali uudega asendada või vananenud liiklusteedelt uutele üle minna – see pole kerge ülesanne.

Ühiskonna konservatiivsus ja ettevaatlikkus sellistes asjades on täiesti loomulik ning umbusk uuenduste vastu inimestel veres. Seepärast ei piisa üksnes teadmistest ja võimetest, vaid peab olema ka oma ala osav propageerija ning kaval diplomaat, et uue vastastest mööda laveerida.

Lõpuks pääseb uus ja parem alati (ettevaatuse mõttes ütleme – peaaegu alati) võidule. Ent kui palju vaeva ja närve maksab see neile, kelle ainus eesmärk on omakasupüüdmatult aidata inimestel kergemini ja paremini elada! Omakasupüüdmatult? Aga muidugi. Tahate selles veenduda? Pakkuge raha selle eest, et inimene loobuks oma tööd lõpule viimast. Midagi ei tule välja – loobujaid ei leidu. Ma tundsin ja tunnen paljusid selliseid inimesi. Ja alati olen vaimustatud, kui temperamentselt nad oma üritust teenivad. Teel eesmärgile on palju pettumusi, ent see-eest milline rõõm edu korral! Ühiskondlik tunnustus – see on helde vaevatasu kõigi raskuste ja murede eest, lugematute töörohketel tundidel ja päevadel eest, oma üritusele piiritu ustavuse eest. Väga paljudel seostub sõna «teadus» ainult säärase tegevusega.

Nii mõtlesin kaua aega ka mina. Minu isakodus – isa oli pühendanud oma elu uute materjalide loomisele – hinnati teadmisi praktilise kasulikkuse seisukohalt. On tarvis õppida, olla haritud, et luua uusi masinaid, et valmistada kõige vastupidavam terast, et välja mõelda kõige kiiremaid lennukeid.

Poistelt küsitakse tihti, kelleks nad tahavad saada. Küsiti seda minultki ja ma vastasin alati kõhklemata:

«Hakkan tegelema teadusega.»

«Millisega nimelt?»

«Täpselt veel ei tea, aga vist hakkam uurima võimalusi/ klaasist majade ehitamiseks või siis pühendun elektrimasinate täiustamisele.»

Alles hiljem sain aru, et paljud omistavad sõnale «teadus» hoopis teistsuguse tähenduse.

Umbes neljateistkümneaastaselt hakkasin regulaarselt külastama Rumjantsevi-nimelist raamatukogu (praeguse Lenini-nimelise raamatukogu vana hoone), kus veetsin aega lugemisega. Algul lugesin seda, mis oli seotud koolitööga.

Geograafiatunnis jutustas õpetaja Indiast. Hästi. Tähendab, on tarvis lugeda midagi India fakiiridest ja radžadest. Kirjanduse-tunnis oli juttu dekabristidest. Samuti huvitav, vaatame Jakuš-kini memuaare.

Ent peagi hakkas raamatute valikut kooli asemel dikteerima raamatukogu suitsetamisruum. Pean tunnistama, et ma juba suitsetasin selles eas. Suitsetamisruum oli raamatukogu klubiks, kust paljud külastajad, ma arvan, ei jõudnudki lugemissaali. Seal oli alati kärarikas, poisid karjusid ja vaidlesid. Vaieldi tulisel, raevukalt, hüpates ühelt teemalt teisele. Räägiti kõigest: Darwinist ja religioonist, hüpnoosist ja autosugestioonist, Bloki suhtumisest Belinskisse ja Meierholdi teatrilavastustest.

Ma ei kahetse nüüd sugugi, et nii varakult suitsetama hakka-sin. Suitsetamisruumiga on seotud minu parimad mälestused, ja kui oleks liialdus öelda, et seal sain ma oma hariduse, siis igal juhul on tõsi, et need lõputud vaidlused viisid mind niisuguste raamatute juurde, mis muidu oleksid mulle tundmatuks jäänud.

Üheks alatiseks suitsetamisruumi külaliseks oli noormees, kelle nimi oli vist Valeri. Siledad pikad juuksed, kõhnunud nägu, sügavale sissevajunud tumedad silmad. Ta suitsetas kõige odavamaid paberosse ega käinud kunagi puhvetis. Raha tal nähtavasti ülearu polnud. Ent oma välimuse eest hoolitses ta alati: kingad, ehkki paigatud, olid läikima hõõrutud, oma vanamoelist kuube aga püüdis ta kaasaegsemaks muuta, kinnitades hõlmad kokku haaknõelaga – tollal olid moes hästi puusade ümber istu-vad kuued. Ta ei jäänud mulle meelde mitte koloriitse välimuse, vaid tuliste kõnede pärast, eriti inimese kutsumuse teemal. Inim-püüdluste klassifikatsioon nende tähtsuse järgi paistis Valeri jaoks endastmõistetav olevat, ja temalt kuulsin ma esmakordselt niisugusest teaduse käsitusest, mis täielikult erines minu kodus-test ettekujutustest.

«Utilitarism on kodanliku ühiskonna väljamõeldis,» rääkis ta paberossi pahvides. «See oli Francis Bacon, kes suvatses kuuluta-da, et püüdlus teadmise poole pole kellelegi vajalik, kui see ei ole seotud praktilise kasuga.»

«Ma otsekui näen enda ees,» jätkas ta vihaselt käega vehki-des, pabeross pöidla ja nimetissõrme vahele surutud, «kõhukat poodnikku, kes õpetab oma võsu: «Kellele on vajalik poeesia, maalid või tühised teadmised tähtede arvust maailmaruumis? Ainult mõnesajale veidrikule nagu sina. Seevastu kõik inimesed tahavad süüa, vajavad ihukatet ning unistavad soojast ja muga-

vast kodukoldest. Aita neid selles, ja sa saavutad lugupidamise, austuse ning külluse . . .»

Valeri tõmbas mahvi.

«Võiks arvata, et igale intelligentsele inimesele on vastik see varjamatu väikekodanlik jutlus. Aga mis me näeme . . . Kõik kardavad vastu vaielda ning mõõdavad selle, lubatagu öelda, filosoofia vaatevinklist kõiki inimvaimu sünnitusi. Vastik on kuulata Baconit, et kui poeesia ongi vajalik, siis ainult puhkusena pärast tööd, abstraktsed teadmised aga on kasulikud vaid seepeärast, et neid õnnestub varsti muuta odavaks vorstiks. Kuidas võib niiviisi rääkida, kuidas võib kõiki inimkonna püüdlusi taandada soovile vats kõvemini täis toppida? Üksnes teadus ja kunst, millel puudub praktistsitlik suunitlus, õilistavad ning jumalustavad inimest, tõstavad ta kõrgemale loomadest.»

«Ära räägi rumalusi!» karjuti talle vastu. «Näljane inimene ei mõtle puhtast kunstist ega tunne huvi aatomi mõõtmete vastu. Enne on vaja inimestele süüa anda ja alles siis nende hingele mõelda.»

Ometi leidis Baconi kaitsjaid harva. Valeriga nõustuti . . . põhimõtteliselt. Tema muresid ja erutust aga peeti tol ajal lihtsalt ebakohaseks.

«Muidugi,» öeldi talle, «ühiskond ei sega sind tegelemast kunsti või puhta teadusega. Kuid ära oota selle eest tulist tänuikkust tänapäeva maailmalt, kus miljonite inimeste jaoks ei jätku veel leiba ega ihukatet. Vaat kui saabub kuldne ajastu, siis . . .»

Kord, kui olime Valeriga kahekesi, pärisin temalt arglikult:

«Milline on siis teaduse eesmärk kui mitte kasulike asjade loomine?»

«Teaduse eesmärk on avastada uusi fakte ja leida seoseid nähtuste vahel,» järgnes kohe vastus. «Kas tuua näiteid?»

Ma noogutasin pead.

«Hästi. Toon sulle näiteid mitmest valdkonnast. Füüsik leidis, et vase elektrijuhtivus langeb temperatuuri tõusuga. Leidis esmakordselt. Oli saadud uus fakt – teadus muutus rikkamaks. Austraalia fauna uurija avastas uue sipelgate liigi. See on teine näide teaduse vaieldamatust saavutusest. Ajaloolane tegi pärast suure hulga originaaldokumentide läbiuurimist kindlaks, et saksa väikekodanlased võtsid Suure Prantsuse Revolutsiooni vaenulikkult vastu – kolmas näide.»

«Ja selles ongi teaduse eesmärk?» imestasin mina.

«Ei. Uute senitundmatute faktide kindlakstegemine – see on vaid teaduse alusmüür. Andekamate, ütleksin, kaugemale näge-

vate uurijate osaks saab aga teadusehoone ülemiste korruste väljaehitamine. Faktide alusel otsivad nad üldistusi ja leiavad seoseid nähtuste vahel, s. o. avastavad seaduspärasusi. Näiteks, kogunud rikkaliku materjali ainete elektrijuhtivuse kohta, paneb teadlane tähele, et aineid võib jaotada kahte rühma: ühtedel elektrijuhtivus temperatuuri tõusuga kasvab, teistel kahaneb. Edasi tehakse kindlaks, et need ained erinevad oma aatomite elektroonse ehituse poolest. Need üksikud seaduspärasused saavad vähehaaval kogunedes omakorda aluseks veel üldisematele ettekujutustele sellest, kuidas ainete elektrilised omadused on seotud nende struktuuriga.»

«Noh, aga bioloogias, ajaloos?»

«Täpselt sama lugu. Ilma uurijatearmee vaevanõudva tööta ei leita eluslooduse evolutsiooni üldisi seadusi, ei avastata inimühiskonna arengu seaduspärasusi.»

«Ma mõistan. Kuid ütlege, Valeri, kui inimene otsib teid terase kvaliteedi parandamiseks, kas ta siis ei tegele teadusega?»

«Mina otsiksin sellise töö jaoks mõne teise sõna.» vastas ta mõtlikult. «Muidugi, ka siin avastatakse tihtipeale palju uut ja huvitavat, aga see pole eesmärk omaette.»

«Tähendab, te suhtute niisugusesse tegevusse väiksema lugupidamisega?» Kõik minus protesteeris, ma olin valmis oma isa kaitsma. Kuid seda ei tulnud teha.

«Jumal sinuga,» vastas ta rahulikult. «Suurepärane, austusväärne tegevus. Kuid selle vajalikkust tõestada tähendab avatud uksest sisse murda. Aga vaat see, et omakasupüüdmatu püüe looduse tunnetamise poole ei vääri sugugi väiksemat lugupidamist – seda väga paljud veel ei mõista.»

Ja juba siis sai mulle selgeks, et üks ja sama sõna «teadus» omab paljude silmis hoopis erinevat tähendust.

Seepärast peame kokku leppima, missuguse sisu anname sellele mõistele meie.

Ma sirvisin tähelepanelikult ajalehti ja ajakirju, kuulasin raadiot, huvitusin nende inimeste arvamusest, kel pole midagi ühist teadusega selle sõna mis tahes tähenduses. Ja mul kujunes mulje, et sõna «teadus» tähendus on üliavaraks muutunud. Kui räägitakse, et see inimene on teadlane või tegeleb teadusega, siis mõeldakse vaid üht: ta omab teatud teadmisi ja kasutab neid oma töös. Vaid vähemus omistab sellele sõnale kitsama tähenduse: teadusega tegelda tähendab otsida uut, senitundmatut. Kuid ka säärane määratlus on liialt lai. Et ei tuleks arusaamatusi, jaotame inimeste teadusliku tegevuse kolmeks alaks: rakendusteadused, humanitaarteadused ja loodusteadus.

Mis tahes uurimistööl rakendusteaduste valdkonnas on praktiline eesmärk. Uue tootmistehnoloogia väljatöötamine või olemasoleva täiustamine, uute materjalide loomine, kiiremate ja mugavamate liiklusteede käikulaskmine, mulla viljakuse tõstmine, uute ravimite loomine – selliseid ülesandeid lahendavad iga päev tehniline füüsika, tehniline mehaanika, keemiatehnoloogia, agronoomia, meditsiin jne.

Rakendusteaduste arengusuund on üsna ilmne. Selle dikteerivad inimkonna, riigi praktilised vajadused. Energiat jääb väheks – tähendab, on tarvis otsida uusi energiaallikaid: luuakse aatomitööstus. Villa on vähe ja see on kallid – järelikult tuleb mobiliseerida teadlasi odavate ja efektiivsete asendajate otsingule: tekib sünteetiliste kiudainete tööstus.

Ja niiviisi alati!

Inimest ümbritseb asjade maailm. Kuidas neid endale allutada ja parimal viisil töötama panna? Nendele küsimustele vastavadki rakendusteadused.

Aga miks asjad käituvad nii ja mitte teisiti? Kuidas on omavahel seotud sündmused asjade maailmas? Kuidas on ehitatud meid ümbritsev maailm? Nendele küsimustele vastab loodusteadus. Selle lõppeesmärk on looduse mõistmine.

Loodus- ja rakendusteadusteks jaotamine pole jaotus teadusalade järgi. Füüsikud, kes tegelevad elementaarosakeste hajumiseaduste uurimisega; keemikud, kes uurivad keemiliste sidemete purustamise seaduspärasusi; bioloogid, kes vaatlevad elektronmikroskoobi all bakteriofaagi sabaosa ehitust, – kõiki neid loeme ühte väesalka kuuluvaiks. Füüsik, kes konstrueerib tuumareaktorit; keemik, kes parandab polüetüleenit omadusi; selektsioonäär, kes aretab uut loomatõugu, – nemad satuvad meie jaotuse järgi teise armeesse.

Kas selline jaotamine pole kunstlik? Kas poleks lihtsam lugeda kõiki füüsikuid füüsikuteks ja kõiki keemikuid keemikuteks? Ei, ei ja veel kord ei! Pole sugugi lihtsam – viib hoopis eksitusse.

Jaotamine teadusalade järgi säilib suurel määral rakendusteadustega tegelejate seas. Ent meie teemaks on loodusteadus. Ja me ei saa aru tema peamistest arengutendentsidest, kui vana viisi püstitame vaheseinu, mis eraldavad füüsikuid keemikutest ja bioloogidest.

Viimaste aastakümnete iseloomulikuks jooneks ongi just piiride kustumine loodusteaduse üksikute harude vahel. Keemiliste reaktsioonide, bioloogiliste protsesside ja eluta looduse näh-

tuste uurimine toimub ühtede ja samade meetoditega ning lähtub üldistest teoreetilistest seisukohtadest.

Näidata, et kõik looduseuurijad on koondunud ühe lipu alla – see on käesoleva raamatu üks ülesandeid.

* * *

Olles selgitanud, mis on loodusteadus, katsume lugejale jutustada, mida kujutab endast üks uurimus loodusteaduse vallas.

Neid selgitusi kavatsen ma esitada omaenda kitsa eriala näitel. Enne aga tahaksin mõne sõna öelda sellest, kuidas ma oma elukutset valisin.

Ma teadsin kindlalt vaid üht: tahan tegelda teadusega. Ent millisega?

Aegamisi tulid eitavad otsused . . .

Vist kõige enne sai kõrvale heidetud mõte tegelda tehnikaga. Mitte sellepärast, et tehnika ülesanded oleksid mulle paistnud vähe huvipakkuvad. Hoopiski mitte! Aga lihtsalt seetõttu, et ma tundsin kalduvust rahulikuks analüütiliseks mõtisklemiseks. Loo-gilised hüpped uurimistöös, mis on paratamatud rakendustea-duste puhul nende palavikulise püüdlemisega lõppsihi poole, pol-nud minu maitse kohased. Ei tundnud ma soovi ka oma töö tulemusi otsekohe valmilt näha. Leitud uus idee tundus hinnali-sem kui valmishitatud aparaat.

Üsna pea loobusin ka mõttest pühenduda humanitaartea-dustele. Ärritas tühise hulga faktide alusel tehtud otsustuste kõikuvus ja ebakindlus.

Bioloogia tundus minu nooruspäevil olevat vaid korratu fak-tide kogum. Näis, et siin pole võimalusi rangeks analüüsiks; tundus lootusetu otsida üldisi seadusi, millele allub elusorganismide elutegevus. (Praegu ma kahetsen, et nii mõtlesin: meie sil-made all muutub bioloogia täppisteaduseks.)

Puhas matemaatika ei paelunud mind samuti.

Faktide analüüs, üldiste seaduspärasuste otsimine ja nende katseline kontrollimine – see oli tegevuskeem, mis meeldis mulle kõige rohkem. Aga kõike seda võis anda üksnes füüsika. Füü-sika peab saama minu elukutseks!

Teadusliku tegevuse üldise iseloomu valik polnud muidugi juhuslik, see vastas minu kalduvustele. Seevastu aga kitsa eriala valik oli juhusese asi. Tuli välja niiviisi, et juba kaks aastat enne

ülikooli lõpetamist hakkasin töötama laboratooriumis. Olin tegev selles füüsika valdkonnas, mida nimetatakse «kristallide röntgeni-struktuurianalüüsiks».

Tollal polnud teaduslik töö au sees ja ka palka said teaduslikud töötajad palju vähem kui insenerid. Minu sõbrad, aga enamik neist tegeles tehnikaga, vaatasid minule pisut ülalt alla. Igaüks neist võis täpselt formuleerida oma töö eesmärgi. Üks täiustas elektrivedurit, teine töötas gürokompasside täiustamise kallal, kolmas konstrueeris lennukeid.

Nad rääkisid innustunult oma tööst, lähikondlased mõistsid hõlpsasti nende ideid ja kuulasid neid meeleldi. Arusaadav, et ka mina tahtsin oma edusammudest kõnelda. Kord sõprade ringis viibides teatasin neile oma esimesest lõpuleviidud eksperimentaalsest uurimusest.

«Mõistate, ma määrasin aatomitevahelised kaugused aminoäädikhappe molekulis.»

«Aga milleks seda vaja on?» järgnes sedamaid küsimus.

«See tähendab, kuidas milleks? Need kaugused olid seni ajani teadmata.»

«Noh, ja mis siis? Kellele on sääraseid andmeid vaja?»

Ma ei osanud tol korral midagi mõistlikku vastata. Sõbrad naersid mu välja ning ma jäin solvunult vait.

«Milleks seda vaja on?» – see pealtnäha lihtne küsimus rakendusteaduste suhtes pole hoopiski lihtne loodusteaduse puhul ning vastus nõuab mõningat selgitamist.

Määranud aatomitevahelised kaugused aminoäädikhappe molekulis, lahendasin ma teatud ülesande oma kitsalt teaduslikult erialalt. Nagu ma juba märkisin, kannab viimane nimetust «kristallide röntgeni-struktuurianalüüs». See on hoopis pisike lõik kogu teaduserindest. Ometi tegeleb kristallide struktuuri uurimisega röntgenikiirte abil kümneid tuhandeid teadlasi kogu maailmas. Nende eesmärk on täiustada eksperimenteerimis- ja arvutamismeetodeid, et sooritada selliseid uurimisi võimalikult täpselt ja kiiresti, ning samuti kindlaks määrata võimalikult paljude ainete struktuur kõigil neil juhtudel, kui pole ette selge, milline see peab olema. Nende ülesannete lahendamisele on allutatud kogu kristallide röntgeni-struktuurianalüüsi areng. Täpselt samuti on ka iga teine teaduslik distsipliin tegevusala, mis areneb vastavalt oma eesmärkidele.

Mitte keegi kristallide struktuuri uurivate füüsikute ja keemikute teaduslikust sõprusühendusest ei kahtle selles, et on vaja pidevalt täiustada arvutamise- ja eksperimenteerimismeetodeid röntgeni-struktuurianalüüsi alal, et on tarvis määrata kristallide

tundmatuid struktuure. Ei kahtle selles ka teistel teadusaladel töötavad teadlased.

Milleks siis ikkagi on vaja seda teha? Ainuõige vastus on see, mille andis minu vestluskaaslane raamatukcugust, – seda on vaja senitundmatute faktide selgitamiseks. Avastatud faktid (kui tühised need ka oleksid) ning uued vaatekohad (kui tahes tagasihoidlike nähtuste kohta) ei jää peaaegu kunagi vaka alla. Aasta või aastakümnete pärast läheb neid mõnele teisele teadlasele vaja. Teaduslik teatepulk, mis antakse edasi võib-olla mitme erineva autori kümnete tööde kaudu, jõuab kord sihile, mis on juba igähele silmanähtav, ning saab suure avastuse või saavutuse koostisosaks.

Võib meelde tuletada, et teadmata grafiidi struktuuri, poleks õnnestunud välja arvestada tuumareaktorit, ja täiustamata röntgeni-struktuurianalüüsi arvutusmeetodeid, poleks saanud selgitada geeni struktuuri ning läheneda pärilikkuse loomuse mõistmisele.

Niiviisi saab kristallide röntgeni-struktuurianalüüsiga tegelevate teadlaste tegevus kogu teaduse oluliste edusammude vajalikuks koostisosaks.

Meie näide oli täiesti meelevaldne. Niisama hästi oleks võinud jälgida iga teise loodusteaduse haru osavõttu teaduse ning tehnika suursaavutustest, olgu see siis infrapunane spektroskoopia või kalorimeetria; luminesentsi- või adsorptsiooniõpetus; Fourier' teisenduste matemaatiline teooria või relatiivsusteooria. Ka need teadusharud, nagu kogu teadus tervikuna, lahendavad igäüks oma ülesandeid. Ent iga teaduslik uurimus, mis toob endaga kaasa midagi uut, olgugi algul märkamatu, võib terve hulga vahendajate kaudu osutada lülitatuks suurde ja tähtsasse avastusse.

Kui te võtate huupi mõne teadusliku artikli, leiata selle lõpus kirjanduse loetelu. Autor viitab teistele teadlastele, kelle töödest ta leidis talle vajalikke ideid või esmakordselt avastatud fakte. Selliseid viiteid leidub isegi väikeses töös keskmiselt paarikümne ümber. Enamasti ükski nende kahekümne töö autoreist ei võinud aimatagi, kellele tema uurimust edaspidi vaja läheb. Kaksikümne tööd on need, millele teadlane viitas. Aga kui palju sisaldub tema uurimuses veel üksikuid mainimata mõtteid ja fakte, mis on võetud teistest tööddest.

Iga hea teaduslik töö (aga heaks loetakse seda, mis lahendab palju selgusetut) lahustub järelkäijate töödes. Ühe autori teadusliku mõtte elemente sisaldub sadades ja tuhandetes teiste teadlaste uurimustes, kes tema artiklit lugenud olid. Nii nagu

tähtedest moodustuvad sõnad ja sõnadest fraasid, nii sünnib üksikute teaduslike tööde alusel uus teaduslik idee, kaob või tekib uus teaduslik hüpotees, küpseb teaduslik avastus.

Kuidas erinevad selles suhtes teadus ja kunst! Iga kunstiteos on iseendast lõpetatud tervik ja seda saab hinnata kõigi üldiste kriteeriumide järgi, mis on rakendatavad kunstile tervikuna. Kui kunst on hiiglaslik hoone, siis kunstniku üksikteos on samuti ehitis, ainult mikroskoopiliste mõõtmetega – selles peavad niisamuti olema aknad, ukSED . . .

Seevastu ükski teaduslik uurimus pole suletud iseendasse. Ta omandab mõtte üksnes tänu eel- ja järelkäijate tööle. Kui teadus on hiiglahoone, siis üksikuuurimus – see on tellis tema müüris.

Mööduvad sajandid – kunst kogub väärtusi, sõelub välja nõrgemad teosed, säilitab šedöövrid ega hoiata neid ainult kui väärisesemeid muuseumide tarvis. Suure kunstniku teos erutab vaatajaid ja kuulajaid aastasadu ning -tuhandeid.

Teaduse tee on sirge. Iga teadlase mõtted, tema poolt saadud faktid – see on tükike läbikäidud teest. Pole maanteed ilma selle meetri asfaldita, kuid ta on läbi käidud, tee läheb edasi. Vaadake tagasi – mainitud teelõik muutub üha märkamatumaks ning aastate pärast kaob hoopis silmist.

Kahetsemisväärselt vähe aega elab teadlase teos. Tõenäoliselt midagi 30–50 aasta ümber. Nende aastate jooksul lahustub ta ammendavalt järelkäijate töödes; kõik hea, mis selles leidub, võetakse omaks, kõik tarbetu sõelutakse välja ning teos ise muutub väljapigistatud sidruni taoliseks.

See ei käi mitte üksnes reateadlaste kohta. Sama saatus tabab ka geniaalsete füüsikute Newtoni, Maxwelli ja isegi meile päris lähedase Einsteini raamatuid ja teaduslikke töid. Nende teoste vastu tunnevad huvi üksnes teaduseajaloolased. Geeniuste töödega on vaja aga tutvuda meie kaasaegsete sõnastuses. Sest aeg tahub geniaalset avastust, annab talle uue vormi, isegi muudab tema jooni. Tänapäeva mehaanika – Newtoni vaimusünnitus – meenutab vormilt vaid nõrgalt Newtoni enda poolt kirja pandud mehaanikat.

Võib-olla aitab see kõrvalepöige teil mõista, miks on nii raske hinnata üksiku teadusliku uurimuse tähtsust.

Peab tunnistama, et kui loodusteadlane jutustab laiale auditooriumile oma saavutustest, siis on ta sunnitud . . . ma ei taha öelda, et just otse luiskama, vaid ütleme pigem nii – üldistama ja kirjeldama tegelikult mitte niivõrd omaenda teadusliku panuse tähtsust, mida üldarusaadavas keeles on praktiliselt võimatu teha, kui just kogu selle teadusala tähtsust, kus ta töötab.

Muidugi, tuleb ette erandeid, kus pingsa argipäevase teadusliku uurimistöö taustal näeme küllalt selgesti uue idee sündi, uute nähtuste avastamist, uue uurimismeetodi loomist.

Mõnikord on uue tähtsus otsekohe ilmne. Nii oli näiteks ameerika teadlaste Lee ja Yangi tööga, kes avastasid elementaarosakeste uue omaduse, või saksa füüsiku Mössbaueri uurimusega, kes avastas gammakiirte ja aine vastastikuse mõju uue efekti. Need teadlased tunnustati peaaegu otsekohe kõrgeima teadusliku autasu – Nobeli preemia vääriliseks. Kuid need on pigem erandid. Hoopis rohkem võib tuua näiteid avastuse tähtsuse hilisemast tunnustamisest.

1934. aastal avastas aspirant Tšerenkov uue nähtuse elektronide hajumisel vedelikes ja tahketes kehaes. Keegi ei võinud tollal aimata, et see viib aastakümnete pärast suurepärase tuumakiirguse loendurite loomisele. Tööd hinnati Nobeli preemiaga alles veerand sajandit hiljem.

Meie väljapaistev füüsikateoreetik Landau sai Nobeli preemia üsna hiljuti uurimuste eest, mis olid sooritatud veel enne sõda.

1945. aastal avastas Zavoiski Kaasanis raadiolainete resonantsneeldumise elektronidel. Võimatu oli tollal ette näha nende tööde laialdast arenemist ning uue füüsikaharu tekkimist – aine struktuuri uurimist magnetilise resonantsi meetoditega. Ka see uurimistöö leidis tunnustuse alles kaua aega pärast sooritamist.

Seepärast pole sugugi lihtne hinnata nende teadlaste tööd, kes on tegevad loodusteaduse vallas.

Märksa lihtsam on asi tsehhi juhatava inseneri tegevuse hindamisega. Väljalastava toodangu hulk ja kvaliteet on mõõdetavad objektiivsete arvudega ja seda, milline tsehhi töötab hästi, võib otsustada neiu TKO-st.

Rakendusteadustega tegeleva teadusliku töötaja väärtus avaldub selgel kujul. On leitud uus materjal – võib hinnata selle eeliseid olemasolevate ees. Töötati välja uus tootmistehnoloogia – arvud ütlevad, kuivõrd kasulik on see vanaga võrreldes. Kõigil neil juhtudel saab tööle anda täpse hinnangu.

Aga loodusteaduses?

Mulle saadetakse sageli retsenseerida teaduslikke artikleid, dissertatsioone, teadusliku töö aruandeid. Kuidas ma koostan oma arvamuse?

Kõige tähtsam on uudsuse astme hinnang. Kui pole uudsust, siis pole ka tööd. Uudsus võib olla küllaltki tagasihoidlik. Ütleme, teadlane töötas standardse aparatuuriga ja ammutuntud meetoditega, kuid rakendas neid uutele objektidele, mida enne

teda polnud uuritud. Oli seda tööd vaja teha? Kahtlemata. Kuid eriti palavat kiitust see ei pälvi, isegi kui autoril tuli nende tulemuste saamiseks üsna tublisti vaeva näha.

Suuremat kiitust väärrib töö, kus autor mõtles välja uue mõõtmis- või arvutamismeetodi (mõistagi, kui need uued meetodid on kiiremad või täpsemad varem tuntuist). Sellise töö retsensiooni lõpus võib juba kirjutada mõne kiidulause autori aadressil, kiita teda teravmeelsuse ja leidlikkuse eest.

Komplimendid on ülivõrdes, kui on avastatud uus nähtus või on leitud teoreetiliselt uus seos, uus reegel, mis võimaldab eksperimendi tulemusi edukalt ennustada.

Seni oli jutt küllaltki objektiivsetest kriteeriumidest. Mis aga puutub uurimuse kaalukuse hindamisse, siis siin tuleb enamalt jaolt usaldada oma intuitsiooni: kuivõrd tähtsaks osutuvad leitud faktid ja seaduspärasused, kuidas nad mõjuvad kogu teaduse arengule – see selgub üldreeglina alles mitme aasta või isegi aastakümne pärast.

Järeldus, milleni ma tahtsin lugejat viia, on lihtne: loodusteaduse rinne on lai ja pidev, tema edasiliikumisest võtavad osa tuhanded teadlased. Igaüks neist aitab sellele edasiliikumisele kaasa, avastades oma uurimistöös uusi fakte.

Hästi. Kuid milline on kogu loodusteaduse eesmärk? Tunnetada maailma, leida uut. Ent milleks?

Fridtjof Nansen vastas niisugusele küsimusele järgmiselt:

«Inimkonna ajalugu – see on lakkamatu püüe pimedusest valguse poole. Seepärast pole mõtet arutada tunnetuse eesmärke – inimene tahab teada ja kui see soov temas kaob, lakkab ta olemast inimene.»

Inimese püüe teadmiste poole ei vaja selgitamist, see on püüe elu rõõmude poole.

Teaduslik looming, üks kõige omakasupüüdmatamaid inimtegevusi, kuulub toredaimate inimlike elamuste hulka. Seda teavad kõik, kes on lähedased teadusele, tema edusammudele, nii suurtele kui väikestele. Selle kohta võib leida palju värvirikkaid avaldusi. Näitena olgu toodud sageli esitatav tsitaat Ptolemaiuse töödest:

«Ma tean, et olen surelik ega ela kuigi kaua. Ent kui ma uurin tähtede müriaade, ei talla minu jalad enam maiseid radu, ma seisan kõrvuti Zeusiga, maitsen jumalate roogasid ning tunnen end jumalana.»

Ja tõesti, looduse mõistmine, tema saladuste vallutamine, oskus ennustada nähtusi kõigis nende üksikasjus täidab inimest määratu uhkustundega, suure õnnega, soodustab tema enesejaa-

tamist. Miski muu ei soodusta jumala kukutamist rohkem kui teaduslik tunnetus. Inimene, kes mõistab loodust, tajub end ise selle loojana, tunneb end kõikvõimsana ega vaja vaimset tuge.

Niisiis, pole tarvidust seletada, milleks inimene tunnetab loodust. Kuid jääb veel vastata teisele tähtsale küsimusele. Kas nõukogude looduseuurijal on moraalne õigus tegelda oma teadusega kaasaegses maailmas, mis on lahutatud kaheks leeriks, maailmas, kus on veel nii palju miljoneid näljaseid ja õnnetuid inimesi?

Kas ei peaks ta oma tegevuse edasi lükkama kommunismi-ajastu saabumiseni ning suunama oma teadmised ja võimed tänapäeva praktika teenistusse?

Ei, «puhta» teaduse teener ei tarvitse vaevelda südametunnistuse piinades. Loodusteaduse rinde edasiliikumine kiirendab tohutult inimkonna lähenemist täielikule küllusele, sest ta viib vältimatult tehnika revolutsioonidele. Seepärast on teadlaste-uurijate laialdasest tegevusest peale nende endi huvitatud ka kogu nõukogude ühiskond.

Vaatleme lähemalt loodusteaduse kasulikkust.

2. peatükk.

... milles autor, kinnitades argumente faktidega oma eluloost, vee-
nab lugejat, et loodusteadus, mille
eesmärgiks on maailma tunneta-
mine, on väga kasulik.

Teaduse kasust

Aastatel 1936–1938, kui autor alustas oma teaduslikku tegevust, oli üheks juhtivaks füüsikainstituudiks Leningradi Füüsika ja Tehnika Instituut. Selle eesotsas seisis Abram Fjodorovitš Joffe, suurepärase teadlane ja organisaator, inimene, kelle osa nõukogude füüsika rajamises on raske ülehinnata. Vististi ligi pool praegu elavatest juhtivatest füüsikutest meie maal on ühel või teisel määral Joffe õpilased või tema instituudi kasvanud. Tollal ei allunud kõnealune instituut mitte Teaduste Akadeemiale, vaid Masinaehituse Rahvakomissariaadile. Viimane paiknes Moskvas ja seetõttu plaanide kooskõlastamine, materiaalsete vahendite ning koosseisude saamine, igasuguste administratiivküsimuste lahendamine pidi toimuma seal. Oli tarvis hoida pidevat kontakti rahvakomissariaadiga ja Joffe tundis vajadust kellegi järele, kes võiks kaitsta tema instituudi huve, kes oleks nii-öelda Joffe täievoliline esindaja Moskvas.

Meeldiv juhus aitas kaasa, et valik langes minule. Niiviisi osutasin ma Leningradi Füüsika ja Tehnika Instituudi uurimistööde arengu tunnistajaks. Minu esindajaosa ei kestnud kaua. Olen juba unustanud, mis sai hiljem: instituut vist muutis oma ametkondlikku alluvust ja vajadus minu teenete järele langes ära. Kuid ka sellest lühikesest ajast piisas, et tajuda Joffe läbinägelikkust, kes arendas otsustavalt niisuguseid uurimissuundi, mille perspektiivsus polnud tollal sugugi ilmne.

Mäletan väga hästi oma visiite rahvakomissari asetäitja või peavalitsuse juhataja juurde, kaasas instituudi plaanid. Saanud Joffelt vajalikud selgitused (ma sõitsin mitmel korral Leningradi ja tutvusin kohapeal instituudi töödega), tõestasin ilma vaevata oma praktiliselt mõtleivatele ülemustele pooljuhtide füüsika arendamise vajalikkust. Olgugi et tollal oli see füüsikaharu alles lapsekingades, võis tema perspektiivsust näitlikult demonstree-rida esimeste pooljuhtfotoelementide abil. Ma võtsin mõned neist, pisikesed kui nõöbid, rahvakomissari asetäitja kabinetti kaasa ja ühendasin juhtmete abil mõõteriistaga. Fotoelement lähendati elektripirnile, ja mõõteriista osuti kaldus järsult kõrvale; seejärel varjati lamp fotoelemendi eest eboniiditükiga, mis teatavasti laseb läbi infrapunast kiirgust, ning vool vähenes vaid pisut.

«Näete,» resümeerisin ma katset, mida nüüd demonstreeritakse koolis, «fotoelement reageerib infrapunastele kiirtele.»

See oli niivõrd veenev katse, et raha nende laboratooriumide arendamiseks, mis olid kuidagi seotud imefotoelemendiga, eraldati ilma pikema jututa.

Märksa raskemaks läks asi, kui ülemuste pliiatsid jõudsid tuumafüüsika laboratooriumideni. Pealegi hakkas Joffe veel visalt nõudma vahendeid tsüklotroni tarvis.

«Milleks see kõik?»

«Uurimised aatomituuma lõhestamise alal on kaasaja füüsika paeluvamaid lehekülgi.»

«Liiga palju raha läheb nende paeluvate lehekülgede täitmiseks,» kahtlesid ülemused. «Ja on ju ilmne, et praktilisi tulemusi nendelt laboratooriumidelt oodata ei tasu: nad opereerivad tühiste ainehulkadega, mingisuguste miljardike grammidega. Sellele juba tehnikat ei raja.»

Vastu öelda polnud midagi. Kellelgi polnud tollal vähimatki ettekujutust, kuidas tuumafüüsika alal tehtavaid töid praktikas rakendada. Kainele eelarvamusele võis vastandada üksnes usu teaduse jõusse. Argumendid tuumafüüsika arendamise vajalikkuse kasuks kujunesid umbes niiviisi, nagu rääkis tollal meie väljapaistev mehaanik ja laevaehitaja Krõlov:

«Kõrgahi toodab aastas ligikaudu 500 000 tonni malmi, umbes samade mõõtmete ja maksumusega tsüklotron annab sajatuhandiku milligrammi ümber purustatud aatomeid. Kuid minu noorpõlves olid elektri praktilisteks rakendusteks vaid elektritelegraaf, elektriuksekl ja galvanoplastika. Aga nüüd? Teaduse jõud ja võim on piiratud, niisama piiratud on ka tema praktilised rakendused inimkonna hüvanguks.»

Suurepärased, prohvetlikud sõnad, mida tumestab vaid üks asjaolu – tööd tuumafüüsika alal andsid peale tuumaelektrijaamade ka aatomipommi . . .

Kogu loodusteaduse ajalugu kirendab teaduslikest avastustest, mis on avaldanud revolutsioonilist mõju tsivilisatsiooni arengule. Piisab, kui meenutada Faraday avastatud elektromagnetilise induktsiooni seadust, mis sai kogu elektrotehnika ning järelikult kogu tänapäeva tsivilisatsiooni aluseks. Siingi oli avastuse tähtsust avastuse sündimise ajal täiesti võimatu ette näha. Ma lugesin kusagilt anekdooti, milles jutustati, et küsimusele oma seaduse rakendatavusest vastas Faraday: «Võib teha huvitavaid mänguasju.»

Pole lõppu nii-öelda pisut madalamat järku näidetel – läbivate kiirte avastamine Röntgeni poolt, fotoelektrilise efekti avastamine, kautšuki sünteesimismeetodi avastamine . . .

Tähtis on selgesti mõista, et kõik need ja teised teaduslikud avastused polnud juhuslikud ilmutused, vaid teaduse loogilise ja seaduspärase arengu tulemus.

Hoopis lapsikult mõtleb see, kes arvab, et Röntgen «otsis» nähtamatuid kiiri, Faraday – loodusseadusi, mida võiks rakendada elektrigeneraatorite ehitamiseks, Hahn ja Strassmann aga tuumaenergiat. Ent õigus pole ka nendel, kes mõtlevad, et Röntgenil «vedas»: musta paberiga varjatud gaaslahendustoru lähedal juhtus lebama mineraal, mis oli võimeline helendama nende kiirte toimel, millele hiljem anti nimeks röntgenikiired. Võib näida, et vedas Faradayl, kes «taipas» vajalikul hetkel vaadata galvanomeetrit, mis oli ühendatud traatpooliga parasjagu siis, kui pooli sisse lükati magnetpulka. Võiks arvata, et vedas Hahn ja Strassmannil, kes avastasid 1939. aastal, et uraani aatomi tuumad jagunevad aeglaste neutronite toimel; selle avastuse grandioossus – aatomiplahvatuse võimalikkus – sai ilmsiks mõne kuu pärast.

Tegelikult aga – teaduse ajalugu võib seda alati täie veenvusega tõestada – olid need avastused ette valmistatud paljude tuhandete uurijate tööga. Avastused said võimalikuks sellepärast, et nad olid küpsenud, olid vältimatud, hõljusid õhus. Kõige andekama teadlase terav pilk avastas nad enne teisi.

Sellega võiks lõpetada jutu teaduse kasust. Vajadus arendada teaduse rinnet, mida viib edasi inimlik teadmishimu, soov loodust tunnetada, kõrvaldada kõik ebaselge ja arusaamatu, muuta kõik tulevased sündmused ennustatavaks – see on suurte teaduslike avastuste sündimise õnneliku vältimatuse tõttu täiesti õigustatud eesmärk isegi kõige ägedama utilitaristi silmis. Ilma

kogu teaduserinde edasiliikumiseta, ilma teaduse väsimatute ja märkamata teenijate arvuka armee tööta oleksid sellised avastused võimatud.

Juba sellest on täiesti küllalt, et mõista, miks teoreetiliste uurimiste arendamist füüsika, matemaatika, keemia ja bioloogia vallas loetakse meil riiklikuks ülesandeks ja miks raha loodusteaduse arendamiseks eraldatakse kindlas proportsioonis teiste riiklike kulutustega.

Muidugi, ma kujutan selgesti ette, et rõhuv enamik lugejaid on täiesti rahul toodud argumentidega. Sellele vaatamata tahan seda teemat jätkata, pidades silmas ka vähemust, kelle hulgas võib ette tulla enam või vähem haritud praktiliselt mõtlemaid skeptikuid.

«Te väidate,» ütleb selline skeptik, «et revolutsioonid tehnikas on seotud teaduslike avastustega. Täiesti õige. Mõned näited, mis teid rahuldavad, te esitasite. Kuid lubage meenutada ka vastupidiseid näiteid. Rida tehnikaharusid saavutas kõrge täiuslikkuse astme juba selleks ajaks, kui loodusteadust polnud veel olemaski. Meie kauged esivanemad, kel polnud vähimatki ettekujutust füüsika ja keemia seadustest, oskasid ehitada suurejoonelisi losse, keetsid laitmatut helisevat kristallklaasi, sulatasid maaki. Aurumasinate sajand algas ilma teaduse osavõtuta. Watt ja Polzunov ei tundnud termodünaamikat – õpetust soojuse muundumisest tööks. Aga terase või klaasi tootmine? Milline otsatu hulk praktiliselt huvitavaid materjale on loodud katseliste otsingute teel ja hoopiski mitte teadusliku analüüsi ning loodusteaduste tundmaõppimise tulemusena! Niisiis,» teeb skeptik järelduse, «praktikud tulevad oma asjaga suurepäraselt toime ka ilma teoreetilise teaduseta.»

Tõepoolest on tõsi, et paljud tehnikaalad sündisid ja täiustusid ilma teaduse vahelesegamiseta. Aga kuidas hoogustus selle vana traditsioonilise tehnika areng, millest kõik võimalik näis juba välja pigistatud olevat, kui loodusteadus saavutas olulist edu ja hakkas peaaegu eranditult kõiki rakendusteadusi oma ideedega viljastama, Ehkki terase tootmise ajalugu hõlmab paljusid aastasadu, leiti alles meie sajandi 50-ndate aastate lõpus uus protsess, mis lubab toota endisest kolm-neli korda tugevamat terast. Pole vajadust tõestada tootmise sellise täiustamise suurt tähtsust. Tehnika võitleb konstruktsioonide kaalu vähendamise eest mõne protsendi võrra, uuest terasest aga osutub võimalikuks valmistada detaile, mis on kümneid protsente kergemad.

Kolmkümmend aastat tagasi avaldati teoreetilistes töodes

idee metallide mitteküllaldase tugevuse põhjustest. Asi seisab selles, et igas metalli kristallikeses on suur hulk ilmseid spetsiifilisi defekte (neile anti nimeks dislokatsioonid), millel on omadus juba õige väikese jõu rakendamisel kristallikeses edasi liikuda. Et dislokatsioonid on palju, siis deformeerub kristallike kergesti väikeste jõudude toimel.

Pärast sõda töötati välja dislokatsioonide liikumise detailsed skeemid ning esitati sobivad registreerimis- ja vaatlusmeetodid dislokatsioonide liikumise jälgimiseks üksikutes kristallikeses.

Metallograafid jälgisid tähelepanelikult neid töid. Nad püüdsid leida vastust küsimusele, kuidas terast tugevamaks muuta. Dislokatsiooniteooria vastas sellele täiesti üheselt – tarvis on dislokatsioonide liikumist raskendada.

Metallograafid ja metallifüüsikud hakkasid mõtlema, kuidas seda teoks teha. Toome siinkohal vaid ühe näite nende arutlustest, mis lähtuvad dislokatsioonilistest ettekujutustest. On teada, et väikesed süsiniku lisandid muudavad pehme raua kõvaks teraseks. Süsiniku osa sai nüüd selgeks – tema väikesed aatomid segavad dislokatsioonide liikumist. Tähendab, asi pole lisandi keemilises loomuses ja süsinikku võib edukalt asendada teiste elementidega.

Nii viisi rändasid idee ja eksperiment füüsikalaboratooriumidest metalluurimise instituutidesse, seejärel aga väljusid nende instituutide seinte vahelt tehastesse. Kogu sündmuste arengukäik võttis aega umbes aastakümne ümber.

Võiks tuua veel palju seda laadi näiteid teaduslike ideede «juurutamisajaga» ühest aastast kuni aastakümneteni. Kuid mitte see pole meie eesmärk. Kõige tähtsam on näidata, et loodusteaduse kõrge arengutasemega maal on ka rakendusteadused – sellised, nagu tehnika, meditsiin, agronoomia ja teised – kõige soodsamais tingimustes. Niisugusel maal leitakse kiiremini võimalus teadusliku avastuse praktiliseks kasutamiseks. Peale selle avaldab ka teadusliku mõtlemise üldine kultuur ise tingimata mõju kogu praktilisele tegevusele.

Käesoleva peatüki kokkuvõte on niisugune: ehkki loodusteadused arenevad omaenda teid mööda ega lahenda praktilisi ülesandeid, on nende mõju rakendusteadustele raske ülehinnata.

3. peatükk,

... kus jutustatakse sellest, kuidas vabaduse ja paratamatuse dialektiline ühtsus määrab uurimiste suuna loodusteaduse vallas.

Me pole asustamata saarel

Peaaegu iga nädal tuleb teaduses töötaval inimesel kokku puutuda ühe, alata uuesti kerkiva küsimusega: mida edasi teha?

Laborant on mures: kas mitte võtta suurema tundlikkusega film? Teaduslik töötaja otsustab järgmise eksperimendi edasi lükata ning võrrelda oma arvusid teoreetiliste andmetega. Töörühma juht, kes juhendab mitut samalaadsete probleemidega tegelevat teaduslikku töötajat, arvab, et on tulnud aeg üle minna uuele vaatlusmetoodikale, töötab välja uued mõõtmis skeemid ning annab joonised töökotta. Laboratooriumi juhataja, olles hinnanud viimaste kuude uurimistulemusi, jõuab arvamusele, et uurimiste raskuspunkt tuleb üle kanda optilistelt meetoditelt raadiospektroskoopilistele, et uued eksperimentaalsed kõverad sunnivad vana teooriat revideerima, et uuritavate ainete hulka tuleb lülitada uus objektide rühm. Mis puutub instituudi direktorisse, siis tema mõtted (kuigi ta istub direktoritoolil) on hõivatud raha ja riiklike ülesannete jaotamisega laboratooriumide vahel.

Visandatud skeemist nähtub, et kooskõlastatult tegutsevaks teaduslike töötajate grupiks on laboratoorium. Suurem koondis kannab administratiivset iseloomu, väiksemad üksused pole iseisivad.

Muidugi, asi ei ole nimetuses ja esineb juhtumeid, kus laboratooriumide osa täidavad väikesed uurijategrupid või koguni üksikud teadlased.

Heal laboratooriumil (selguse mõttes räägime laboratooriumist, mõtleme selle all aga mis tahes iseseisvat teaduslikku üksust) on oma töösuund, oma huvidering ja oma uurimisstiil. Heast laboratooriumist pärineva teadusliku artikli autoreid pole vaja nimetadagi, sest spetsialist taipab alati niigi, kus antud uurimus on sooritatud.

• Teaduslik väesalk võib olla kujunemisjärgus. Sellise laboratooriumi kohta öeldakse, et ta pole veel leidnud oma palet.

Taoline arvamus on õigustatud 5–7 aasta jooksul. Ent kui «oma näo puudumine» jätkub ka kümmekond aastat pärast laboratooriumi organiseerimist, siis tähendab, et see on hall, nigel laboratoorium, mis ei vääri teaduserinde väesalga nime. Säärane laboratoorium võib kasulik olla vaid abistavas osas, kui keegi võtab ta oma tiiva alla, lülitades tema töö oma teaduslike uurimiste hulka.

Teadusliku kollektiivi töösuuna ja -stiili määrab tema juhataja või väike rühm vanemaid töötajaid. Laboratooriumi nimetus ütleb väga vähe, see määrab ainult jõudude rakendusala. Ühesuguse nimega laboratooriumid võivad ja peavad oma töösuunalt ja -stiililt erinema üksteisest niisama oluliselt kui Akimovi ja Ohlopkovi teatrid.

Milles seisavad stiili erinevused? Eelkõige suhtumises laboratoorsesse eksperimenti. Ühtedes laboratooriumides kulutatakse põhiline osa tööajast täiusliku aparatuuri loomisele, äärmiselt täpsete mõõtmismeetodite väljatöötamisele. Teistes aga eelistavad uurijad soetada valmisaparatuuri, selleks et oma põhilised jõupingutused suunata mõõtmistulemuste läbitöötamisele ja nende mõtestamisele. Ühtedele laboratooriumidele on iseloomulik laiahaardelisus, teistel on tähelepanu keskpunktis kitsa teema sügav läbitöötamine.

Tööstiil ja -suund kujunevad aegamisi, sõltuvalt paljude faktorite koosmõjust – juhendaja temperamendi ja intellekti iseärasustest, kogu teaduse ja piirdeteaduste arengust, tööstuse ja riiklike huvide mõjust.

Uurimistöode plaanide koostamisel on otsustav osa teaduslikul juhendajal. Loodusteaduste vallas tööplaan ülaltpoolt ei anta. Riiklik reguleerimine puudutab vaid raha jaotamist erinevate teadusalade vahel vastavalt tänastele ettekujutustele nende osatähtsusest.

Kuid ka laboratooriumi juhataja ei planeeri niiviisi, nagu

seada tehakse tehases ja vabrikus. Asi on selles, et kaugeltki mitte alati ei saa uurimistulemusi üldse planeerida.

Akadeemilise uurimisinstituudi laboratoorium näiteks esitab direktioonile iga aasta laboratooriumi tööplaani järgmiseks aastaks. Ja iga kord tunnevad teaduslikud töötajad standardsete blankettide täitmisel mõningat kohmetust, sest seal on niisugused lahtrid, nagu teema nimetus, seejärel töö sisu etappide järgi ning lõpuks oodatavad tulemused.

Lihtne on kirjutada vaid üht – mida me kavatseme teha, milliseid mõõtmisi sooritada, missugust aparatuuri tahame üles seada, milliseid katseid korraldada. Aga kas see kõik ka teoks saab?

Mõistagi, ka teaduslikus töös on ilmatu palju rutiinseid operatsioone. Ei paku erilist vaeva hinnata, kui palju aega nõuab röntgenogrammi või spektri saamine, on võimalik hinnata ka ühe või teise arvutuse mahtu. Juba raskem, aga siiski võimalik on ära näidata nädalate arvu, mis kulub tuntud skeemide järgi kokkupandava aparadi valmistamiseks. Ent kui teaduslik töö koosneb ainult niisugustest operatsioonidest, siis see on halb töö, see polegi teaduslik töö.

Ja tõepoolest, teaduslikul uurimisel on mõtet vaid siis, kui see sooritatakse senitundmatute või ähmaste asjaolude väljaselgitamiseks. Eksperimentaalne teaduslik töö on seda parem, mida vähem ilmne on tema tulemus. See, mis näib lihtne ja kerge, võib uurimiskäigus osutada äraarvamata keeruliseks ja ümberpöörduvalt, keerukas probleem võib saada lihtsa lahenduse nagu Kolumbuse muna korral.

Ootamatused? Jah, aga see ju õieti öelda ongi kõige tähtsam, mis teaduslikus uurimistöös võib olla. Ootamatusest, kui tahate, unistab iga teaduslik töötaja. Ootamatu – see on midagi uut, midagi niisugust, millega veel keegi pole kokku puutunud. Ootamatu, huvitav, tähtis – need sõnad on teaduses sünonüümid.

Möödunud sügisel enne puhkusele minekut andsin viimaseid näpunäiteid oma aspirandile Jussifile:

«Teie töö, Jussif, läheneb lõpule, jääb vaid näidata, et molekulaarsete protsesside kiirus tahketes kehtades aeglustub korduskatsetes. (Mulle näis täiesti ilmne, et kristallid, millega Jussif töötas, pidid aegamisi riknema.) Mõõtke ära, kui kiiresti langeb protsessi kiirus, ja sellega loeme töö lõpetatuks.»

Nende sõnadega sõitsin ära. Kuu aja pärast läksin kohe Jussifi juurde.

«Näidake oma kõveraid.»

«Siin nad on.»

«Ei, mitte need, te olete midagi segi ajanud.»

«Ei ole.»

«Aga kus on siis kiiruse kahanemise kõverad? Ma näen kellukesekujulisi kõveraid.»

«Needsamad ongi.»

Vaat kus lugu. Tuleb välja, et kiirus algul kasvab ja alles siis kahaneb. See oli ootamatu tulemus. Tuleb välja, et kristall alguses «harjub» molekulaarsete protsessidega ning alles seejärel hakkab «riknema». Jussif avastas uue nähtuse ja tema töö väärtus kasvas mõõtmalt. Enesestki mõista tuli uurimistööde plaani oluliselt muuta.

See on üks näide, mis iseloomustab, kui raske on planeerida uurimistööd loodusteaduse vallas. Ma ütlesin isegi nii: mida rohkem tuleb kavandatud plaanidest kõrvale kalduda, seda huvitavamalt töö kulgeb.

Ma ei saa hoiduda muigest iga kord, kui võtan kätte teadusliku töö plaani blanketid, mida peavad täitma kõrgemate õppeasutuste õppejõud. Lahtri «teema nimetus» järel tuleb lahter «trükilehekülgede arv». Nende lehtede koostaja psühholoogia on mulle täiesti mõistetav. Õppejõule on planeeritud teatud tundide arv loenguid, seminariõppusi, eksameid ja konsultatsioone. Selle plaani täitmist pole raske kontrollida kursuse- ja rühmapäevikute järgi. Aga kuidas on lugu teadusliku tööga? Planeerida samuti mingi tundide arv? Ent kuidas kontrollida?

Eriti raske on teoreetikuga. «Mina töötan kodus,» ütleb ta. Mida siis temale planeerida? Võib-olla teadusliku teksti lehekülgede arvu? Neid saab ju alati kokku lugeda.

Kuid sellise lähenemisviisi naeruväärsust tõestama hakata pole lihtsalt vajadust. Oivalised teaduslikud uurimused on vahel esitatud artiklites, mis ilmuvad ajakirjas «Dokladõ Akademii Nauk». See ajakiri ei võta vastu artikleid, mille maht ületab kuus masinakirja lehekülge. Tihtipeale on nendesse kuude lehekülge kätketud mitmeaastane uurimistöö ja mitte mingisugustes mõõtühikutes arvestatav mõttepingutus. Teiselt poolt, kui palju on tulnud sirvida (lugeda pole neid mõtet) andetuid kõhukaid neljasajaleheküljelisi dissertatsioone.

Spetsialistide ringkondades on teadusliku töö tulemuste planeerimise võimatus hästi teada. Seepärast on kõik juba harjunud sellega, et lahtris «oodatavad tulemused» tegelikult lihtsalt korratakse lahtrit «töö sisu». Kuid millega laboratoorium kavatseb tuleval aastal tegelda, mida ta loodab ära teha – seda tahab juhtkond küll teada, ja täiesti õigustatult.

Nagu juba eespool öeldud, lasub teemade valik järgmiseks aastaks peamiselt laboratooriumi juhatajal ning otsustavaks kriteeriumiks nende teemade väärtuse hindamisel on tema arusaamine tähtsaimast ja huvitavaimast selles teaduse valdkonnas, millele ta on end pühendanud. Kuid ta peab ka silmas pidama instituudi üldist töösuunda. Vastasel korral viisakad, kuid järelejätmatud etteheited, mida tal tuleb kuulda aastaaruannetes, samuti materiaalne surve, mida hakkab avaldama instituudi direktsioon, sunnivad teda ikkagi arvestama selle organisatsiooni üldisi huve, mille koosseisu laboratoorium kuulub. Kui õpetatud nõukogu arvates mõistab laboratoorium ühe või teise teema tähtsust ebaõigesti, siis teda kritiseeritakse, mis üldiselt võttes on asjale kasuks. Kuid need on ikkagi vaid täpsustused. Laboratooriumi õige kurss sõltub eelkõige teadusliku juhataja mõistusest, talendist ja intuitsioonist.

Teaduslikku uurimistööd tehakse ka kõrgemate õppeasutuste kateedrites. Siin on valik veelgi vabam. Põhjus on lihtne: kõrgema kooli peamine ülesanne on ette valmistada häid spetsialiste ning pedagoogiline töö on range kontrolli all. Aga teaduslik töö? Hea, kui seda tehakse, kui aga mitte, siis kateedrijuhatajal jääb üle vaid õppida koostama häid vastuseid küsimusele lehekülgede arvust, mida tema kaastöölised on kirjutanud. Midagi muud temalt kahjuks ei nõuta.

Teaduslikku tööd loodusteaduse valdkonnas tehakse peamiselt niinimetatud üldkateedrites – füüsika-, keemia-, bioloogia-kateedrites. Sellise kateedri juhataja võib korraldada uurimisi mis tahes suunas – tal on ääretult lai teemade valik.

Kuid me ei ela asustamata saarel ja elu nõudmised annavad end tahes-tahtmata tunda nii algajate teaduslike töötajate tegevusala valikul kui ka väljakujunenud teadlaste töösuuna valikul.

Vabaduse ja paratamatuse probleem esineb siin nagu igal pool mujalgi oma dialektilises ühtsuses. Psühholoogiline ja materiaalne faktor viivad sellele, et teaduslike teede lahkemel kaldub uurija nende ülesannete lahendamisele, mis nii või teisiti on seotud rakendusteaduste ees seisvate probleemidega.

Näiteid pole vaja kaugelt otsida. Kõigile on teada pooljuhtide hiiglasuur praktiline tähtsus. Just nimelt seetõttu arenevad tormiliselt tahke keha füüsika vastavad osad.

Elementaarosakeste füüsika sai suure arenguhoo, kuna uurimised selles suunas olid viinud tuumaenergia avastamisele.

Kõrgpolümeersete ainete struktuuri uurimine poleks kunagi edenenud sellise tempoga, kui mitte tööstus poleks huvi tundnud sünteetiliste materjalide vastu.

Nüüd aga näide meie endi praktikast. Olgugi et meie laboratoorium on spetsialiseerunud orgaaniliste ainete struktuuri uurimisele, jätsid kõrgmolekulaarsed orgaanilised ained meid alati külmaks – neid on raske saada kõrge korrapärasusega seisundis ning seetõttu märksa keerulisem kindlaks teha nende struktuurseid karakteristikuid.

Ent neljakümnendatel aastatel hakkas sõna «kõrgpolümeerid» kõlama üha sagedamini ja sagedamini. Külla tulid keemikud, kes tahtsid saada andmeid kõrgpolümeersete ainete struktuurist. Reale küsimustele õnnestus vastata, mõned probleemid aga viisid meid kimbatusse ja panid mõtlema nende ainete struktuuri spetsiifikast.

Pikkamisi haaras sündmuste loomulik arengukäik meid kaasa uute, praktika poolt dikteeritud küsimuste ringi. Oli tahtmine suurele hulgal inimestele kasulik olla, meeldiv oli tunda end sündmuste keskpunktis, teada, et võtad vahetult osa tänaste riiklike ülesannete täitmisest. Kuid kõrvuti sellise psühholoogilise survega tekib ka täiesti materiaalne huvitatus – võimalus saada «polümeeride uurimise tähe all» kallihinnalist aparatuuri ja täiendavaid ruume ning järelikult võimalus oma tööde ulatust laiendada.

Näiteid praktika forsseerivast mõjust uurimistöodele loodusteaduse vallas on erakordselt palju.

Ent real juhtudel ei anna teadlane sellele survele järele. Milistel nimelt? Aga siis, kui töösuuna muutmine on seotud teadusliku kvalifikatsiooni omandamiseks kulutatud kapitali kaotamisega.

Peetakse iseenesestmõistetavaks, et uurija valib oma teadusala vaid üks kord. Ma luban endale väikese kõrvalepõike, mis illustreerib seda mõtet. Asi oli niiviisi. Sõda katkestas minu teadusliku tegevuse. Instituut, kus ma töötasin enne sõda, lakkas olemast; kui tuli kätte aeg oma elukutse juurde tagasi pöörduda, oli vaja otsida uut töökohta.

Ma olen rahutu iseloomuga ja mulle oli alati vastumeelt ühe koha peal istumine; osavõtt ekspeditsioonidest või kaevanduste inspekteerimine ei kuulu aga aine ehitust uuriva füüsiku kohustuste hulka. Ja ma otsustasin: kui juba alustada otsast peale, siis hakkam tegelema merefüüsikaga. Merehoovuste, murdlainetuse seaduspärasuste uurimine – see on suurepärase tegevus, kus üheaegselt saab kustutada janu nii teadusliku loomingu kui ka kohavahetuste järele. Selle mõttega läksingi merefüüsika laboratooriumi. Mult võeti dokumendid vastu ja paluti järgmisel päeval tulla Šuleikini – laboratooriumi juhataja jutule.

Mind võeti väga lahkelt vastu.

«Kulla mees, see on ju oivaline, et olete nii kogenud struktuuršik (on selline žargoonsõna), teaduste kandidaat. Muidugi ma võtan teid rõõmuga vastu. Te hakkate minu juures... uurima jää struktuuri.»

See oli niivõrd ootamatu, et ma isegi ei hakanud Šuleikinile oma siiatuleku motiive seletama. Kuidagi äkitselt mõistsin – kellegi ei tule mõttesegi, et ma võiksin kui ballasti kõrvale heita oma kümneaastased kogemused ja teadmised. Tuleb leppida erialaga, mis pole seotud rännakutega.

Üldreeglina ei tule teaduslikule töötajale pähe oma erialale truudust murda. Ja siin pole mitte ainult praktilist laadi kaalutlused – kahju on teaduslikust pagasist. Sinu poolt valitud teadusala, teaduslik suund muutub õige pea elu sisuks ja sellest loobumine on seotud raske murranguga.

Mitte iga kord ei leia truudus oma erialale väärilist tasumist. Ühtede elukutse osutub teaduse laineharjale tõstetuks, teised töötavad erilist ühiskondlikku huvi esile kutsumata ega saa võimalust oma tööd laiendada.

Muidugi tuleb ette sedagi, et tee viib ummikusse. See on kurb. Ent enamalt jaolt annab ka tagasihoidlik teaduslik tegevus oma kindla impulsi teaduserinde edasiliikumisse. Mõnikord aga viib sündmuste areng väärtuste ümberhindamisele ja need, kes olid seni märkamatud, satuvad äkki esiritta. Nii juhtus näiteks tuumafüüsikutega, nagu kõigile teada. Nii sünnib praegu meie silme all uurijatega, kes töötavad molekulaarbioloogia alal.

Seepärast on igati seaduspärane praktika otsustav mõju nende teadusetegetele, kes seisavad teaduslike teede lahkemel (ma kordan end, kuid tööde üksnes võidab kordamise läbi), ning samuti seaduspärane on ka nende teadlaste kangekaelne sammumine oma teed mööda, kes ei näe võimalust sellelt kõrvale astuda, reetmata üritust, millele nad on pühendanud oma elu.

Ma rääkisin, et teadlane ei saa truudust murda oma valitud teele loodusteaduse piires. Täpselt samuti on haruldased ka need juhtumid, kus looduseuurija läheb täielikult üle rakendusteadlaste leeri.

Kutsumus olla kunstnik, olla poeet – see kõlab tuttavalt ning mõistetavalt. Kuid looduseuurija kutsumus on kahtlemata niisama tugev ja see on samuti inimesel veres.

Esineb, teate, selline inimeste kategooria, kes on haaratud soovist rünnata arusaamatut ja leiavad määratud rahuldust võimalusest tulevase sündmuse ennustada.

Ma tahaksin, väga tahaksin lugejale tunda anda, kuivõrd

kaasakiskuv ja huvitav see on. Te lõite teooria; selle teooria alusel arvutasite välja, ütleme, kuidas kaltsiidikristalli soojustmahtuvus sõltub temperatuurist. Te töötasite palju ning lõpuks saite teoreetilise kõvera – sellise ilusa, sujuva kõvera, mis tõuseb madalate temperatuuride juurest algul aeglaselt, seejärel järsult, edasi aga aeglustab oma käiku ning läheneb teatud piirile. Nüüd on tarvis välja selgitada, kas teooria on õige või mitte. Vajalikku aparatuuri pole kaugeltki kerge ehitada. Mööduvad nädalad ja kannatamatus kasvab. Kas teooria on õige või mitte? Kas olete õppinud nähtust ette nägema? Viimaks on aparatuur valmis; algavad mõõtmised. Esimene punkt, teine, kolmas... Need langevad oivaliselt kõveraga kokku. Milline õnn, milline võidurõõm! Lahkudes hilja õhtul laboratooriumist, hoiate vaevu tagasi rumal-õnnelikku naeratust – selline ilme on vahest ainult armunudel pärast kohtumist.

Looduse uurimine, mis on suunatud «valgete laikude» kustutamisele teaduse kaardilt, muutub paljudele inimestele kireks, saab elusihiks ja elumõtteks. Pole vaja rääkida, et just sellised inimesed satuvad teadlastearmee esiridadesse.

Muidugi tahab iga teadusetegelane oma tööle laia hoogu anda, endastki mõista ei jätku tal raha, ei jätku tööpinda, ei jätku abilisi. Anna talle vabad käed, ja ta ostab kokku kõik parimad aparaadimargid üle kogu maailma ning lisab muidugi oma kahele ustavale tehnikule vähemasti kaks väikest töökoda – mehaanikatöökoja nii umbes paarikümne inimesega ja elektrotehnikatöökoja esialgu vahest kümnekonna töötajaga. Oma elukutsesse armunud teaduslik töötaja märgib meelepahaga või koguni nõrdimusega, et mingisugustele teistele uurimustele, mis oma tähtsusest pole üldse võrreldavadki tema tööga, anti rohkem raha. Loomulikult tuleb see kõik tema töö tähtsuse mittemõistmisest. Aga pole viga – veel natuke tööd ja vaeva ning siis on käes uued tulemused, siis juba saab kõigile selgeks tema teadusliku suuna tähtsus.

Oma teadusalale andunud inimene, kes oskab rangelt ja loogiliselt mõelda, kui jutt on teaduslike faktide analüüsist, kaotab objektiivsuse, kui asi puutub omaenda armastatud töösse, millele oled andnud kogu ihu ja hinge; töösse, millele on pühendatud kogu elu, ei, mis ongi elu ise! Ja mulle meeldib see reaalsusetaju kaotamine, see kõrgemat järku egoism, see omandikirg.

Soov igati oma tööd laiendada, saada rohkem raha ja paremat aparatuuri sunnib uurijat leidma seda optimaalset, teatud kompromissidega tegevusjoont, mis lubab tal ilma teadusele truudust murdmata praktikale abi osutada. Mõnesuguse osa oma

ajast ja laboratooriumi tööjõust eraldab ta tööstuselt või rakendusteaduslikelt instituutidelt saadud ülesannete lahendamiseks. Selle eest saab laboratoorium vahendeid ja aparatuuri, mis võimaldavad efektiivsemalt ja kiiremini toime tulla peamiste teaduslike ülesannetega.

Teaduse täiendav finantseerimine tööstusega sõlmitavate lepingute kaudu on üpris kasulik asi. Tähtsaid praktilisi ülesandeid täitvad ettevõtted pöörduvad abi saamiseks nende laboratooriumide poole ja ergutavad just nimelt neid teoreetilisi laboratooriume, mille teaduslik töö on kõige edukam, mis töötavad kõige kvalifitseeritumalt. Ühesõnaga, tekib automaatne reguleerimine – head laboratooriumid saavad täiendavaid summasid. Ja see on täiesti õiglane.

4. peatükk.

... kus jutustatakse sellest, kuidas teadlane jälgib teaduse edusamme kogu maailmas. Selles peatükis vee-
nab autor lugejat, et teaduslikke komandeeringuid kaugetesse linna-
desse ei võeta ette mitte paljast
uudishimust.

Täna on meil kollokvium

Täna on kollokvium. Kell on 14 ja 27 minutit. Tuleb kiirusta-
tada. Hilinemine pole lubatud ja Rimma – kollokviumi sekre-
tär – kõlistab juba hoiukarpi, kuhu hilinejad lasevad kuulekalt
kümnekopikalisi: iga minuti eest ühe. Aasta jooksul koguneb
arvatavasti paras summa ühe hea õhtusöögi jaoks. Teaduslikel
töötajail jääb puudu distsiplineeritusest ning hoiukarp muutub
üha raskemaks.

Selle, et kollokviume alustatakse minutipealt, saavutas Pjotr
Leonidovitš Kapitsa. Tema «kolmapäevad» on füüsikute kõige
esinduslikumad teaduslikud koosolekud Moskvas. Režiim on
Kapitsal range: kollokvium algab minutipealt ja lõpeb poole
minuti täpsusega, täpselt kahe tunni pärast. Kui ettekanne venib
pikale, katkestab Pjotr Leonidovitš ettekandjat viisakalt mis tahes
fraasil, ütleb, et see kõik on väga huvitav ning järke kuulame
heameelega järgmine kord. Halvem on, kui teema on ammen-
datud, kahe tunni täissaamiseni aga jääb 5–10 minutit. Kuid
Kapitsa on osav tüürimees. Manööverdades küsimuste ja mäles-
tustega juhhib ta laeva sadamasse täpselt õigeks ajaks. Ei minu-
titki hiljem ega varem.

Mina pole seda ära õppinud ning meie istungid kestavad
kaks tundi vaid ligikaudselt. Üle kahe tunni ei või – on väsitav,
tähelepanu nõrgeneb.

Laboratooriumi või instituudi kollokvium – see on sidekude, mis seob üksikud rakud teaduslikuks organismiks. Teadlane töötab üksinda või väikese arvu kaastöölisega, mõtleb aga igal juhul omaette. See on vältimatu, kuid samal ajal on hädavajalik suhtlemine teistega. Olles haaratud omaenda tegevusjoonest ja arutlustest, võib paljutki kahe silma vahele jätta, minna vale teed mööda, avastada seda, mis teistele teada. Ei saa edukalt töötada, kujutamata ette oma töö osatähtsust ja kohta kogu teaduses. Muidugi võib (ja on vaja) palju lugeda. Ent innustunud uurijal on raskem end tööst lahti kiskuda lugemiseks kui elavaks suhtlemiseks; ja üldse – lugemine ei asenda mõttevahetust. Teaduslikus kirjanduses ei teatata üldreeglina ebaõnnestumistest. Teaduslik artikkel kirjutatakse siis, kui on saavutatud edu. Seda aga, et te lähete vale teed mööda, võib teada saada vaid vestluses.

Laboratooriumi kollokviumidel kuulame ettekandeid nii oma kaastööliselt kui ka külalistelt teistest laboratooriumidest ja instituutidest. Ettekandja ootab kriitikat ja heakskiitu, nõuandeid ja abi. Teinud paar-kolm ettekannet esinduslikel kollokviumidel, ilma et oleks kuulnud enda aadressil salvavaid märkusi selle kohta, et kõik ettekantu on esiteks triviaalne, teiseks ammu avaldatud ning kolmandaks sisaldab jämedaid vigu, jõuab teadlane veendumusele, et tööd võib jätkata. Kuulajad aga jätavad meelde selle uue, mis nad kuulsid, ja kaalutlevad, millist kasu võiks ammutada sellest uuest oma töö jaoks.

See osa kollokviumide tööst on mõistagi kõige tähtsam ja kõige huvitavam. Kuid sellega asi ei piirdu. On ju vaja pidevalt jälgida kogu maailma teaduslikku kirjandust.

Kirjutanud selle lause, ma ohkan tahtmatult. Kerge öelda – jälgida maailma teaduslikku kirjandust. Meie teaduslikud esivanemad XIX sajandist said sellega mängides hakkama. Kannatamatult ootasid nad kord kuus ühe või kahe teadusliku eriala-ajakirja ilmumist. Paar-kolm päeva lugemist, ja juba olidki nad kursis maailma teaduslike sündmustega. Mõned teaduslikud almanahhid võimaldasid neil teada saada kõiki uudiseid naabriteadusladel. Tollal polnud teab kui raske tunda kõike uut füüsikas ja keemias ning omada lisaks täielikku ettekujutust kogu loodusteaduse edusammudest tervikuna.

Jah, need «vanad head ajad» on ammu möödas. Teaduslike uurimiste tormiline areng ületab igasuguse ettekujutuse. Üks statistik arvestas välja teadusega tegelejate ligikaudse arvu Romuluse aegadest meie päevini. Ilmnes, et üheksakümmend protsenti kogu sellest hulgast on meie kaasaegsed. Alles möödunud sajandil loeti teaduslike töötajate arvu tuhandetega, tänapäeval aga

miljonitega. Võib arvata, et kolmandal aastatuhandel on teadusega seotud iga kümnes inimene maakeral.

Selle teadlastearmee töötulemustest teatavad teaduslikud ajakirjad. Mis te arvate, kui palju neid on? Viiskümmend tuhat! Kui nad ilmuksid ühtlaselt, siis iga 10 minuti järel oleks teie ees uus ajakiri. Ainuüksi 1960. aasta jooksul avaldati nendes ajakirjades 1 200 000 artiklit. Nüüd te mõistate minu rasket ohet – miljon artiklit ja veel kõikvõimalikes keeltes, kaasa arvatud jaapani ja hispaania keel.

Kuidas siis teaduse edusammudega kursis olla? Muidugi tuleb loobuda mõttest teada kõike, mida tehakse igas teaduses. Spetsialiseerumine, nii kahju kui see ka pole, on muutunud paratamatuks. Isegi kogu füüsikat pole enam võimalik jälgida.

Teaduslik ajakirjandus pole kuidagi tsentraliseeritud. On olemas suur hulk väljaandeid eri riikides, mis profiililt langevad täiesti kokku. Uskumatult palju on ajakirju osaliselt kattuva temaatikaga. Kus võiks näiteks avaldada artikli pealkirjaga «Hemoglobiinikristalli infrapunase spektri uurimine seoses tema ehituse mõningate küsimustega»? Juba ainuüksi Nõukogude Liidus ei või põhimõtteliselt keelduda sellist artiklit vastu võtmast ajakirjade «Fizika tvjordogo tela», «Žurnal eksperimentalnoi i teoretitseskoi fiziki», «Optika i spektroskopija», «Kristallografija», «Strukturnaja himija», «Biofizika», «Biohimija» ja veel paljude teiste ajakirjade toimetused.

«Kuidas te siis töotate?» küsib hämmastunud lugeja.

Appi tulevad ülevaate- ja referatiivajakirjad, mille osatähtsus kasvab iga aastaga.

«Eržee» – nii nimetatakse meie peamist abistajat, referatiivajakirja «Fizika». Iga kuu jõuab kirjutuslauale paks ajakiri, mis sisaldab umbes 3000 artikli lühikokkuvõtteid. Selle hoolikaks lehitsemiseks kulub kaks-kolm öhtut. Tähelepanu köidavad sellised artiklid, mis otseselt või kaudselt puudutavad laboratooriumi tööd, ning samuti need referaadid, mis on pühendatud loodusteaduse üldistele probleemidele. Nendest referaatidest valin kümme-kakskümmend kõige huvitavamat välja kollokviumi jaoks.

Sellel on kaks eesmärki. Tutvumine nende artiklite sisuga, mille referaadid olid huvitavad, nõuab aega. Aga teada neid artikleid on vaja. Las jutustavad neist kollokviumil meie algajad kaastöölised. Kuid tähtis on asja teine külg. Nooremaid kaastöölisi on ju vaja harjutada teaduslikel koosolekutel esinema. Ette kanda võõrast tööd – see on suurepärase praktika. Osa erutusest langeb kogenematu ettekandjal ära: võõraste tulemuste

eest ta ei vastuta. Tähendab, on vaja jälgida vaid oma ettekande vormi. See aga on ikkagi kergem.

Referatiivajakirjad on suurepärase asi. Kui neid korralikult läbi vaadata, siis vist küll mitte midagi ei jää kahe silma vahele. Kuid nende kaudu saab uudistest teada hilinemisega. Otsustage ise: sellise ajakirja toimetus peab saama originaalid, pildistama need, saatma iga üksiku artikli refereerimiseks spetsialistidele. Neil aga endilgi tegemist küllalt. Alles mõne kuu pärast saab ajakiri referaadid kätte. Seejärel on neid vaja redigeerida, valmistada ette ladumiseks. Ja ka trükkimine ei lähe nii kähku, nagu tahaks. Tulemusena saate «uudiseid» teada ühe-, kahe- või isegi kolmeaastase hilinemisega. Kui töotate uues, perspektiivses suunas, kus tegutseb tuhandeid inimesi, ja kui olete end teistest ette rebinud (millest unistab muidugi iga teadlane), pole referatiivajakirjad teie jaoks küllalt aktuaalsed. Ja tahes-tahtmata tuleb kuust kuusse läbi vaadata kümneid ajakirju kõigis maailma keeltes.

Kui te töotate ammust ajast ühes ja samas valdkonnas ja olete küllalt korralik, siis ülesanne olla kursis oma teadusala edusammudega on täiesti täidetav. Keerulisem on lugu sel juhul, kui asute lahendama uut teaduslikku ülesannet. Teil tuleb siis läbi vaadata vähemasti kahe viimase aastakümne referatiivajakirjad – mitte just kerge ja lõbus ülesanne. Samuti tuleb läbi vaadata referatiivajakirjade aineregistrid. Materjali otsimine väljavalitud temaatika järgi pole keeruline: selline temaatika on registrites alati esitatud teatud kindlates rubriikides. Halvem on lugu siis, kui otsite andmeid, mis pole veel leidnud endale kindlat kohta teie teadusharu teatud peatüki teatud paragrahvis. Teid huvitav küsimus võib siis aineregistri teiste rubriikide sekka ära kaduda.

Paljud noored teadlased piirduvad vaid 5–10 aasta vanuste ajakirjade läbivaatamisega. Tulemuseks on kurvastav nähtus – ajakirjades, mis niigi kannatavad ruumipuuduse all, ilmuvad artiklid «Ameerika avastamisest». Võib tuua näitena matemaatilisi valemeid, mida on taastuletatud kolm-neli korda. Paljud teaduslikud töötajad sammuvad uurimisteid mööda, mis viivad ummikusse. Kahetsusväärne on see, et töö perspektiivitus oli selge juba kümme-kakskümmend aastat tagasi, ent noor töötaja ei tea seda ning raiskab asjata oma energiat ja aega.

Kui halvasti jälgida teaduslikku perioodikat, on oht «kellegi kannul käia». Niiviisi tekib liigne dubleerimine teaduslike uurimiste osas mitte üksnes eri maades, vaid ka Nõukogude Liidu piires.

Seetõttu et teaduslike publikatsioonide arv lakkamatult kasvab, kasvavad kiires tempos ka need raskused ja puudused, millest äsja juttu oli. Nad vähendavad tunduval määral teaduslike töötajate uurimistöö efektiivsust ning on tulnud aeg tõsiselt mõelda nende kasvupuuduste ületamisest.

Täiesti võimatu on läbi saada ilma inglise keele oskuseta. Pärast Teist maailmasõda tõrjus inglise keel otsustavalt kõrvale saksa keele ning muutus peamiseks teadusekeeleks. Rahvusvahelistel konverentsidel esitatakse enam kui üheksa kümnendikku ettekandeist inglise keeles. Paljud Lääne ajakirjad võtavad vastu artikleid mis tahes tähtsamas Euroopa keeles. Sellest hoolimata esitavad autorid oma artiklid ikka inglise keeles. Sel juhul loeb artiklit kõige rohkem inimesi.

Heameelega võib märkida, et venekeelse teadusliku produktsiooni osatähtsus on küllaltki suur. Pärast sõda tõlgitakse meid palju ning raja taga õpitakse aktiivselt vene keelt.

Muidugi tuleb mul endal palju lugeda, samuti jälgida, et kõik kaastöölised oleksid kursis maailmasündmustega. Kuid vahel... tasub lugemisest hoiduda. Omaenda uurimus tuleb lõpuni mõelda ise, allumata võõra mõtte hüpnosile. Eriti õige on see siis, kui olete teistest kas või natukenegi ette jõudnud. Mõnda aega on vaja edasi minna tagasi vaatamata.

Aga ülevaateartikleid ja -teoseid tuleb lugeda ja läbi vaadata alati. On olemas aastaraamatud, milles kvalifitseeritud teadlased näitavad teile nii-öelda linnulennult laiemat teadusala arengut viimase aasta jooksul. See on minu arust täiesti kohustuslik lugemisvara igale teaduslikule töötajale. Kahjuks pole kaugeltki igal teadusalal selliseid iga-aastasi vaatlejaid. Vajadus nende järele aga on äärmiselt suur, vähemalt senikaua, kui teadusliku informatsiooni saamisel ei tule abiks... robot.

Kiiretoimelised elektroninformatsioonimasinad on teadlase unistus. Kujutlege sellist võimalust. Sisened roboti tupp, vajutate kangikesele ja küsid viisakalt mikrofoni:

«Olge hea, teatage, palun, kõik uurimused naftaliinikristallide füüsikalise-keemiliste omaduste kohta viimase kümne aasta jooksul.»

. Ja minuti pärast metalne hää:

«Palun, kirjutage üles: sublimatsioonisoojuse mõõtmine – «Žurnal fizitšeskoi himii», aasta 1958, lehekülg 125; soojusjuhtivuse mõõtmine – «Journal of Chemical Physics», aasta 1961, lehekülg 327...»

Unistus? Jah, seni ainult unistus, kuid teostatav. Informatsioonimasinad peavad tulevikus asendama referatiivajakirju ning

kardinaalselt hõlbustama teadlasele informatsiooni kogumist varajastel aegade kohta ja samuti aitama tal teada saada igakuuseid või iga-aastasi uudiseid.

Muidugi pole selliste masinate loomine mingi kapriis, vaid tingitud tungivast vajadusest. Ilma nendeta ei saa teadus mõne aastakümne pärast edasi areneda, sest teaduse arengutempo üha kasvab ning tänase miljoni artikli asemel aastas ootavad meid lähemas tulevikus kümned miljonid iga-aastasi teaduslikke artikleid.

Pahatihti näevad ühtede ja samade küsimuste lahendamisel vaeva kümned või koguni sajad eri laboratooriumid kõigis maailma nurkades. Poleks sugugi paha, kui kõigi nende teadlaste töö käiks ühtse plaani järgi. Ent säärast ühtset plaani pole olemas ja dubleerimine on vältimatu.

Meie maailm on kahjuks jagunenud kaheks leeriks. Kapitalistlikud maad suurendavad palavikulises tempos oma relvastust, eraldavad fantastilisi summasid teaduslikeks uurimisteks, mis on otseselt või kaudselt seotud uute hävitusvahendite väljatöötamisega. Sotsialistliku leeri maad on samuti sunnitud suunama rakendusteadused sõjaliste probleemide lahendamisele. Loomulik, et need tööd on salastatud, «kinnised» ning mingit informatsiooni vahetamist siin ei ole ega saagi olla.

Kaudselt annab selline olukord end tunda ka loodusteaduses, kuivõrd pole võimalik ette näha uurimistulemuste praktilist tähtsust. Seetõttu ei saa juttugi olla teaduse koordineerimisest maailma mastaabis.

Riigipiiride olemasolu on tugevaks piduriks teaduse arengule ja põhjustab tohutu hulga teadlaste töövaeva otstarbetut raiskamist, sest iga teadlane tegutseb kooskõlastamatult, lahus oma välismaistest kolleegidest. Raske on isegi ette kujutada seda kvalitatiivset hüpet teaduslike saavutuste kasvutempos, mis toimuks siis, kui maailm muutuks ühtseks.

Muide, seni on tarvis küllaltki palju ära teha korra loomiseks omaenda majapidamises. Teaduslike uurimiste arv meie maal kasvab iga aastaga ning tööde koordineerimine üleliidulises mastaabis on muutunud täiesti hädavajalikuks. Selles asjas oleme õigustatud lootma kiiret ja sajaprotsendilist edu.

Suurt osa tegevuse kooskõlastamisel etendavad teaduslikud konverentsid. Kuidas neid organiseeritakse?

Initsiatiiv lähtub tavaliselt teaduslikelt keskorganisatsioonidelt, kelle üheks ülesandeks on teadlaste kokkutulekute planeerimine. Asutatakse konverentsi organiseerimiskomitee, kes otsustab, kus ja millal konverents kokku kutsuda. Saadetakse laiali

sajad kutsed asjast huvitatud organisatsioonidele palvega saata osavõtuavaldused ja ettekannete teesid. Sõltuvalt ettekannete arvust võib konverents kesta kaks kuni kümme päeva. Ettekandeid laiadel teemadel kuulavad kõik osavõtjad, kitsamaid ettekandeid kuulatakse eri sektiioonides.

Kogemused näitavad, et kõige paremini õnnestuvad konverentsid, mis kutsutakse kokku sellises linnas nagu näiteks Krasnojarsk. Nii kaugel? Jah, kuid reisikulud tasuvad end ära.

Teekond Jenissei kaldale, kuhu muidu naljalt ei satu, meelitab kokku paljusid tööga kinni olevaid inimesi, kes on haaranud oma uurimistest ega tahaks ilma selleta laboratooriumist lahkuda. Seepärast on eksootilise koha valimine üsna hea moodus konverentsi kasuteguri tõstmiseks: mida rohkem väljapaistvaid teadlasi kokku tuleb, seda õnnestunum on konverents. Ja teiseks, konverents saab küllaltki tähtsaks stiimuliks selle väikese teadlasterühma jaoks, kes töötab konverentsi teemadel Krasnojarski linnas! Muidugi, linna valik ei tohi olla juhuslik. Ja Krasnojarskil maksab peatuda vaid sel juhul, kui konverentsi teema langeb kokku Krasnojarski teadlaste teemaga. Iga konverents kaugel keskusest on suureks tõukeks teaduse arengule antud kohas. Aga see on ju väga oluline.

Nii et võib täiesti tavaliseks nähtuseks lugeda, et teadlane sõidab aasta jooksul mitu korda Krasnojarski ja Tartusse, Odesasse ja Kišinjovi, kus ta saab kokku oma kaasvõitlejatega. Ja mis sellest, et konverentsile tuleb palju moskvalasi. Sulatõsi, et argipäeva askeldustes ja töörühmamises ei õnnestu moskvalasel kunagi nii rahulikult ja nii üksikasjalikult vestelda oma moskvalasest kolleegiga kui võõras linnas.

Vaevalt jääb lugeja minu seletusega rahule. Mis puutuvad siia vestlused, imestab ta, konverentsi ju korraldatakse selleks, et kuulata ettekandeid. Jah, see on muidugi enam-vähem õige. Ilma ettekanneteta konverentsi ei ole. Ent kui poleks võimalust kohtuda kolleegidega, kui poleks ahvatlust rahulikeks, tõttamata vestlusteks vaimult lähedaste inimestega, kui poleks tahtmist «kakelda» oma teadusliku vastasega, näidata kõigile ümberolijaile tema väidete alusetust ja enda üleolekut – kui poleks kõike seda, siis kaotaksid konverentsid tervenisti oma külgetõmbejõu ning kasu neist oleks minimaalne.

Ma arvasin juba ammu, et teaduslikud ettekanded pole veel konverents, samuti nagu juurvili pole veel supp, kuid ei sõandanud säherduse ketserliku mõttega välja tulla seni, kui sattusin esimest korda rahvusvahelisele sümposiumile. See oli 1956. aas-

tal; enne seda oli vaid vähestele osaks saanud «raja taga» käia. Konverents toimus Montrealis, ühes toredaimas Kanada linnas.

Veerand tundi pärast lennuki maandumist istusin juba ameerika autos juhi kõrval, kes osutus minu ametivennaks. Üleminek lennukis valitsenud rahult Uue Maa ilma uljale autoliiklusele oli üsna järsk. Ma polnud veel jõudnud vääriliselt hinnata võimsate ameerika autode eeliseid ja pidurite headust ning pooltunnise sõidu vältel lennuväljalt ülikoolihooneni, kus toimus konverents, pigistasin enam kui üks kord silmad kinni – autokatastroof, milles ise kaasa mängid, on väheveetlev vaatepilt.

Ent minu kaaslaste elav lobisemine ei takistanud teda toimetamast mind elusalt ja tervelt ülikooli ühiselamusse. Tagant tõugatuna kärsitust soovist kiiremini sündmuste keskpunkti jõuda, sattusin juba veerand tunni pärast auditooriumi, kus peeti istungit. (Konverentsile ma muidugi hilinesin. Kuid mis parata, vene teadlaste hilinemine rahvusvahelistele kongressidele – ma unustasin seda mainida – on saanud peaaegu rahvuslikuks tunnuseks.) Auditooriumis oli paarisaja inimese ümber (aga kongressil peab ju olema ligi 800 inimest, vilksatas mul peas; kus nad siis on?), valgus oli kustutatud, ettekandja demonstreeris katsete skeeme epidiaskoobi abil. Ma võtsin istet, kuid minuti pärast tundsin, et pole suuteline keskenduma oma välismaa kolleegi kõne jälgimiseks. Viimaste tundide jooksul olin juba niivõrd harjunud muljete kiire vaheldumisega, et sellisele rütmile häälestatuna ei suutnud ma paigal istuda. Väljunud auditooriumist ja laskunud trepist alla, sattusin parki, mis asus ülikooli naabruses.

Puude all murul, klapptoolidel, kummuli pööratud apelsinikastidel, trepiastmetel vestlesid elavalt, kas väikeste rühmadena või paarikaupa, needsamad kuussada inimest, keda ei olnud auditooriumis. Mul ei kulunud palju aega, et hinnata nende sundimatute vestluste kogu võlu ja tulu.

Osutus täiesti tavaliseks ja sugugi mitte sündsusetuks käia ühe rühma juurest teise juurde, kuulata jutukatkeid ja ühineda vestlusega, kui see huvi pakkus. Et kergendada soovitava vestluskaaslase leidmist, kinnitatakse igale konverentsist osavõtjale rinda sedelike tema perekonnanime ja maa nimetusega. Väga haarav tegevus oli välimuse seostamine hästi tuntud nimega. Kui huvitav, et Zachariassen näeb välja nii noor, mina aga arvasin, et ta on juba päris rauk. Aga Wilson, tuleb välja, on tugev punapäine mehekolask. Ent kes on too pikakasvuline, lahke heatahtliku vaatega mees? Lähemale minnes saad teada, et see on Harker. Hämmastavalt meeldiv tegevus. Kui kahju, et esimene kord enam ei kordu.

Selle konverentsi järgnevail päevil ja teistel suurtel konverentsidel ma mõistsin, et enamik osavõtjaid suhtub sümposionidesse nõndasamuti nagu minagi. Mingisugune protsent huvipakkuvaid ettekandeid (mitte eriti suur) kuulatakse loomulikult ära, ent suurema osa ajast veedab teadlane vestlustes oma ametikaaslastega ning, kasutades juhust, kontrollib oma vaateid, propageerib oma seisukohta ühes või teises küsimuses, saab teada üksikasju oma kaugete kaasvõitlejate töö iseloomust ja suunast.

Igasugused teaduslikud kokkutulekud mis tahes tasemel on väga vajalikud ja kasulikud ning ma ei mõista sugugi neid vähe-seid ennast ülearu tähtsaks pidavaid teadlasi, kes kaebavad, et «konverentsid raiskavad neil palju aega». Kuidas raiskavad aega? Jutlemine omaenda teadusest targa vestluskaaslasega – see on ju teadusliku tegevuse tähtis element!

5. peatükk.

... Olles tutvunud sellega, võivad täiskasvanud lapsed omavad vanemad kindlalt otsustada, kas nende pärijatel tasub astuda aspirantuuri ning valmistuda teaduslikuks tulevikuks.

Uks teadusse

Molekulaargeneetika teeb kolossaalseid edusamme, ja võib unistada tollest ajast – tõesti oivaline teema teaduslik-fantastilise jutustuse jaoks –, kui, uurides ülimerkrokoobi all noorukilt võetud koerakku, saab aatomite paigutuse iseloomu järgi anda täpse hinnangu kõigi tema sünnipäraste eelduste kohta ning sel viisil julgelt kindlaks määrata, milline kasvatus on tema jaoks kõige sobivam.

Kasvatus etendab tohutu tähtsat osa. Ent üks asi on see, kui inimest kujundades tuleb tegutseda risti vastu tema kaasasündinud iseloomule (see on niisama hea, kui hobune kahel jalal kõndima õpetada: kasvataja töövaev on hiiglaslik, ent rõõm, mida loom sellest ebaloomulikust oskusest saab, on üsnagi kaheldav). Hoopis teine asi aga on töövaev, mis kulutatakse sünnipäraste kalduvuste edasiarendamiseks: selle tulemuseks on kasvataja rõõm, kasvandiku õnn ja kasu ühiskonnale.

Sünnipärased kalduvused on väga ja väga erinevad. Otsustuste tegemisel noore inimese tuleviku kohta tuleb seni leppida tema käitumise tähelepaneliku jälgimisega. Arvatavasti võivad kasulikud olla psühholoogilised testid, mida meil miskipärast ei armastata kasutada.

«Minu Koljast,» kuulutab ema, «tuleb teaduslik töötaja. Teda on võimatu raamatu juurest ära kiskuda.»

See järeldus on pinnapealne: lugemiskirest ei järeldu veel kuigi palju.

«Minu Volodja,» räägib teine ema, «on väga seltsiv. Silmaotsaski ei kannata üksildust, ikka sõprade ja seltsimeeste seas.»

Mis siis ikka, sellest võib teha mõnesugused järeldused. Võib-olla sellest just tasubki alustada. Ma võtan endale julguse teha katset kirjeldada neid iseloomujooni, neid sünnipäraseid kalduvusi, mis, nagu mulle näib, on olulised kui tooraine teadusliku töötaja kasvatamiseks.

Psühholoogias pole ma spetsialist ning minu märkused kannavad nähtavasti diletantlikku iseloomu. Niisiis, esimene minu arust vajalik omadus – poiss või tüdruk peab armastama oma mõtetega üksi jääda. Mõistagi, laps on laps ning tulevane teadusemees on võimeline spordimängudest ja tantsust rõõmu tundma täpselt niisamuti nagu tulevased insenerid ja lenduridki. Ent ikkagi peab meid huvitav laps armastama vahel üksi jääda, võib-olla raamatuga, võib-olla rikkiläinud raadioaparaadiga või ka lihtsalt niisama. Ilma milletagi. Üksi oma mõtetega.

Kuid see armastus ei ütle iseenesest veel midagi. See võib olla omane ka tulevasele logardile. See on tarvilik, kuid mitte piisav tingimus, nagu ütlevad matemaatikud.

Teine tähtis omadus on teadmishimu. Koolieelses eas on see omane eranditult kõigile lastele. Lõputud «mispärast» on vaid see hädavajalik osa teadmishimust, mis on tarvilik igale inimesele, et maailmas elama õppida. Ent küllalt sageli saab see teadmishimu rahuldatud pealiskaudsete asjadega ning hääbub kiiresti, niipea kui laps on õppinud ümbruskonnaga valutult suhtlema. Aga kui see teadmishimu on säilinud ning areneb edasi, siis on see juba tähtis tunnusmärk, mida ei tohi tähele panemata jätta. Seejuures on hea, kui teadmishimu on järeleandmatu. Soov leida vastus kerkinud küsimusele peab olema püsiv ja järelejätmatu: vanemad ei suutnud vastata – on teisi inimesi; mitte keegi ei seletanud mõistlikult ära – otsin raamatutest; raamatuid ei olnud käepärast – katsun ise mõelda, kontrollida, proovida.

Neist kahest omadusest piisab, et riskida teadusemeest kasvatada. Kuid mis alal?

Arvan, et mitte mingisugused testid ei vasta küsimusele: kelleks on parem saada – keemikuks või bioloogiks, geoloogiks või hüdroloogiks, juristiksi või ajaloolaseks. Kitsa eriala valimine on juhuse asi. Ent teatud jäme liigitus, mis põhineb intellekti üldisel iseloomul, näib siiski võimalik olevat. On teadmishimu, aga mille vastu? Huvi inimsaastuste vastu, inimeste vastastikuste suhete vastu, inimese seisundi vastu ühiskonnas, oma lähikond-

laste vaimuelu vastu viib nooruki humanitaarteaduste juurde. Huvi asjade ehituse vastu, selle vastu, kuidas need teenivad inimest, viib ta rakendusteadlaste leeri. Huvi looduse vastu juhib teaduslikud kalduvused loodusteaduse poole.

Mõnikord vanemad kahtlevad, kas ikka tasub pojal teadusse minna. Võimed on tal keskpärased, õpib keskmiselt, aga on püüe, visa tahtmine. Sellisel juhul tuleb rakendada kõik jõud selleks, et nooruk läheks teadusse. Võimalik, et võimed avalduvad edaspidi, aga isegi kui nad pole suured, lubab andumus armastatud tegevusalale alati leida inimesel oma koha teaduses, ning rõõmu oma teaduslikust loomingust ei hakka ta saama hoopiski mitte vastavalt oma panusele teadusse, vaid sajakordselt rohkem.

Head eeldused teaduse jaoks – mõtteselgus ja loogika, hea mälu – võivad üldsegi mitte ilmsiks tulla, kui laps õpib viletsas koolis ning lisaks veel kellelgi perekonnast ei tule mõttesegi teadlasekarjäär. Sel korral võib nimetatud omaduste harva esinev ühendus jäädagi vaka alla. Sellest on väga kahju ning seepärast väärib suurimat tähelepanu meie Siberi matemaatikute algatus, kes seadsid eesmärgiks välja otsida kõige andekamaid noori teadusse kaasatõmbamiseks.

Vastupidi, kui laps kasvab perekonnas, kus teadus on elukutseks, ning pealegi liigub vastavas kaaslaste ringis, on tema tee teadusse juba ette määratud. Tõsi küll, kahjuks väga sageli ilma vajaliku aluseta.

Meie kõrgematesse õppeasutustesse suundub tohtu noorte vool ning nende saatus otsustatakse põhiliselt kõrgema kooli seinte vahel. Kasvatamine sõna ja eeskujuga mängib siin suurt osa. Vilets ja teaduse vastu ükskõikne lektor võib üliõpilase teaduslikust karjäärist eemale tõugata. Vastupidi, haaravad loengud, intensiivne teaduslik töö ülikoolis aitavad kaasa üliõpilase sünnipäraste teaduslike eelduste avanemisele, kasvatavad armastust teaduse vastu.

Seejärel saabub hetk, mil noor inimene teeb otsuse ja ütleb: teadus peab saama minu elukutseks. Kuid mitte kõik ei sõltu tema otsusest. Üliõpilase saatus võib kujuneda mitmesuguseks. Ta võib astuda aspirantuuri, teda võidakse tööle võtta teaduslikku asutusse ning lõpuks tema soovide teostumise teele võib tõkkena tõusta suunamine tööstusse, kooli või haiglasse.

Tutvugem kõige sirgema teega teadusse – aspirantuuriga.

Helistatakse direktsioonist:

«Kas te võtate sel aastal endale aspirante?»

«Võtan küll.»

«Mitu inimest?»

Ma jään viivuks mõtlema: kaks . . . ei, vahest siiski kolm.

Ärge arvake, et ma just nii väga tahan oma õpilaste arvu suurendada. Tänamatut sekeldamist aspirantidega on küll ja küll. Aga vastutus? Võtsid inimese aspirantuuri vastu, tähendab, võtsid kohustuse: valmistada kolme aasta jooksul ette uus teadlane. Ei tulnud välja – sinu süü. Kui aspirant osutus vähevõimekaks – miks sa siis ta võtsid? Kui aga aspirandi kohta ei saa midagi halba öelda, siis on sada protsenti sinu süü: halvasti organiseerisid aspirandi tööd, ei andnud tema käsutusse vajalikku aparatuuri ning kõige rängem süü (ilma igasuguse irooniata) – andsid aspirandile mittedissertaabli teema (ärge otsige seda sõna ühestki sõnaraamatust, seal teda pole). Anda teema, millest ei tulnud välja dissertatsiooni, see on niisama hea, kui võtta lapsel käest kinni, viia ta labürinti ning seal maha jätta: vähesed, kes välja pääsevad.

Nii et näib: mida vähem aspirante, seda parem. Kuid ei tule unustada ebaobjektiivset ahnust, mis on omane igale teadlasele. Niisamuti nagu lõbusalt ja laialt elavas perekonnas ei tulda kunagi palgaga välja, ükskõik kui suur see ka poleks, nii ei jätku heas uurimislaboratooriumis iialgi ruume, aparatuuri ja eelkõige inimesi. Tärkas hiilgav mõte, oleks tarvis seda kontrollida, aga vabu käsi ei ole, kõik on kinni niisama huvitavate asjadega. Paluda täiendavaid koosseise on peaaegu lootusetu ning igal juhul tülikam ja väsitavam kui õiendada aspirandiga.

Seega esitatakse nõudmine nii mitme aspirandi peale, kui palju on ruumi külge külje vastu lükatud laudade jaoks.

Hakkab tulema noori inimesi.

«Kust te teada saite, et ma kavatsen võtta aspirante?»

«Aga ma unistan juba ammu pääseda teie laboratooriumi ja jälgin teie teaduslikke töid (valetab muidugi kõige häbematu-mal kombel) ning nüüd sain vastuvõtust teada Niinalt (see on meie aspirant).»

«Hm . . . Noh, hea küll, millal lõpetasite?»

«Just äsja lõpetasingi.»

«Aga kas kateeder annab soovituset?»

«Küllap vist. Ma ei õppinud just halvasti.»

«Aga miks teid ei jäetud aspirantuuri kateedri juurde?»

Selle peale on võimalik kaks vastuse varianti.

«Oli ainult kaks kohta. Pääsesid sisse vaid puhtad viie-mehed.»

Või:

«Ma ei tahtnud töötada selles suunas, mida arendatakse kateedris.»

Loodan, teile on selge, millist vastust hinnata. Peab ütleva, et uurimislaboratooriumid meie parimate ülikoolide kateedrite juures on kõige soodsamas olukorras. Nad võivad välja valida kõige edukamaid üliõpilasi.

Tulevad ka noored inimesed, kes on töötanud paar aastat pärast kõrgema õppeasutuse lõpetamist. Igaühte küsitlen selle kohta, mida ta on lugenud, kas ta mõistab, et on tarvis vabalt osata inglise keelt, kas mõistab, et aspirantuur – see pole lõbus jalutuskäik, vaid õppimine ja töötamine neljateistkümnetunnilise tööpäevaga.

«Peale selle,» lisan ma, «unustage kolmeks aastaks puhkus. Paariks nädalaks võib-olla ehk veel lasen ja sedagi sõltuvalt sellest, kuidas töö läheb.»

Minu ülesanne on raskustega ära hirmutada. Vaimult nõrgad peavad kõrvale jääma.

«Noh, mis siis ikka,» lõpetan vestluse. «Andke dokumendid sisse ja valmistuge eksamiteks.»

Aga edasi pean pattu kahetsema. Kõik oleks hästi, kui soovijate arv ületaks kohtade arvu. Ent tegelikus elus on niiviisi, et pretendente on parajasti nii palju kui kohtigi. Töötajaid aga on laboratooriumisse oi kuidas vaja. Sellistel juhtudel võetakse eksam vastu pooleldi kinnisilmi.

Ahnus, nagu teada juba lasteraamatutest, ei too kunagi head. Tuleb ette ka nõrku aspirante, keda saab kasutada vaid laborantidena teadusliku töötaja juures. Võib neile kätte õpetada teadusliku töö tehnika, kuid iseseisvat teadlast neist ei tee. Säärane aspirant lahkub laboratooriumist nii-öelda samas kvaliteedis mis tülleski. Aga kui juhendaja on ülearu kohusetruu ja tunneb end süüdi, et sokutas noore inimese tööle, mis pole talle jõukohane, siis kirjutab ta kirudes tema eest ka dissertatsiooni valmis.

Sellised juhtumid on siiski harvad.

Kui aspirantuuris viibimine ei tekitanud armastust teaduse vastu, siis noor teaduste kandidaat sellega oma teadusliku tegevuse lõpetabki. Asi seisab selles, et tegelda iseseisva uurijana teadusega seda armastamata on ebareaalne. Ta muutub valgeks vareseks teiste seas ja eelistab lõpuks üle minna teisele tööle, et tunda end võrdväärse kaasteenijate hulgas. Ent ei maksa selle pärast kurvastada – aspirante on meil palju. Aspirantuuriaja möödudes jäävad ustavad teadusse, teised aga pöörduvad tagasi tööstusse või lähevad õppejõududeks. Väga hea, et aspirantuur valmistab ette ka neid inimesi. Enesestki mõista ei saa kolme-

aastane aspirantuuris viibimine soodsat mõju avaldamata jätta lõpetanute edasisele praktilisele tegevusele. Nii et kõik on korras: aspirantuurist on kasu nii teadusele, tööstusele kui ka kõrgemale haridusele.

Kandidaadikraadi kaitsmiseni ei jõuta mitte ainult aspirantuuri kaudu. Mitmelgi korral on mul tulnud kokku puutuda inimesatustega, mis pälvivad sügavat lugupidamist.

Pärast kõrgema kooli lõpetamist sattus noormees tehase-laboratooriumi või tööstusharu uurimisinstituuti, mis täidab kiireloomulisi riiklikke ülesandeid. Töö on keerukas, vastutusrikas, nõuab täit jõudu. Kuid seda ei saa võtta dissertatsiooni teemaks. Puudub dissertatsioonile vajalikuks peetav element – uute teaduslike faktide kindlakstegemine. Töö ei lähe alati libedasti. Tegutsedes ülaltpoolt antud ettekirjutuste järgi, põrkab töötaja kokku arusaamatuga, jõuab vastuoludele, satub ummikusse, tärkavad omad isiklikud mõtted, algavad katsetused, otsingud. Asutuse plaani need ei kuulu. Otsinguid tuleb teha õhtuti, öösiti. Tuleb palju lugeda, tuhnida raamatutes ja ajakirjades.

Visa ja võimekas inimene saavutab lõpuks edu. Ta on sooritanud tõelise teadusliku töö. Loomulikult kirjutatakse dissertatsioon valmis peaaegu täiendava puhkuseta. Pole vajadust rääkida, et selline töö on eriti väärtuslik ning seisab palju kõrgemal selle dissertandi tööst, kes hoidis kinni oma juhendaja hõlmast.

Dissertatsiooni kaitsmine on kas hariduse lõppkokkuvõtte või siis vajalik tähis teel teadusse.

Sõltuvalt teadusliku töötaja võimetest ja temperamendist võib tema edasine saatus kujuneda mitmesuguseks. Ruumi leidub kõigile – nii tagasihoidlikele täideviijatele kui ka neile, kes rühivad esirinda, energilistele ja rahulikele, auahnetele ja edu vastu ükskõiksetele.

Arusaadav, et teaduses töötab ka palju iga liiki laborante, kes suhtuvad töösse küllalt ausalt, kuid ei tunne kindlat, katkematut sidet teadusega. Ent mitte nendest pole jutt, vaid neist, kelle jaoks teadus tähendab elu.

Ustavus teadusele leiab heldet tasumist. Elu muutub sisukaks ja huvitavaks. Iga päev toob midagi uut. Seetõttu elate kogu aeg läbematus ootuses – kas õnnestub arvutust lõpuni viia, millise tulemuse annab eksperiment, kas katse langeb kokku teie arendatud teooriaga.

Teadlase töö on iseenesest ääretult kaasakiskuv. Te sattusite millelegi arusaamatule ja ebaselgele, sooritasite eksperimendi, mille tulemus on mõistetamatu. On läbi proovitud kõik seletused – mitte ükski neist ei kõlba. Mõistatus on kogu aeg teiega.

ta ei lase teid lahti ei tööl, kodus ega metroos. Mõte kobab, vaatleb, uurib arusaamatut igast küljest. Te otsite ligipääsuteid probleemile palju suurema visadusega kui alpinist juurdepääsu vallutamata mäetipule. Ja lõpuks vilksatab midagi tõe sarnast, joonistub ähmaselt arutluste tee. Algul on see mattunud uttu, seejärel hakkab udu haihtuma; tee on juba näha, vähemasti selle esimesed sajad meetrid. Võib võtta pliitsi ja paberi ning katstuda matemaatiliste valemite või loogiliste arutluste abil alustada liikumist. Te ei suuda end sellest tööst lahti kiskuda enne, kui olete temaga lõpule jõudnud.

Loogika ei viinud meid mõistatuse lahendusele. Tähendab, lähteprintsioonid on ebaõiged. Alustame kõike otsast peale. Veel päevad, nädalad, kuud täis pingsat tööd – ja lõpuks võit! Kõik sobib harmoonilisse skeemi. Pole enam mingit mõistatust: nähtus on ära seletatud. Rõõm, rahuldustunne, ja sealjuures kõige omakasupüüdmatum, mis maailmas üldse olla võib.

Töö lõpetamise järel tekib võitmatu tahtmine sellest kellelegi jutustada, kellegagi oma edurõõmu jagada, kuulda tunnustussonu töö tähtsusest ja kasulikkusest.

Et teadlasele pakub määratud rahuldust rääkida oma tegevusest, siis nõustub ta meeleldi ükskõik millise palvega jutustada oma tööst. Sõidab kuhu tahes, vaatamata väsimusele või aja puudusele.

Mõistagi tahaks rääkida endast, oma osast teaduses. Ent selline jutt pakub huvi vaid vähestele inimestele. Kuid teadlane pole armunud mitte üksnes oma töösse – ta on armunud ka oma elukutsesse. Talle meeldib seletusi anda ükskõik milliste küsimuste kohta oma teadusalalt, mitte aga ainult nende kohta, mille kallal ta ise töötab. Ärge kartke teda tööst eemale kiskuda asjaliku küsimusega; vastus saab olema üksikasjalik, ammendav ja teie mõistate kohtumise lõpus, et teaduslik töötaja ise tundis heameelt vestlusest teiega – ta sai kasulik olla oma teadmiste ja kogemustega. Selline omakasupüüdmatu abi on teadlase jaoks loomulik nagu hingamine. Sest jutt on ju tema tööst, tema elu sisust. Tähendab, on naeruväärne rääkidagi, et võiks kahju olla selle peale aega raisata.

Hoopis teine asi, kui abikaasa tahab meest teatrisse või kalli tädi sünnipäevale viia. Kuidagi ei tee talle selgeks, et töötada on sada korda huvitavam kui juua viina või arutada Moskva teatriuudiseid. Kuid meenutanud, et kogu see nädal ei jõudnud ta koju enne kella kümnet öhtul, halastab teaduslik töötaja oma naisele ning rasket ohet maha surudes läheb alistunult külla. Seal ei ole ka kõik päriselt korras.

«Jura.» tõmbab naine meest käisest, «Anna Ivanovna küsib juba teist korda, kas sulle meeldis «Hamlet» Ohlopkovi lavastuses.»

«Mis Hamlet? Ah jaa... noh, muidugi, suurepärane.»

Jural on raske oma mõtetega tagasi tulla sellesse veidraste maailma, kus inimesed on huvitatud mingisugustest tühistest asjadest ja segavad teda lõpuni mõtlemast dikloorbensooli täitsa ebatavalist käitumist faasilisel muundumisel.

Jah, peab tunnistama, et kaugeltki mitte alati ei paku teadusliku töötaja kohalviibimine võõrale seltskonnale heameelt. Tööst lahti kiskuda võib teda vaid formaalselt. Keha on külas, pea aga ikkagi laboratooriumis. See ei tähenda siiski, et teadlased on seltskonnas alati igavad. Sugugi mitte – on ju tööski loomulikke pause. Siis, palun väga – nad võivad naljatada, tant-sida, viina juua.

Teaduseteenri elus ei ole võõrad auahnuse piinad ja röömud. Keegi on töötanud samal teemal mis teiegi. Ta sai täpsemad tulemused ning avaldas need enne teid. Teie tööd pole nüüd enam kellelgi vaja. Kuivõrd valuliselt seda läbi elatakse, ei oska lugejale isegi kirjeldada. Aga seevastu milline rööm ja võidujoovastus vastupidisel juhul!

Ilmus trükist teie töö, mis nõudis teilt nii palju mõttejõudu, nii palju energiat. Aga kaasvõitlejad läksid sellest vaikides mööda. Keegi ei märganudki. Väga ebameeldiv ja näriv tunne. Aga see-eest... Kui paar-kolm aastat pärast teie töö avaldamist hakkavad sagenema viited sellele, tähendab, teie tööd loetakse, kasutatakse... Tähendab, töö on etendanud olulist osa kogu teaduserinde edasiliikumises. Teid valdab määratu rööm, sügav rahuldustunne, oma kasulikkuse tunnetamine.

Kui pühendate end teadusele, ootab teid elu täis röömu ja nukrust, lootusi ja pettumusi! Minu meelest pole sellest paremat elu ja kui sõna «õnn» omab mõtet, siis see ongi õnn.

6. peatükk,

... kus jutustatakse sellest, kuidas looduse tunnetamine sõnadega žongleerimise meetodil asendus eksperimendiga. Lugeja saab samuti teada, et teaduse hiilgavad edusammud tegid XIX sajandi füüsikud ülearu iseteadlikuks: nad arvasid, et meile jääb vaid lõigata nende töö vilja.

Pisut ajalugu

Inimese loode kordab oma arengu vältel kogu seda teed, mille sadade miljonite aastate jooksul on läbinud evolutsioon, mis muundas konna looduse kuningaks. Tekib ahvatlev mõte kõrvutada ideede evolutsiooni muinaskreeklaste ajast meie päevini vaadete arenemisega maailmale tänapäeva lapse juures.

Kuid säärasest kavatsusest tuleb sedamaid loobuda. Muinas-Kreeka mõttetarkade seas kohtame Aristotelest ja Demokritost. Demokritose lihtsad, selged arutlused on vaimult lähedased kaas-aegsetele. Mis aga puutub Aristotelese õpetusse, siis usaldus sõna sisemise tähenduse vastu, millele on rajatud tema arutlused, on teatud määral omane ka lapse naiivsele mõtlemisele. Aristotelese «Füüsika» pole tänapäeval muud kui lõbus lugemispala. Seevastu aga Demokritose vaated universumi ehitusele kõlbavad väikeste muudatustega veel praegugi teaduse aluste populariseerimiseks.

Kuid Aristotelese naiivsuse ja müstika segu oli täiesti meeltmööda ristiusule. Vastupidi, Demokritose õpetus aatomitest viis ilmselt jumalasalgamisele. Seepärast kuulutati Aristoteles XIII sajandi lõpul Kristuse eelkäijaks looduse seletamise asjus. Väljaastumist Aristotelese vastu käsitleti kuni XVII sajandini kui kallalekippumist kirikuisade õpetusele. Meieni on jõudnud Pariisi parlamendi otsus 24. augustist 1624. aastal, milles surmanuht-

luse ähvardusel oli keelatud «pooldada ja seda enam levitada tõdesid, mis on vastuolus Aristoteelse õpetusega».

Demokritose omal ajal nõrdimusega tagasi lükatud jumalavallatud mõtted oleksid tõenäoliselt järelpõlvedele kaduma läinud, kui mitte rooma poet Titus Lucretius Carus poleks valinud neid oma suure poemi «Asjade loomusest» aineks. Lugege see suurepärane teos läbi, kui te pole seda veel seni teinud. Luuletaja siiras vaimustus lihtsast ja selgest aatomiteooriast, mis ühendab harmooniliseks süsteemiks kõige mitmesugusemad vaatlused maailma kohta, kandub poemi naiivsusest hoolimata üle lugejale.

Kui soovime saada ettekujutust vana- ja keskaja õpetlase mõttelaadist, siis peame pöörduma Aristoteelse poole.

Suuri vaevu uduse sõnadetulva sisse tungides leiame lõpude lõpuks, milles seisab loodusnähtuste seletamise printsiip Aristoteelse järgi. Sellal kui muinasaja atomistid, samuti nagu kaasaja füüsikudki, oletasid, et loodust on vaja seletada kvantitatiivsete kategooriatega: ruumilise ulatuvusega, geomeetrilise kujuga, kehade ja osakeste liikumisega, «seletas» Aristoteles loodust sel moel, et igal omadusel pidi olema mingi müstiline kandja. Aga see just ongi seletusviis viieaastase lapse psühholoogia tasemel. Miks on magus? Sellepärast, et on palju magusat. Miks on soe? Sest on palju soojust jne. Seletada võib kõike, mida iganes soovid, mingisuguseid raskusi ei teki.

Kuidas sellest aru saada, et kehad langevad Maa peale? Väga lihtsalt: kehad langevad neile omase raskuse mõjul. Mida rohkem on kehas raskust, seda kiiremini ta langeb. Aristoteelsele on võõras ettekujutus, et Maa mõjub langevale kehale. Keha käitumine on määratud tema «loomusega», tema seesmiste omadustega.

Võimalus kõike maailmas imelihtsalt «ära seletada» viib vaimustusse; sõnaline ekvilibristika on arendatud täiuslikkuseni. Sellal kui atomistid pidasid aksioomiks (nagu seda teeb kaasaja füüsikagi), et materiaosakesed on alatises liikumises, lähtus Aristoteelse füüsika sellest, et igal liikumisel peab olema oma tõukejõud. See tõukejõud peab asuma kas keha sees või selle kõrval, kehaga vahetus kontaktis. Kaugmõju peeti täiesti võimatuks. Te tahaksite lähtepositsioonidega nõustuda, ent kuidas hakkama saada kõige lihtsamate asjade seletamisega? Näiteks visatud kivi liikumine. Kivi sees tõukejõudu pole, tõukavat või tõmbavat keha samuti mitte. Olukord tundub üsna raskena. Kuid Aristotelest see ei heiduta. Soovite seletust? Palun! Viskemomendil paneb käsi liikuma mitte üksnes kivi, vaid ka seda ümbritseva

keskkonna. Noh, aga edasi? Rahu! Ümbritsevale keskkonnale – sellele tema osale, mis hakkas liikuma – annab käsi edasi veel ühe erilise omaduse – *virtus movens*'i. See *virtus movens* ongi võime liikumist teistele kehadele edasi anda. Näete, kui lihtne!

Edasi läheb kõik nagu lepse reega. Kivi liigub edasi naaberpunkti tollesama *virtus*'e arvel, jõudnud naaberpunkti, nihutab paigalt uue osa keskkonnast ja annab sellele edasi veel natuke *virtus*'t. Ja nii ikka edasi. Aga kivi ju kukub lõpuks maapinnale? Noh, selle taha asi seisma ei jää: selge, et igal järgmisel edasiandmisel muutub *virtus*'e hulk üha väiksemaks ja väiksemaks.

Aga mis keskkond see on, millest oli jutt? Arvatavasti õhk. Ent kui õhku ei ole? Ükskõik, mingi keskkond on ikka olemas. Asi seisab selles, et Aristoteles eitab agaralt tühjuse olemasolu. Talle on ühtviisi talumatud nii Demokritose aatomid kui ka vaa-kuumi mõiste.

Argumendid tühjuse vastu on üsna temperamentsed, aga tõestuse loogika üle võib otsustada sellise «arutluse» põhjal: tühjus on koht ilma sellesse kohta paigutatud kehadeta. Kuid see väide on loogiliselt niisama mõttetu nagu jook, mida ei saa juua, või tunne, mida ei saa tunda.

Rohkem näiteid tooma ei hakka. Arvatavasti piisab sellest täiesti, et saada ettekujutust teaduslike arutluste iseloomust Aristotelese vaimus.

Mul on tulnud vahel lugeda kaasaegsete käsikirju, mis on kirjutatud niisuguses vaimus. Kui harimata inimene üritab kirjutada teadusest, siis tuleb tal välja just midagi säherdust. Paljast sõnademängu, mis on lõpmata võõras teaduslikule tunnetusele, on iidsetest aegadest meie päevini alati kasutanud religioon. Egas juhuslikult võtnud frantsiskaani ja dominikaani mungad – kõjge sallimatamad ristiusuliste seas – Aristotelese õpetuse oma relvastuse hulka. Aristotelese uduseid fraase sünteesisid usudogmadega edukalt mitmed teoloogid, kelle hulgas etendas eriti väljapaistvat osa Aquino Thomas.

Kahe aastasaja jooksul viis kirik läbi enda jaoks üsna kasuliku asja. Kuid hiljem ta kaotas seeläbi. Kaasaja ristiusu filosoofia sai alguse Aquino Thomasest. Selle filosoofia juured on tihedasti põimunud Aristotelese õpetusega loodusest. Niipea aga kui areenile ilmus eksperimentaalne loodusteadus, polnud enam võimalik Aristotelese õpetust kaitsta. Religioonil tuli Aristoteledest lahku lüüa. See ei läinud ilma ideoloogiliste kaotusteta.

Uus ajajärk teaduses algas XVI sajandil. Seda tähistasid Koperniku avastus ja Pierre Gassendi tööd, kes taaselustas Demokritose aatomiteooria.

Skolastilisi arutlusi loodusest asendasid vaatlus ja katseline uurimine. Sai selgeks, et sõnad on vaid nähtuste tähistamiseks ning iseendast pole võimelised loodust seletama. Seda ajajärgude vahetumist tajub selgesti ajaloolane, kes sirvib eksperimentaalfüüsika esiisa, suure itaallase Galileo Galilei töid. Ajalugu ei pea tõestatuks, et Galilei korraldas eksperimente oma väidete kontrollimiseks, kuid tähtis on see, et ta osutas nendele katsetele, mida võinuks selleks kasutada.

Galileil leiame kaasaja loodusteadusele iseloomuliku küsimuse püstitamise viisi: enne, kui nähtust seletada, tuleb seda kirjeldada.

Täiesti teadlikult jätab ta kõrvale küsimuse, miks üks või teine liikumine aset leiab. Teda huvitab küsimus: kuidas see toimub? Jutt pole mitte liikumise äraseletamisest, vaid kirjeldamisest. See kitsendus, mille Galilei ise teeb, kannab ajutist iseloomu. Talle on selge, et küsimuse liikumise põhjustest võib püstitada vaid pärast seda, kui faktid on ammendavalt kirjeldatud.

Mis puutub sõnademängu, siis selle võtte kõlbmatus seletusviisina on Galileile täiesti ilmne. Toome suurepärase katkendi tema kuulsast «Dialogist», kus vaidlejateks on Salviati, kelle suu läbi räägib Galilei, ja Simplicio, s. o. lihtsameelne, kes on Aristoteelse koolkonna esindaja. Oma vastast paljastades Salviati küsib:

«Mis on siis selle põhjuseks, et kehad püüavad langeda Maa poole?»

«Igaüks teab, et selle põhjuseks on kehade Raskus.» vastab Simplicio.

«Te eksite, sinjoore Simplicio. Oleks pidanud ütleva: igaüks teab, et seda põhjust nimetatakse Raskuseks.»

Ja edasi selgitab Salviati, et, andnud nähtusele nime, ei jõua me karvavõrdki edasi tema mõistmises. Ning siit järeldus – ärge mängige sõnadega.

Niisiis, Aristoteelse ehitatud sõnaloss oli purustatud. Selle asemele hakkas kerkima teaduse-, eelkõige mehaanikahoone. Saabus aasta 1687, ilmus geniaalse inglise füüsiku Isaac Newtoni teos «Natuurfilosoofia matemaatilised printsiibid». Selles on esitatud põhilised seadused, millele allub mis tahes kehade liikumine.

Mis tahes kehade? Tulevik näitas reservatsioonide vajalikkust. Ent järgneva 200 aasta jooksul kogunes väga palju tõendeid Newtoni seaduste erakordse täpsuse kohta. Ei tärgranud isegi mõtet Newtoni mehaanika piiratud kehtivusest, otse vastu-

pidi, kujunes kindel usk nende looduseaduste jumalikku õigsusse.

Mehaanikaseaduste avastamisele järgnesid suurepärased matemaatilised uurimused, mida sedamaid kasutati ära mehaanika ülesannete lahendamiseks. Uued ülesanded mehaanikas dikteerisid omakorda ülesandeid matemaatikale. Möödus üsna vähe aega, ja uurijad olid valmis vastama küsimusele, kuidas toimub keha liikumine. Selleks on vaid tarvis teada algtingimusi: kus oli keha antud momendil ja milline oli tema kiirus sel hetkel. Keha edasine saatus on teadlaste kätes – selle määravad Newtoni seadused, mis on rüütatud diferentsiaalvõrrandite vormi. Seadused ütlevad meile, millist kõverat mööda (ellips, parabool või mõni teine tee) hakkab keha liikuma. Kui teid huvitab liikumiskiiruse väärtus, siis, palun, öelge, millisel ajahetkel või millises trajektoori punktis te soovite seda kiirust teada, ning Newtoni võrrandid annavad vastuse sellele ja igale teiselegi küsimusele teid huvitava materiaalse osakese liikumise kohta.

Tõsi küll, esineb üks väike «aga». Et teha tulevikuprognose, on vaja andmeid jõuvälja kohta, milles keha paikneb. Kuid suur Newton andis peale kehade liikumisseaduste meie kättesse ka oma kuulsa gravitatsioonivälja valemi. See elegantne ja lihtne valem võimaldab välja arvutada vastastikuse mõju jõudusid kahe keha vahel, kui ainult on teada nende massid ja omavaheline kaugus.

Seepärast oli kõigi nende mehaaniliste ja matemaatiliste ideede esimeseks rakendusala muidugi taevakehade liikumine. Ja edu planeetide käitumise kirjeldamisel oli niivõrd hämmastav, et raske oli jääda pessimistiks ning kahelda Newtoni vaimusünnituse universaalses kehtivuses. Triumfiakordiks olid mõistagi Urbain Leverrier' arvutused. Nende arvutuste ajalugu on toodud paljudes populaarteaduslikes raamatutes. Kuid näide on liialt hea, et sellest vaikides mööda minna, ja pealegi hellitab autor lootust, et suur osa lugejast tutvub Leverrier'ga esmakordselt just selle raamatu lehekülgedel. Niisiis, kirjutati aasta 1845. Tolleks ajaks olid välja arvutatud kõigi planeetide liikumisteed. Arvutused ja astronoomilised vaatlused langesid oivaliselt kokku. Kõik planeedid asusid etteantud hetkedel täpisealt nendes taevapunktides, mida nõudsid arvutused. Kõik planeedid? ... Ei, mitte kõik. Tujutses Uraan: see kauge planeet ei kuuletunud Newtoni seadustele.

Kuid seda ei saa olla! Veendumus seaduste vankumatus õigsuses oli niivõrd tugev, see oli leidnud nii palju kordi kinni-

rust, et kahelda Newtoni seadustes tähendas kahelda teaduses üldse. Kuidas siis Uraani käitumist mõista?

Nähtavasti, arutles Leverrier, eksisteerib veel üks, seni märkamata planeet. Tema külgetõmbejõud ei sisaldu võrrandites. Kaugematele naabritele ta mõju ei avalda. Ent kui oletada, et tundmatu planeet asub kusagil Uraani naabruses, siis võib mõista, miks Uraan ei liigu tema jaoks väljaarvutatud orbiidil.

Võib püstitada ka vastupidise ülesande. Tuleb välja arvutada, mil määral kaldub Uraan kõrvale sellest teest, mis on talle diferentsiaalvõrranditega ette kirjutatud. Mõnesugustes punktides eemaldub Uraan väljaarvutatud trajektooriga vasakule, teistes – paremale. Ühes kohas kaldub trajektoor maksimaalselt kõrvale arvutatust, teises aga erinevad arvutus ja vaatlus õige vähe. Ent nende hälvete seaduspärasuste järgi võib ju kindlaks teha, kuidas tundmatu planeet liigub. Kui ta on Uraanile lähedal, siis on tema mõju tugevam, kui kaugel, siis nõrgem. Säärase täpse arvutuse teostaski Leverrier. Ta arvutas välja nähtamatu planeedi trajektoori ja näitas kätte, millistel ajahetkedel ning millistes taeva punktides tuleb seda otsida. Septembris 1846 avastati uus planeet ettearvutatud kohas. Planeetide pere täienes Neptuuniga.

Hinge võtab kinni, kui kirjeldad seda teadusliku ettenägemise suurepärasust. Ma kujutan ette seda vaimustustunnet, mis haaras looduseuurijaid – Leverrier' kaasaegseid, kui üle kogu maailma kõlas uudis: Leverrier' planeet on leitud! Mis puutub selle töö autorisse endasse, siis siin on minu kujutlusvõime jõuetu.

Pärast niisugust edu pole raske mõista piiritut usku Newtoni mehaanikaseaduste õigsusse.

Kuid mehaanika on vaid üks teaduse osa. Kas pole mitte vara loodusteaduse edusammudega uhkustada? Kui palju eksisteerib veel teist liiki nähtusi – optilisi, elektrilisi, magnetilisi ja muid. Ja ikkagi on mehaanika seadused üle kõige!

Niimoodi arutles rõhuv enamik looduseuurijaid. Mitmesugused nähtused erinevad üksteisest vaid jõuvälja iseloomult. Juba Newton andis hoopiski mitte halva jõudude klassifikatsiooni. Peale gravitatsioonijõu eristas ta magnetilisi, elektrilisi, optilisi, keemilisi ja kohesioonijõude. Ülesanne taandus vaid sellele, et tunda vastavate jõuväljade seadusi. Kui need on teada, siis edasi lubavad Newtoni seadused endiselt keha saatust ette määrata täpselt niisamuti, nagu nad võimaldavad ennustada planeetide käitumist gravitatsioonijõu mõjul.

Noh, aga jõudude päritolu?

Nii imelik, kui see ka pole, erutas see küsimus väheseid. Teatud rolli sellise huvi puudumises mängis arvatavasti teaduse vahekord religiooniga. Tõepoolest, olles vastamata jäetud, lubab see küsimus soovi korral alati täiendada skeemi jumalaga. Mõned mehaanikud (näiteks Maupertuis) püüdsid jumala olemasolu isegi tõestada viidetega mehaanika põhiprintsiipide matemaatilisele ilmekusele ja täiuslikkusele. Teised jälle väitsid, et jumala olemasolu hüpotees ei anna teadusele midagi juurde ning ei vii meid sugugi edasi jõudude loomuse mõistmisel (Laplace).

Kuid oli ka selliseid uurijaid, kes tahtsid jõudude riigis korda majja luua ning kõik jõud ühele põhjusele taandada.

Mõelda jõudude loomusest tähendab mõelda materia ehitusest. Demokraatliku maailm, mis koosnes osakekestest ja tühjusest, leidis palju poolehoidjaid. Newtoni mehaanika võimaldas asendada naiivsed konksukesed, mis pidavat aatomeid siduma, vahe-maa tagant mõjuvate gravitatsioonijõududega. Aatom hakkas tolle aja teostes figureerima kui kerakujuline keha. Arvati, et ainete omadused on kuidagi seletatavad nende nähtamatute kera-keste vastastikuse mõjuga.

Kuid XVII sajandi algul esitas Descartes teistsuguse univer-sumi geometria. Kõige aluseks on nähtamatu, kõikjale tungiv maailmaeeter. Tühjust pole olemas, kõik on täidetud eetriga või ka eetritega, sest peeti võimalikuks, et igal nähtusel on oma eeter: elektrilisel – elektriline, optilisel – valguseeeter jne.

Eetihüpotees seletas kehade kaugmõju. Nii gravitatsioon kui ka elekter mõjuvad suurepäraselt vaakumis, ilma igasuguse keskkonnata. Seda on raske uskuda, arvestades eriti veel seda, et elektromagnetilised mõjud, nagu seda tõestati XIX sajandil, ei levi silmapilkselt: üks keha tunneb teise lähenemist mitte hetkeliselt, vaid teatud hilinemisega. Selge, et mõju levib milleski ja see miski peab olema materiaalne kandja.

Faraday arendatud õpetuses elektromagnetilistest väljadest oli rahulik veendumus eetri olemasolus. Ehkki eeter ei figureerinud otseselt valemis, mis kirjeldasid elektri-, magnet- ja valgus-väljade käitumist, näis võimatu ilma selleta läbi saada ja tead-lased ei kahelnud eetri reaalsuses.

Mis on siis eeter? Võib-olla omapärane vedelik, mis viibib keeriselises liikumises; võib-olla ehk rahulik vedelik, milles pul-seerivad tihedamad kerad. Valgusnähtuste seletamiseks osutus vajalikuks oletada, et eetril on tahke keha omadused – temas võivad levida nihkelained (nihe on omane ainuüksi tahketele kehadele).

Ehkki polnud loodud ilusat, universaalset eetri mudelit, mis

oleks seletanud kõiki füüsikalisi nähtusi, ehkki polnud mingit selgust eetri vastastikustes suhetes aatomite ja molekulidega, oli siiski üsna kindel veendumus mingi üldise mehhanismi olemasolus.

XIX sajandi lõpus ilmusid Clausiuse, Boltzmanni ja Gibbsi tähelepanuväärsed tööd. Selgus, et rakendades mehaanika ja tõe-näosusteooria seadusi molekulide suurte kogumite (põhiliselt gaaside molekulide) kohta, võib väga hästi seletada kehade füüsikalisi omadusi. Need tööd kinnitasid jällegi veendumust, et maailm püsib kolmel vaalal – Newtoni mehaanika kolmel seadusel, mis määravad nähtamatute osakeste liikumise niisama edukalt ja niisamasuguse täpsusega nagu taevakehadegi liikumise.

Vähimategi lootuste puudumine maailma uurimiseks submikroskoopilises mastaabis nihutas mateeria ehituse probleemid tollal tagaplaanile. Neid probleeme käsitleti teataval määral kui filosoofilisi, metafüüsilisi, loodusteadusest eemal seisvaid küsimusi.

See on eriti selgesti näha taoliste lühinägelike filosoofide nagu Machi ja Ostwaldi avaldustest, kes nõudsid, et mateeria ehituse küsimused füüsikast välja heidetaks. Teadmiste puudumist eetri, molekulide, jõudude loomuse kohta ei käsitatud nähtavasti millegi niisugusena, millest füüsikal vajaka jääb.

Maailmapilt oli loodud: kehad ja osakesed liiguvad nii, nagu käsivad Newtoni seadused. Valemid, mis kirjeldavad vastastastikku mõjuvate kehade vahelisi jõudusid nende kehade omaduste ja omavaheliste kauguste kaudu, on teada. Jääb vaid nende jõudude matemaatilised avaldised diferentsiaalvõrranditesse panna, ning kõik füüsika ülesanded saavad lahendatud. Füüsika on põhiliselt lõpuleviidud teadusharu.

Valmistudes kirjutama seda peatükki, juhtusin ma lehitsema vana Brockhausi ja Jefroni entsüklopeediat. Köide, mis sisaldab artiklit «Soojus», oli ilmunud mitte just väga ammu, 1891. aastal. Artikli autor esitab kohusetruult termodünaamika seadused, soojuse mõõtmisviisid ja poetab mõne lause ka soojuse loomuse kohta: «Me oleme veendunud selles, et soojus on seotud aineosakeste mingisuguse liikumisega.» Alltekstist on täiesti selge, et liikumise loomust ei pea autor oluliseks, see nagu ei puutukski füüsikasse.

Sellisel positsioonilt lähtusid XIX sajandi lõpul paljud füüsikateoreetikud. Nad kuulutasid, et füüsika kui teadus on lõpule viidud. Ajalugu mäletab sellega seoses mitmeidki kurioosseid juhtumeid. Nii näiteks ei soovitanud Max Plancki õpetaja õpilasele end füüsikale pühendada.

«Kõik selles teadusharus on juba ära tehtud,» manitses ta Plancki, «hakake tegelema millegi muuga.»

Nõuannet kuulda võtmata sooritas Planck mõne aasta pärast oma kuulsa uurimuse kvantkiirguse alal, mis sai kaasaja füüsika aluseks.

Andekas ja tark füüsik lord Kelvin ütles ühel esinemisel: «Teoreetiline füüsika kujutab endast harmoonilist ja lõpuleviidud ehitust. Füüsika selges taevas on vaid kaks pisikest pilvekest. Ma arvan, et need kaks üksikküsimust lahendatakse peagi ning XX sajandi füüsikutele ei jää enam midagi teha.»

Teil on vahest huvitav teada, mis pilvekesed need olid. Tuleb Kelvinile au anda, et ta mainis just nimelt neid kaht ebameeldivust (ebameeldivust XIX sajandi füüsikute seisukohalt). Üks neist oli valguse kiiruse konstantsus, mille tegi oma katsetega kindlaks Michelson. Sellest pilvekesest kasvas välja relatiivsusteooria! Teine oli soojuskiirguse intensiivsuse sõltuvus lainepikkusest. Tolleaegne teooria nõudis, et lainepikkuse kahanedes, s. o. spektri violetse otsa poole minnes roniks intensiivsuse kõver ülespoole. Kuid katse viis «ultravioletsele katastroofile» – kõveral oli maksimum, mille ületamise järel hakkas ta lühemate lainepikkuste poole langema. See teine ebameeldivus viis kvantfüüsikani, kui Planck selgitas, milles asi on. Nii et Kelvin tabas päris hästi märki.

Nüüd on lugejale loodetavasti selge tolle aja juhtivate füüsikute täielik hämmeldus, kui XX sajandi algus rabas neid vapustavate avastustega. Nende pettumus oli niivõrd suur, et mõned neist (Lorentz) avaldasid kahetsust, miks nad üldse selle ajani olid elanud.

See oli hea õppetund, ja teaduse ajalugu peab meeles, kui võrd ohtlik on tõe lõplikule tunnetamisele pretendeeriva ajastu iseteadvus.

Vaatame nüüd, mis siis juhtus XX sajandil.

7. peatükk,

... millest selgub, et sõna «iseenesestmõistetav» tuleb kõrvaldada füüsika leksikonist. Üksiti seab autor endale eesmärgiks selgitada, mis tähendab «ära seletama».

Esimene rünnak tervele mõistusele

Füüsikateaduse hiilgav hoone, mis oli püstitatud XIX sajandil, ei ilutsenud kaua. Ta varises kokku 1905. aastal. See oli aasta, mil ilmus trükist inimgeeniuse üks hämmastavamaid vaimusünnitusi – relatiivsusteooria, mille loojaks oli 25-aastane Albert Einstein.

Mõnekümnel leheküljel olid rangeima matemaatilise loogika abil esitatud järeldused kahest aksiomist. Need hämmastavalt ootamatud järeldused purustasid seni eksisteerinud ettekujutused, lammutasid füüsika vundamendi. Uurimus rabas oma sügavusega, üllatas ebatavalise norimisega iga esimesel pilgul iseenesest mõistetavana näiva väite kallal. Võimatu oli end vabaks kiskuda Einsteini arutluste halastamatust loogikast, mis viis lugejaid nende sisemisele protestile vaatamata paradoksaalsetele tulemustele: järeldused tulenesid täie paratamatusega kahest aksiomist.

Imelik, et kumbki aksiom polnud tolle aja lugejale ootamatu. Einstein mõtles vaid esimesena sügavalt järele, millistele järeldustele viivad need kaks aksiomi koos võetuna.

Füüsika erinevatest osadest pärinevad aksioomid kohtusid esmakordselt ühes ja samas artiklis. Mis aksioomid need siis on? Esimene neist väidab järgmist:

Kui kaks vaatlajat liiguvad teineteise suhtes sirgjooneliselt ja ühtlaselt, siis on mõlemad täiesti ühesugustes tingimustes.

Nagu näete, pole mingit võimalust kindlaks teha, kes neist tegelikult liigub ja kes seisab paigal. Mõttetut on küsida, kes liigub «tõeliselt». Ei ole olemas sellist mõistet nagu absoluutne liikumine. Liikumine on suhteline, relatiivne!

See Galilei ajast hästi tuntud mehaanikaprintsiip väidab, et paigalolekut ei saa eristada ühtlasest sirgjoonelisest liikumisest. Ja see on üldiselt võttes kooskõlas «terve mõistusega»: igauks teab oma kogemustest, et suletud silmadega ei saa laeva või lennuki sujuvat liikumist eristada paigalseisust.

Teisiti on lugu teise aksioomiga. Kuigi asjaolu, et *valguse kiirus osutub ühesuguseks erinevate vaatlajate jaoks, sõltumata nende liikumisest* (see ongi teine aksioom), oli füüsikutele teada, käsitleti seda siiski kui mingisugust imelikku eksperimentaalset fakti, mis vajab veel arutamist. Einstein aga võttis ja kuulutas selle kummalise väite aksioomiks.

Kõne all oleva nähtuse avastasid Michelson ja Morley 1887. aastal. Uurijad seadsid endale ülesandeks võrrelda valguse levimise kiirust idast läände ja põhjast lõunasse. Selline võrdlemine sarnaneb kahe laboratooriumi mõõtmistulemuste kõrvutamisega, kus üks laboratooriumidest liigub koos meie planeediga, teine aga ei võta Maa ööpäevasest liikumisest osa. Katse näitas, et valguse kiirus on üks ja sama. Eksperimendi tulemus muutis arusaamatuks valgusekandja, kõikjale tungiva kaalutu eetri käitumise. Mitmesugused katsed lepitada Michelsoni eksperimenti XIX sajandi füüsikaga kestsid tagajärjetult kuni 1905. aastani. Einstein raius katki gordioni sõlme – kuulutas arusaamatu fakti printsibiiks, lähte-eelduseks. Seda nähtust tuli käsitleda looduse enda poolt meile antud faktina.

Kahe aksioomi ühendamise tähendas relatiivsuspriintiibi hoopis uut formuleeringut. See, mis on õige valguse kiiruse kohta, kehtib ka elektromagnetismi mis tahes teiste avalduste puhul. Seepärast, väitis Einstein, pole mitte mingisuguste füüsikaliste katsetega võimalik mingit üht süsteemi eraldada lõpmatu hulga üksteise suhtes ühtlaselt ja sirgjooneliselt liikuvate süsteemide seast. Kõik need süsteemid on täiesti samaväärsed.

Millistele järeldustele need kaks aksioomi meid siis viivad? Aastal 1969 Moskva ülikooli vastuvõetavad tudengid hakkavad neid järeldusi arvatavasti otse praktikas omandama. Õppejõud palub Mišat ja Petjat istet võtta kahes identses raketis, vajutab vajalikele nuppudele ja saadab nad õppereisile. Relatiivsusteooria olemuse väljaselgitamiseks on kõige lihtsam toimida järgmi-

selt: kosmosevagunid tuleb saata ühel sirgel vastassuundades; kummaski vagunis tuleb külgmistele vastasseintele kinnitada valgusalikas ja vastuvõtja. Enne ärasõitu kontrollivad Miša ja Petja hoolikalt oma kellasid ning häälestavad raadiosaatjad ja -vastuvõtjad.

Õppejõu esimene ülesanne kõlab niiviisi: mõõta kella abil aeg, mis kulub valguse levimiseks oma vaguni ühest külgseinast teiseni. Pärast seda, kui kiirendusmootorid välja lülitatakse ning vagunid lähevad üle ühtlasele liikumisele, asuvad üliõpilased aega mõõtma.

«Kõik on korras,» teatavad nad teineteisele ja õppejõule, «anname edasi tulemused.»

Arvud langevad kokku: aeg Miša kella järgi, mõõdetud Miša poolt, ning aeg Petja kella järgi, mõõdetuna Petja poolt, voolab ühtviisi. Teisiti ei saagi olla, sest vagunid on ju täpselt ühesugused ning katsed samaväärsed.

Teine ülesanne: mõõta sama aega, kuid võõral kosmoselaeval. Nüüd mõõdab Miša valguskiire levimisega Petja laeval ja Petja määrab samasuguse sündmuse kestuse Miša laeval. Mõõtmistel on nüüd loomulikult teine iseloom. Mõõdetava aja-intervalli alg- ja lõppmomente saab võõrale laevale edasi anda raadiosignaali abil. Miša mõõdab aega Petja poolt saadetud raadiosignaali saabumise vahel, Petja aga mõõdab ajaintervalli Miša poolt saadetud raadiosignaali vahel. Nüüd mõõdab Miša aega, mis kulub Petja kella järgi, Petja aga omakorda aega, mis kulub Miša kella järgi. Mõõtmised annavad teistsuguse tulemuse kui enne: mõlemad tudengid saavad jällegi võrdsed arvud (mõõtmistingimused on ju sümmeetrilised), ent need tulevad veidi suuremad kui esimesel mõõtmisel. Kui aga üliõpilased sooritavad oma raketisõitu erinevates tingimustes, siis teevad nad katseliselt kindlaks järgmist. Vaatleja jaoks, kes on antud sündmuse suhtes liikumatu, omab sündmuse ajaline intervall teatud iseloomustavat väärtust. Liikuvad vaatlejad saavad sama sündmuse kestuse jaoks pikemaid ajavahemikke, ning seejuures seda pikemaid, mida kiiremini nad liiguvad.

Tuleb välja, et aeg on relatiivne suurus. Aja mõõtmise tulemus sõltub mõõtja liikumisseisundist mõõdetava sündmuse suhtes.

«Kuid see eksperimendi tulemus on range järeldus Einsteini aksioomidest,» selgitab Miša Petjale (või Petja Mišale; me jätame neile nende sümmeetria). «Pane tähele, et valguskiir läheb risti läbi vaguni vaid sel juhul, kui me jälgime oma kiirt. Jälgides aga võõrast vagunit, märkame, et valgusalikast vastuvõtjani

levides läbib kiir pikema vahemaa. See võrdub teatud kolmnurga hüpotenuusiga. Kolmnurga üheks küljeks on teepikkus, mille võrra võõras vagun edasi liikus, senikaua kui valgus levis selle vaguni vastasseinas oleva vastuvõtjani, teiseks küljeks aga vaguni laius. Kuid valguse kiirus on meie mõlema jaoks üks ja sama, valguskiirte poolt läbitud teepikkused aga erinevad. Tähendab, ajavahe-
mik, mille jooksul valgus läbis vahemaa allikast vastuvõtjani omas vagunis, on oma vaateleja jaoks väiksem (valgus läbis lühema vahemaa – risti vaguniga) kui võõra vaateleja jaoks (võõras vagunis, nagu meile näib, levis valguskiir piki hüpotenuusi). Aga see just ongi see, mida me sinuga katseliselt jälgisime,» teeb järelduse Miša (või Petja).

Pärast seda lähevad meie tudengid rahulikult lõunastama, laskmata end üldse häirida saadud tulemuse revolutsioonilisusest.

Kuid Einsteini avastuse kaasaegseilt nõudis selle järelduse omaksvõtmine suurt pingutust.

«Aeg ei ole absoluutne!»

«Aeg sõltub vaateleja liikumisest!»

«Üks ja sama protsess kulgeb erineva kiirusega, kui seda jälgida erinevatest kohtadest!»

Kõik need ühe ja sama fakti formuleeringud näisid ebatavalised, kummalised, tervele mõistusele vastu käivad. Eriti ebatavaline oli nõustuda järeldusega, mis tulenes vaatelejate sümmeetriast: kumbki vaatejaist saab omaenda sündmuste mõõtmisel väiksemad arvud. Nii näiteks Miša teatab Petjale: minu valgussignaali kulub kogu teepikkuse läbimiseks 1 mikrosekund, sinu signaalil aga 1,1 mikrosekundit; kuid Petja teatab omakorda Mišale: minu valgussignaali kulutas tee läbimiseks 1 mikrosekundi, sinu signaal aga 1,1 mikrosekundit. Et paradoks selgem oleks, võib seda sõnastada nii viisi: Miša teeb kindlaks, et taha jääb Petja kell, Petja aga leiab, et taha jääb Miša kell.

Aga kas pärast Miša ja Petja tagasipöördumist nende õppeisilt kosmosesse ei saaks välja selgitada, kelle kell siis on tegelikult maha jäänud? Kellad võrrelda ju muidugi võib, kuid see moodus ei kõlba erirelatiivsusteooria järelduse kontrollimiseks, meie aga käsitleme siin just nimelt seda relatiivsusteooria osa. Ülaltoodud järeldus kuulub *ainult* sellele teooriale, mis käib *ainult* ühtlase sirgjoonelise liikumise kohta. Sellise liikumise korral võivad vaatelejad kohtuda ainult üks kord ning kellade käiku saab kontrollida üksnes raadio teel.

Aga mis tuleb ikkagi välja, kui võrrelda Miša ja Petja kella-

sid pärast reisilt naasmist? Kas kellad näitavad üht ja sama aega või on üks neist ette käinud? Osutub, et sellele küsimusele vastamiseks on vaja täpselt kirjeldada, kuidas toimus mõlema kosmonaudi liikumine tähistaeva suhtes.

Üks juht pakub erilist huvi. Oletame, et kusagilt punktist siirdus kaugele reisile kosmoserakett ning pöördus teatud aja pärast samasse kohta tagasi. Stardi eel seati kellad raketil ja kosmodroomil täpselt ühte. Teine kontrollimine toimub pärast raketi naasmist. Saab rangelt tõestada, et kosmodroomi kell näitab rohkem. Kui kosmosereis on väga kiire (toimub valguse lähedase kiirusega), siis mööduvad raketil aastad, samal ajal kui kosmodroomil võivad mööduda aastakümned või isegi aastasadajad.

Ent nendel huvitavatel järeldustel pole meil võimalik üksikasjalikult peatuda. Tahaksin vaid rõhutada seda, et range füüsikaline arutus, mis põhineb vaieldamatuil aksiomidel, viis uutele vaadetele sellise fundamentaalse mõiste kohta nagu aeg. Osutus, et ajavahemik on suhteline suurus, s. o. ühe ja sama sündmuse toimumise kestus on erinevatelt seisukohtadelt vaadelduna erinev.

On selge, et juba ainuüksi sellest relatiivsusteooria järeldusest piisab, et «tervet mõistust» ärritada ja pahandada. Kuulanud minu jutu kannatlikult ära, astub «terve mõistus» vestlusse.

«Mis jama see on: ühelt seisukohalt, teiselt seisukohalt? See käib ju vastu tervele mõistusele. Aga kui palju siis tegelikult aega möödus?»

«Kui palju – niimoodi ei tohi üldse küsida.»

«Noh, kas teate! Kuidas nii – ei tohi? Lollus!»

«Aga lubage, on ju ometi palju asju, mille kohta ei saa küsimust esitada. Ütleme, te olete ju nõus, et mõttetü on küsida, milline linn on lähemal, kas Leningrad või Pariis. Meile, Moskva elanikele on Leningrad lähemal kui Pariis, seevastu Marseille elanikkond ei kahtle, et Pariis on neil külje all, Leningradini aga jääb hea tükk maad.»

«Noh, see on hoopis teine asi.»

«Teine? Ei, üsnagi sarnane. Küsimusele, mis ei oma mõtet, ei saa vastust anda.»

«Aga mispärast küsimus, kui palju aega möödus tegelikult püssilasu ja märkitabamise vahel, ei oma mõtet? Aeg on ju . . .»

«Jah, palun, aeg on ju . . . Te vist tahtsite öelda, mis on aeg?»

«Aeg – see on ju . . . ah, ärge küsige tühje asju, igaüks teab, mis on aeg . . . Noh, lõppude lõpuks, aeg on see, mida mõõdetakse kellaga.»

«Suurepärane, täiesti õige. Paremat vastust pole meile vajagi. Sellest ma ju alustasingi oma seletust. Ma palusin teid vaid sellele tähelepanu pöörata, et igaüks kannab oma kella endaga kaasas ning seetõttu võib hõlpsasti arvestada omaenda aega. Aga vaat võõrast aega...»

«Oma aeg, võõras aeg... Ei taha see mulle kuidagi pähe mahtuda. Aeg on kõigil üks.»

«Oeh! Kuidas siis üks? Esimesel reisijal on oma kell, teisel oma ning kui nad tahavad oma kellasid võrrelda, siis üks neist peab teisele signaali saatma. Ma ju seletasin teile: üks vaatab, kui palju aega kestab mingi sündmus tema kosmoselaeval oma kella järgi, teine aga – see, kes liigub – saadab signaale selle kohta, kui palju näitas tema kell samasuguse sündmuse algul ja lõpul. Niiviisi jõudsimegi järeldusele, et oma kella järgi võõral kosmoselaeval mõõdetud ajaintervallid sündmuste vahel osutuvad pikemaks kui omal laeval.»

«Teie räägite kogu aeg muudkui kelladest, mina aga ajast. Aeg on ju...»

«Mis, aeg on ju? Te ju nõustusite, et aeg on see, mida mõõdetakse kellaga.»

«Ei, ei, ärge ajage mind segi, palun. Ma tunnen, et siin on midagi viltu. Ei mahu see mulle pähe, ja kõik.»

Jah, raske on võidelda terve mõistuse vastu. Vaielda sellega, kes heidab kõrvale range arutluste loogika vastuvaidlematult omaksvõetud «tõdede» kasuks, on niisama hea kui vasikaga võidu joosta. Aga tuhanded füüsikud, kes olid kontrollinud Einsteini arutluste loogikat ega leidnud selles vähimatki mõra, haarasid endastki mõista kohe kinni relatiivsusteooria järeldustest, täis imetlust, vaimustust ja austust analüütilise mõistuse jõu vastu.

Ent terve mõistuse pooldajad avaldasid veel pikki aastaid oma nõrdimust ja meelepaha ning nõudsid «muid tõendeid» (hämmastav, et nende hääli kostab aeg-ajalt veel praegugi). Aga neid «muid tõendeid» oli küll ja küll. Neid tuli päris loendamatu hulgal tükk aega hiljem – siis, kui füüsikud hakkasid töötama osakestega, mis liiguvad valguse kiirusele lähedase kiirusega.

Ma peatusin vaid ühel teooria järeldusel, mis käib ajavahe-
mike kohta. Kuid sama rangelt tulenesid relatiivsusteooria põhi-
postulaatidest ka teised revolutsioonilised järeldused. Nende seas on ka järeldus osakese massi kasvamisest osakese kiiruse suure-
nedes ning järeldus energia ja massi ekvivalentsusest.

Kõige lihtsam on eksperimentaalselt kinnitada osakeste massi kasvamisest. See tehti juba ammu kindlaks elektronide jaoks.

Ekvivalentsuse seaduse kontrollimine sai aga võimalikuks alles siis, kui füüsikud hakkasid tegelema tuumamuundumistega ning Einsteini võrrand sai kõigi tuumareaktsioonide arvutamise aluseks. Kõige hiljem õnnestus vahetult laboratooriumis kontrollida ka ajaintervallide pikenemist liikuva osakese jaoks.

Muide, juba palju aastaid ei vaata ükski füüsik (välja arvatud väga harvad erandid) nendele eksperimentidele kui teooria kontrollimisele. See teooria on omandanud üldise, tingimusteta tunnustuse ning muutunud füüsikute igapäevase töö aluseks.

Kuid relatiivsusteooria tähtsus füüsikas ulatus kaugemale uue looduseaduse avastamisest. See teooria muutis aegamisi ümber loodusteaduse vallas töötavate teadlaste psühholoogia. Füüsikud hakkasid äärmiselt ettevaatlikult suhtuma terve mõistuse avaldustesse. Nad hakkasid harjuma iga objektiivsele tähendusele pretendeerivat fraasi kõigekülgsest «läbi katsuma». Nad hakkasid kartma sõnu, tühje sõnu, mille taga midagi pole. Neile sai selgeks vajadus eemaldada teadusest Aristoteelse vaimu pismadki jäljed.

Ajaparadoksi näite varal mõistsid füüsikud, et iga mõiste, mis figureerib nende võrrandis, peab kas vastama küsimusele: «Aga kuidas seda mõõta?» või siis olema funktsionaalsete sõltuvuste kaudu mõõdetavate suurustega seotud.

Kui on öeldud, mil viisil saab antud suurust mõõta või välja arvutada, siis sellele pole enam midagi lisada. Loodus on objektiivne, s. o. ta eksisteerib looduseuurijast sõltumata, seevastu aga füüsikalised suurused on esitatud ja kasutusele võetud loodusevaatlejate poolt, selleks et loodust võimalikult paremini kirjeldada.

Aegamööda, ehkki palju aeglasemalt, kui toimus teaduse areng, hakati õpikuist kõrvaldama tühje definitsioone, sisutuid sõnade kombinatsioone, määratlusi, mis löid mulje, et sõna taga on midagi peidus, et sõna omab sisemist mõtet, mida tuleb avada.

«Mis on jõud?» pärib õpetaja.

«Jõud – see on füüsikaline suurus, mida mõõdetakse vedru väljavenimise järgi,» vastas koolipoiss ega vastanud hoopiski mitte halvasti.

«Ei-ei,» käib õpetaja peale, «te ütlesite, kuidas jõudu mõõta. Mina aga küsin, mis on jõud ise?»

«Jõud – see on... see on surve, see on mõju, see on liikumise põhjus,» nämmutab õpilane, tuletades meelde, mis oli kirjutatud õpikus.

«Hästi,» rõõmustab õpetaja.

Tegelikult aga oli hea just esimene vastus. Kõik muu kujutab endast sisutuid, tühje sõnakõlke.

Pärast relatiivsusteooria antud õppetundi muutusid füüsikalised arutlused võrratult selgemaks ja rangemaks. Füüsikalise nähtuse seletuskeem omandas palju selgemad jooned.

Mul on mitmel korral tulnud haridusministeeriumi palvel viibida kooliõpilaste füüsikaeksamil. Kui juhtus küllalt tugev õpilane, palusin õpetajalt luba esitada talle mõned küsimused.

«Mis sünnib vaskvardaga, kui seda kuumutada?»

«Varras paisub,» vastas eksamineeritav, kahtlustades, kas selles lihtsas küsimuses pole äkki mõnda riugast.

«Mispärast?»

«Kõik kehad soojendamisel paisuvad.»

«Suurepärane, aga miks?»

Õpilane jäi mõttesse.

«Aatomid liiguvad keha soojendamisel kiiremini, selle tagajärjel nad justkui lähevad rohkem laiali, keskmised kaugused nende vahel kasvavad ning järelikult ka keha mõõtmed suurenevad.»

«Väga kena,» siin tegin ma väikese pausi, «aga ütelge, miks aatomid hakkavad soojendamisel kiiremini liikuma?»

Hämmeldus. Vaikus. Õpilane saadab abituid pilke õpetaja poole, vaates sõnatu etteheide: «Sellest ju sa meile ei rääkinud!» Õpetaja on samuti ebameeldivalt riivatud: «Oli sind siia vaja oma riikalise küsimusega – miks aatomid liiguvad kiiremini! Aga kes seda teabki, miks.»

Ja ainult üks õpilane kümnest vastas imestunult õlgu kehitates:

«Aga osakeste liikumiskiiruse kasvamine temperatuuri tõusuga on ju looduse põhiseadus.»

Oige, kallid poiss! Ainult seda ma sult kuulda tahtsingi. Sa mõistsid õigesti, et nähtuse seletamise füüsikaline skeem seisab üksiku taandamises üldisele, selle loogilises näitamises, et antud nähtus on looduse üldise seaduse erijuht. Looduse üldine seadus aga on seletuse tänane lagi. Seepärast ta niisugust nime kannabki, et teda pole võimalik millestki tuletada. Aga kui pole võimalik tuletada, siis, tähendab, ei saa ka ära seletada. Mõistagi võib selline olukord olla ajutine, seletuse lagi omab tendentsi tõusta teaduse arenedes. See, mis täna paistab looduse üldise seadusena, võib mõne aasta pärast osutada järelduseks äsja avastatud veel üldisemast loodusseadusest, mille suhtes vana seadus on vaid erijuht. Nii oli lugu Newtoni liikumissea-

dustega. Pärast Einsteini avastust vaatame Newtoni võrranditele kui liikumisseaduste erijuhule väikeste kiiruste korral.

Einsteini võrratu saavutus viis ka teooria osatähtsuse sügavamale mõistmisele loodusteaduses. Kui me varem oleksime füüsikult küsinud, mis on teooria eesmärk, siis kõige tõenäolisemalt oleks ta vastanud, et teooria eesmärk on «selgitada nähtuse loomust, saada nähtusest selgemat pilti, selgitada selle mehhanismi, saada näitlikku ettekujutust nähtusest». Ma arvan, et praegu kuuleksime sellist udust vastust vähemuselt. Taolisele küsimusele järgneb nüüd selgem – ja kui tahate – uhkem vastus: «Teooria eesmärk on nähtusi ennustada.»

Looduse kohta käivate ettekujutuste näitlikkus, mudellikkus, midä nii kõrgelt hinnati XIX sajandil, mil füüsikud püüdsid paberil kujutada nähtamatu eetri keerisliikumist, mis pidi valguse ja elektri loomust «seletama», osutus alusetuks. Relatiivsusteooria ei pakkunud mahamaetud eetri asemele mingit uut mehaanilist mudelit ja ometigi olid selle teooria jõud ning võimsus vaieldamatud – ta võimaldas ette aimata tervet rida väga tähtsaid nähtusi, mille vaatlemise võimalikkusest polnud tollal veel kellelgi vähimatki ettekujutust.

Mõelge selle üle hästi järele. Kas see pole suurepärane, et inimmõistus välistab juhuslikkuse, lubab ette näha alles toimumata sündmuste lõpptulemust! Kas see pole toosama võim, mida religioon omistab üksnes jumalikule jõule! Loodusteadusel pole teist kõrgemat eesmärki maailma tunnetamise püüdlustes kui tuleviku ettenägemine.

Ent mitte üksi relatiivsusteooria ei kujundanud kaasaegset füüsikalist mõtlemist. Tohutut osa mängisid samuti vapustavad avastused aatomite maailmas.

8. peatükk.

... milles jutustatakse, kuidas terve mõistus osutuks lõplikult häbistatuks elektronide liikumiseaduse avastamise tulemusena.

Kapitulatsioon

Küsimuse «Mis seal sees on?» püüab laps lahendada, murdes pooleks armsaima mängukanni. Nähtavasti säilib see huvi inimesel kogu eluks. Nii viisi vähemasti püüan ma seletada seda suhteliselt suurt teadmishimu, mida laiad hulgad ilmutavad aine struktuuri vastu.

«Ütelge, millest koosneb molekul? Jaa, jaa, mul tuleb meelde – aatomitest. Noh, aga näiteks vee molekul, kuidas see on ehitatud, kas võiks teada saada?»

«Olge lahked, vaadake joonisele. Hapniku aatom on keskel ja kaks vesiniku aatomit tema külgedel.»

«Hämmastav, ja peasi, kui lihtne; ning teadus suutis kindlaks teha, et kolm aatomit ei asu ühel sirgel! Nüüd ma kujutan täiesti selgesti ette, kuidas vee molekul on ehitatud. Aga millest koosneb aatom? ...»

XX sajandi alguses kasutasid füüsikud Rutherfordi poolt esitatud aatomimudelit. Aatom koosneb positiivse elektriga laetud tibatilukesest tuumast, mis asub aatomi keskel, ning selle ümber tiirlevatest elektronidest, mille hulk vastab parajasti elemendi järjenumbrile Mendelejevi tabelis.

«Mõelda, kui lihtne,» olid liigutatud tolle aja lugejad. «Mee-
nutab planeetide süsteemi.»

Aineosakeste purustamine jätkus. Füüsikud jõudsid järjega

ka aatomituuma juurde. Osutus, et see koosneb neutronitest ja prootonitest.

«Vapustav,» rääkisid hämmastunud lugejad. «Aga lubage küsida, kas tuum on ka midagi planeetide süsteemi taolist?»

«Ei, ei,» vastasid füüsikud. «Tuuma võite ette kujutada... noh, ütleme, nagu hernerteri alustassil. Selge?»

«Noh, muidugi. See on ju nii lihtne,» imestas lugeja, «kõik on täiesti selge.»

Riistade võimsust järjest suurendades jätkasid füüsikud osakeste muundumiste uurimist nende kokkupõrgetel. Meie sajandi keskpaiku oli kogunenud juba küllaldaselt katseandmeid, et vastata teadusehuviliste järelejätmatutele küsimustele.

«Aga prooton ja neutron – millest need on ehitatud?»

«On kindlaks tehtud, et prooton muundub neutroniks ja positroniks,» vastasid füüsikud.

«Väga huvitav. Tähendab, prooton koosneb neutronist ja positronist?»

«Üks hetk,» lausus füüsik, «niiviisi siiski öelda ei või. Katsed nimelt näitavad, et neutron muundub prootoniks ja elektroniks.»

«Kuidas, kuidas? Ma nagu enam ei mõista. Kuidas siis ikkagi on: kas prooton on neutroni osa või neutron on prootoni osa?»

«Õige pole ei see ega teine,» teatas füüsik. «Prooton ja neutron on elementaarosakesed ning nende iseärasusi iseloomustavad muundumisseadused.»

«Hm... Mõistan,» pomiseb XX sajandi lugeja ebalevalt. «Küllap see vist niiviisi on, aga siiski pole asi päris selge. Oli jutt, et see osake on elementaarne. Aga mis elementaarne ta siis on, kui ta võib muunduda? Ja siis veel see prooton neutronis ja neutron prootonis. Üldiselt enne oli pilt selgem, praegu aga on midagi viltu. On vaja edasi uurida...»

Senikaua kui struktuuripilte saab paberile joonistada, ei paku füüsika niinimetatud mõistmine vähimatki vaeva. Mõnikord võib paberile mitte joonistadagi: piisab, kui viidata tuttavale kujundile (nagu hernerterad alustassil!) või tuntud faktile ja öelda, et ka siin on lugu täpselt niisamuti. Ning kuulaja näole ilmub täieliku rahuldatusel ilme – ta sai kõigest aru. Meie kadunud füüsik Jakov Iljitš Frenkel rääkis tihti: «Pole olemas arusaamatut, on olemas harjumatu.» Ja see on sulatõsi.

Neljakümnendate aastate lõpus omandasin avaliku lektori kuulsuse.

«Olge hea, pidage populaarne loeng aatomienergiast. Mis nähtus see on?» paluti mind ühtejärke.

Pärast mitmeid loenguid, kus ma püüdsin tuumaplahvatust

siduda Einsteini ekvivalentsusseadusega, mõistsin, kui raske on kuulajail minu seletuste põhjal materjali omandada. Tuli muuta esitusmaneeeri. Loengut alustasin küsimusega: «Kas kõik teavad, et puud annavad põlemisel sooja?» Saal noogutas heasüdamlikult pead.

«Soojuse eraldumine on põlemisel toimuva keemilise reaktsiooni tulemus,» jätkasin mina. «Hapniku molekulid põrkavad kokku kütuse molekulidega, vanad molekulid purunevad, moodustuvad uued.»

Edasi seletasin, et uued molekulid liiguvad kiiremini kui vanad. Ja selles ongi kogu asi. Sest soojus on ju seotud molekulide liikumise kiirusega.

«Tähendab, on selge, miks põlevad puud annavad soojust?»

Saal kinnitas täielikku mõistmist. Kuidas põlevad puud, on igaüks näinud; teadus seletas ära, et nii peabki olema. Tähendab, kõik on korras. Ma läksin edasi.

«Niisiis, aatomienergia vabanemine ei erine millegi poolest keemilise energia vabanemisest. Ainult esimesel juhul põrkavad kokku molekulid, teisel aga aatomituumad.»

Niisugusel manöövril, kus ma püüdsin senitundmatut selgitada kõigile hästi tuntud näite varal, oli sajabrotsendiline edu. Uus taandati tavalisele. Selgitati mitte uut, vaid seda, millega oldi harjunud, kusjuures seletuse ülekandmist teisele objektile, viidates täielikule analoogiale, võeti vastu kui midagi täiesti endastmõistetavat.

Ent me kaldusime teemast kõrvale. Meil oli juttu sellest, et füüsikute saavutusi aine ehituse osas sai populariseerida üsna hõlpsalt, sest need olid suurepäraselt kooskõlas terve mõistusega ja interpreteeritavad lihtsate jooniste ning mudelite abil. Selle kinnituseks toome niisuguse fakti. Sõjajärgsetel aastatel kirjutasin ma populaarse brošüüri «Aine ehitus», mis müüdi läbi peaaegu miljonilises tiraažis. Toimetus sai lugejatelt liigutavaid kirju. Üks neist oli kolhoosi vanemlõpsjalt.

«Kallis professor,» kirjutab ta, «lõunavaheaegadel loeme teie raamatukest. Kõik on kirjutatud nii selgelt ja arusaadavalt, et me saime hästi aru, millest koosnevad aineosakesed.»

Tähendab, aine ehitust seletada polnud raske. Hoopis teisiti on lugu katsega populaarselt selgitada osakeste liikumisseadusi. Need seadused avastati peaaegu nelikümmend aastat tagasi ja viisid kaasaegsed täielikku segadusse. Põhjus oli lihtne: pole olemas analoogiat, mille abil saaks luua ettekujutust elektroni liikumise iseloomust. Pole midagi tuttavat, harjumuspärast, millele võiks viidata.

Materia nähtamatute mikroosakeste liikumise iseloomu püüti mõista, lähtudes igapäevase elu kogemustest. Meie ettekujutused liikumisest on ammendatud kahe võimaliku variandiga. Esimene neist – osake liigub nagu tilluke herneterake: igal järgneval ajahetkel läheb ta ühest ruumpunktist teise. Me oleme kindlad, et sellist liikumist on võimalik pildistada; fotoplaadil tuleb nähtavale jälg – osakese trajektoor. Teine variant – me ei näe üksikute osakeste liikumist, vaid jälgime pideva keskkonna liikumist (suurepäraseks näiteks on merelained).

Kuni 1925. aastani polnud kahtlust, et materia liikumine – olgu jutt valgusest, raadiolainetest või elektronidest – võib olla vaid kahesugune, esineb ükskõik kumb neist variantidest, sest kolmandat pole ju võimalik endale ette kujutada. Ja tõesti – ette kujutada pole võimalik. Kuid ilmses, et elementaarosakesed käituvad kord kui herneterakesed, teine kord aga kui pidev, katkematu materia. Elementaarosakestele ei saa üle kanda liikumiseseadusi, mis on laenatud suurest maailmast – makromaa-ilmast.

Kuni 1925. aastani kõlas aksioomina, et osakese liikumise kirjeldamine tähendab trajektoori näitamist, mida mööda osake liigub, ning kiiruse määramist trajektoori igas punktis. Kuid osutus, et elektroni ja teiste elementaarosakeste jaoks on seda võimatu teha.

Elementaarosakeste põhilise liikumiseseaduse (mis pole küll kõikehõlmav, ent kehtib väga laia sündmuste klassi kohta) esitas austria füüsik Erwin Schrödinger. Laine- ehk kvantmehaanikaks ristitud uue teadusharu lähtetes kõlas ebaharilikult. Vastupidi klassikalisele mehaanikale ei määra välisjõudude etteandmine osakese trajektoori ja kiirust. Uue mehaanika seadus lubab üksnes välja arvutada osakese ühes või teises kohas viibimise tõenäosuse.

Esimesel pilgul võib paista, et mingeid revolutsioonilisi järeldusi füüsika sellest ei saanud. Lihtsalt lainemehaanika on kehv teooria ega võimalda elektroni mehaanilist liikumist täpselt välja arvutada. Kuid tegelikult pole asi hoopiski nii.

Veidi hiljem õnnestus näidata, et Schrödingeri võrrand kirjeldab ammendavalt elektroni käitumist. Need andmed aga, mida ei saa põhimõtteliselt välja arvutada, pole ka põhimõtteliselt katselisel teel mõõdetavad. Näiteks niipea kui te püüate elektroni täpselt «vaadelda», tõukate ta oma trajektooriga kõrvale. Aga see, mis ei allu mõõtmisele ja väljaarvutamisele, – seda lihtsalt pole olemas. Tuli nõustuda, et sellist mõistet nagu elektroni trajektoor üldse ei eksisteerigi.

Kui trajektoori pole olemas, kuidas siis elektroni liikumist kirjeldada? Osutub, et on võimalik välja arvutada ja ära mõõta vaid elektroni viibimise tõenäosus selles kohas, mis meid huvitab. Kui jutt on aatomituuma ümber tiirlevast elektronist, siis pole võimalik joonistada orbiiti, millel ta liigub, kuid see-eest võib viirutada rõngakujulise piirkonna, mille sees võib elektroni leida šanssidega 99:1 või 999:1 (viimasel juhul tuleb rõngas laiem).

Määramatus, millega saame teada elektroni asukoha, teeb kindlaks täpsuse, millega on võimalik välja arvutada tema liikumiskiirust. Saksa füüsik Werner Heisenberg näitas, et osakese koordinaadi ja vastava kiiruse määramatuste korrutis on võrdne teatud kindla arvuga – Plancki konstandiga –, jagatud osakese massiga. Seega, mida täpsemalt on teada kiirus, seda ähmasemad, laialivalgumad on andmed osakese asendi kohta ning ümberpöördult.

Võib siiski näida, et jutt on kõigest elektroni liikumise ebatäielikust kirjeldamisest: trajektoor on tal kindlasti olemas (ei või olla, et see puuduks, veenab meid terve mõistus), aga füüsikud pole lihtsalt veel õppinud seda korralikult arvutama ega mõõtma.

Et niisuguse arvamuse paikapidamatust näidata, peab esitama vastava katseskeemi kirjelduse. Kujutlege kahe piluga ekraani. Ekraanile on suunatud elektronide voog. Osa elektrone läheb läbi pilude ja satub ekraani taha asetatud fotoplaadile. Teeme kaks fotot: esimese, kui üks piludest on kinni, ja teise, kui mõlemad pilud on lahti. Kõrvutades kaht ülesvõtet, näeme teisel neist tumedate ja heledate triipude keerulist süsteemi – just nagu oleks ühte kohta elektrone sattunud, teise aga mitte. Hernetarkestena käituvate elektronide puhul on see täiesti arusaamatu pilt. Kuid edasi on asi veel hullem. Pöörakem tähelepanu vaid ühele üksikasjale: ühe piluga tehtud fotol võime leida sellise koha, kuhu elektronid kahtlemata sattusid, aga sama koht kahe piluga tehtud fotol osutub elektronidest puutumatuks. Näib lausa imena. Teise pilu avamine peaks ju viima täiendavate elektronide lisandumisele ja mitte mingil juhul negatiivi tumenemise kadumisele.

Vaadeldav katse välistab kategooriliselt võimaluse kujutada elektrone osakestena, mis omavad trajektoori. Kuidas lugu siis on? Selgub, et nähtus on kergesti seletatav, kui teha oletus, et elektronid on ... lained. Sel juhul ühe laine hari, sattudes teise laine nõo kohale, võib anda tulemuseks nulli, kuigi eraldi mõjumise korral võib kumbki laine tekitada teatud kindla efekti.

Tuleb nõustuda sellega, et ettekujutus elektronist kui trajek-

tooriga osakesest (ning sama käib ka teiste elementaarosakeste kohta) on vastuolus eksperimendiga.

Küsimusele – millisel määral ja missugustes katsetes ilmutab elektron kord oma lainemadusi, kord jälle sarnasust herne-teraga – annab ammendava vastuse Schrödingeri võrrand.

See võrrand seletab ära tohutu hulga väga keerulisi eksperimentaalseid fakte. Tema abil ennustatakse kõige keerukamaid sündmusi elementaarosakeste elus. Ükski füüsik ei kahtle selle looduseaduse kehtivuses.

Kvantmehaanika seadus kuulutab osakeste lainelis-korpuskulaarse dualismi aksioomiks. Tõsi küll, tuleb meeles pidada, et me rääkisime teaduse lae ajutisest iseloomust. Täiesti võimalik, et tänased aksioomid osutuvad järeldusteks seni veel avastamata üldisematest looduseadustest.

Üks teravmeelne argument selle kasuks, et lainemehaanika seadus on ajutiseks laeks, kuulub, kui ma ei eksi, kaasaja ühele silmapaistvaimale füüsikule, inglasele Paul Diracile.

Elementaarosakeste käitumist määravates põhiseadustes esinevad kolm fundamentaalkonstanti – need on valguse kiirus, elektroni laeng ja Plancki konstant, millest äsja juttu oli. Kui Plancki konstant korrutada valguse kiirusega ning jagada elektroni laengu ruuduga, saame dimensioonita arvu 137. (Dimensioonita tähendab sõltumatu mõõtühikute valikust.) Miks see suhe on võrdne nimelt 137-ga, aga mitte mõne teise arvuga? Sellele peab vastuse andma tulevane teooria. Aga kui ta seda teeb, siis kolme fundamentaalkonstandi asemel saab neid olema vaid kaks. Teooria, mida me kannatamatult ootame, peab automaatselt andma ühe konstandi väärtuse ülejäänud kahe kaudu.

Tundub kõige loogilisem, et selleks kolmandaks, tuletatud konstandiks osutub Plancki konstant (ma ei hakka siin tooma argumentatsiooni, mis üldiselt on üsna meelevaldne). Ent Plancki konstant, mis määrab selle piirtäpsuse, millega saab üheaegselt kindlaks teha osakese koordinaati ja kiirust, on määramatuse printsiibi aluseks. Järeldus toodud arutlusest on selline: tulevane teooria saab läbi ilma Heisenbergi printsiibita ning, tähendab, muudab meie arusaamasid lainelis-korpuskulaarsest dualismist.

Veerand sajandit tagasi näis, et see samm füüsikalise teooria progressis ei lase end kaua oodata. Ent teaduse areng ei õigustanud neid ootusi ning elementaarosakeste liikumise uus tõlgendus alles ootab oma autorit.

Ent kas lainelis-korpuskulaarne dualism seletatakse ära või mitte, s. t. kas ta osutub järelduseks üldisematest looduseadus-

test või ei, – elementaarosakeste liikumise visuaalne ettekujutamine on igal juhul võimatu.

See asjaolu tundus täiesti talumatu väljakujunenud füüsikutele, kes olid kasvatatud XIX sajandi ideede vaimus. Et nende nii-öelda moraalset seisundit ette kujutada, on huvitav sirvida mõningaid lehekülgi Orest Danilovitš Hvolsoni «Füüsikakursuse» lisakõitest. Selle kõite kirjutas Hvolson veidi enne oma surma ja see ilmus trükist kolmekümnendate aastate algul. Hvolsoni «Füüsikakursuse» viit paksu köidet vaatavad praegu vaid need, kes tunnevad huvi vana füüsika vastu. Välja antud kahekümnendate aastate algul, andsid nad ammendava ettekujutuse XIX sajandi poolt loodud teoreetilisest ja eksperimentaalfüüsikast. Materjal on esitatud ranges teaduslikus keeles. Füüsikalisi nähtusi tõlgendatakse ühtsetelt positsioonidelt: kõik füüsikanähtused seletatakse osakeste mehaanilise liikumisega ja keskkonna pidevusega. Muidugi oli ka ebaselgusi, kuid need näisid olevat ebaolulised, ajutised; üldiselt olid need vaid pisiasjad.

Suurepärane pedagoog ja füüsika popularisaator Hvolson ei saanud jääda ükskõikseks uute füüsikaliste ideede sünni puhul. Ta mõistis, et füüsikahoone tuleb ümber ehitada. Kogu «Füüsikakursust» uuesti kirjutada polnud talle jõukohane ja ta kirjutas raamatu, mis oli pühendatud viimase aastakümne tormilistele sündmustele. Aga kuivõrd erinev on see raamat eelmistest köidetest: kuhu on jäänud rahulik, pidulik toon ja kindel veendumus füüsikateaduse põhiprintsiipide vankumatuses! Toon mõned tsiitaadid, et luua ettekujutust tollest sügavast vapustusest, mille elasid läbi mikroosakeste mehaanika avastamise kaasaegsed.

Hvolson kirjutab, et mikromehaanika esitamisel põrkab ta kokku kolossaalsete raskustega, «... kusjuures termini «raskus» võiks avameelselt asendada sõnaga «võimatus». Suurim raskus peitub «nende põhimõistete ja suuruste abstraktsuses, millega opereerib uus teadus». Ja edasi: «Purustatakse halastamatult mitte üksnes seni ümberlökkamatuks peetud teaduse alused, vaid osalt ka teadusliku mõtlemise alused üldse, põhjuslikkuse üldise seaduseni välja, ilma milleta, võiks arvata, pole mõeldav ükski teaduslik õpetus. Eitatakse õigust rajada meie poolt vaadeldavate nähtuste seletusi teatud kindlatele, selgelt formuleeritud hüpoteesidele nende nähtuste kulissidetagustest, vahetule vaatlusele kättesaamatuist algallikaist. Kuulutatakse dogmaks uus mõte, et teadus peab tegelema eranditult vaid niisuguste suurustega, mis võivad olla vaadeldavad ja mõõdetavad.»

Kogu see olukord näib Hvolsonile ajutine: «... Tuleb aeg, mil udu haihtub ning tõde avaneb kogu oma sügavuses ja ilus.»

Vaatamata sellele, et lainemehaanika seaduste õigsus leidis kohe tunnustamist ning tema rakendusala hakkas hämmastava kiirusega laienema, erutas loobumine võimalusest elektronide ja teiste osakeste liikumist näitlikult, visuaalselt ette kujutada endist viisi füüsikute meeli.

Kuid sirgus uus füüsikute põlvkond, kellel ei tulnud ümber õppida. Osutus, et mikroosakeste liikumisse puutuvaid aksioome omandavad nad ilma igasuguse sisemise vastupanuta. Vastupidi, noored olid hämmastunud: mida imelikku leiavad «vanad» selles, et nähtus, mis toimub kujuteldamatult tillukeste osakeste tasemel, kulgeb hoopis teisiti kui sündmused, mida me vahetult jälgime suurte asjade maailmas?

Aegamööda kindlustus arvamus, et füüsikalise teooria põhiülesandeks on nähtuste omavaheline sidumine. Vähesed mõtisklesid võimaluse üle leida mudeleid, et kirjeldada «asju iseneses», s. o. niisuguseid sündmusi, mis põhimõtteliselt ei avaldu eksperimendis. Teravnes kriitiline suhtumine sisutuisse väiteisse, mida ei saa katseliselt kontrollida. Kujunes veendumus, et tee tõe juurde peitub ammendava vastastikuse seose kindlakstegevemises nähtuste vahel.

Mõistagi ei tähendanud see, et kujundlik mõtlemine mudelite abil oleks täiesti arvelt maha kantud. Vastupidi, käibele on tulnud rida näitlikke viise nähtuste kujutamiseks. Kuid uued mudelid taotleavad vaid üht eesmärki – hõlbustada mõtlemist analoogia põhjal. Nüüdisajale on iseloomulik näiteks mitmesuguste ruumiliste konstruktsioonide kasutamine, mis peegeldavad osakese käitumist mitte harilikus, vaid tinglikus ruumis, mille koordinaattelgedeks on osakeste kiirused. Aga see on hoopis teine asi.

Ent vana ja uue mehaanika vahel ei ole ületamatut kuristikku. Üks neist läheb sujuvalt üle teiseks. Osakese raskuse kasvades hakkab tema kaemuslik pilt üha selgemini paistma läbi matemaatiliste valemite rägastiku. On ju Heisenbergi printsiibi kohaselt määramatused seda väiksemad, mida suurem on osakese mass.

Loobumine elektroni liikumise modelleerimisest ei tähenda veel aatomite ja molekulide kuju ning mõõtmete, samuti ka nende liikumise mudelliku kujutamise võimatust. Molekulide käitumist oleme õigustatult kirjeldama juba täpselt niisamuti nagu nähtavate kehade omagi.

Muide, elektronmikroskoopia erakordsed edusammud on võimaldanud selgesti näha üksikuid suuremaid molekule.

9. peatükk.

... milles autor jutustab, millisena ta kujutab ette oma kolleegide mõttelaadi. Mõõdamines saab lugeja teada, kuidas autor suhtub telepaatiasse.

Tänane päev

Arutatakse kellegi Ivanovi võimeid teaduslikuks tööks ja sõnatakse heakskiitvalt: «Tõeline teadlane, selge füüsikalise mõtlemisega,» või laitvalt: «Tal on pea aganaid täis, pole võimeline füüsikaliselt mõtlema.»

Füüsikalise mõtlemise puudumist käsitatakse defektina, kui jutt on looduseuurijast. Teistel juhtudel ei etendaks aga füüsikalise mõtlemise puudumine suuremat osa kui muusikalise kuulmise puudumine näiteks Valeri Brumeli või Lidia Škoblikova sportlikes saavutustes. Seepärast võib kuulda ka selliseid iseloomustusi: «Tal on suurepärased võimed, väga rikas fantaasia. See on andekas tehnoloog. Füüsikaliselt mõelda ei oska ega armasta, kuid oivaline mälu ja kordumatu sünnipärane intuitsioon lubavad tal teha täitsa hämmastavaid asju.»

Või sedapuhku juba teises ringkonnas: «Mis füüsik see on, ta on ju kõige ehtsam matemaatik. Tema tööd on nagu brüsseli pits – ääretu peenus ja elegants. Kuid füüsikaline mõtlemine on talle võõras.»

Mis mõttelaad see siis on, mis on omane heale looduseuurijale ja mida nimetatakse füüsikaliseks mõtlemiseks? Rääkigem meie kaasaegsest. Loodan, et eelmiste peatükkide lugemine andis teatud ettekujutuse teadusliku mõtlemise muutlikkusest ajaloo vältel.

«Tüüpiline füüsik» – sedamoodi nimetan ma inimest, kes

kehastab minu silmis füüsikalise mõtlemise kaanoneid, – alustab faktide tähelepanelikust analüüsist. Kõigepealt seab ta endale küsimuse: kas antud nähtust saab korduvalt jälgida, kas seda saab taastekitada? See on tarvilik tingimus, et asjasse tõsiselt suhtuda.

Üksik fakt võib olla seltskondliku lobisemise aineks, kuid mitte teadusliku uurimise lähtepunktiks. Selles mõttes on iseloomulik näide telepaatiast, mille vastu viimasel ajal elavat huvi tuntakse. Kummaline, et teadusest kaugetel inimestel on väga kange tahtmine uskuda mõtete edasiandmise võimalusse. Kui palju temperamentseid «tõestusi» tuleb füüsikutel kuulda oma tuttavatelt, eriti naisterahvastelt. «Ta nägi unes, et pojalt on halb. Ärkas üles ja vaatas kella. Aga nädala pärast sai kirja: samal päeval ja tunnil oli pojalt olnud südameatakk. Kuidas siis pärast seda veel mitte uskuda mõtete edasiandmist?» Teadlane-«kuivik» kuulab meeldivat daami, naeratab viisakalt ega püüagi varjata, et teda huvitab rohkem kaasvestleja isik kui kõneaine. Lõpuks hüüatab daam südametäiega:

«Te olete võimatu inimene, miks te ei tunne huvi niisuguste asjade vastu? Tähendab, teadus on võimetu neid imesid ära seletama?»

Füüsik viib jutu mujale: daamil oleks igav tema vastust kuulata.

Kui mulle jutustatakse kõiksugustest seda laadi imedest, vastan ma umbes nii:

«Kui tahate, et looduseuuriya hakkaks sellise probleemiga tõsiselt tegelema, siis peate näitama talle lihtsa eksperimendi kordamise võimaluse. Noh, astugu näiteks sada inimest järgemööda mõtetelugeja läbitungivate silmade ette ja korra mõttes oma perekonna-, ees- ja isanime. Kui mõistataja kas või üksainus kord õigesti ära arvab ja ma veendun, et etendus polnud lavastatud, korraldan ma jalamaid veel sada samalaadset eksperimenti. Kui vaid tõestatakse, et süstemaatiliselt ühel juhul sajastki õnnestub võõraid mõtteid lugeda, hakkab loodusteadus selle probleemiga otsekohe tegelema.»

Muuses, kaasaja telepaatide «eesrindlik» osa püüabki niiviisi toimida, mõistes, et teisiti ei võida tõsise lugeja tähelepanu. Ent rohkearvulised teated selles osas saavutatud edusammudest ei kannata tõsisemat kontrolli. Ja seda võiski oodata, sest mõtete edasiandmine kauge maa peale on vastuolus looduse põhiseadustega ning õpetusel telepaatiast on kõik valeteaduse tunnused, millest tuleb juttu allpool.

Niisiis, füüsikalise mõtlemise töölepanemiseks on vaja korduvat või taastekitatavat nähtust. Vaatlused näitavad, et nii- ja nii-

sugustel tingimustel toimub tingimata nii- ja nüisugune asi. Muide, polegi just vajalik, et see toimuks ilmtingimata. Vaatlus võib näidata, et nähtus teostub antud tingimustel teatud kindla tõenäosusega. Sellest on samuti küllalt, et olla kindel teadusliku käsitluse vajalikkuses. Muuseas pole ülearune märkida, mis tähendab «teatud tõenäosusega».

Et teha otsustust selle kohta, kas nähtus toimub «teatud tõenäosusega», ja et seda tõenäosust leida, arvutada välja, millega ta võrdub, on tarvis väga palju kordi katset korrata. Oletame, et te tegite katset 10 korda ning 3 juhul 10-st avastasite iseloomuliku nähtuse. Ärge kiirustage väitma, et sündmuse toimumise tõenäosus on $3/10$. Jätkake mõotmisi. Täiesti võimalik, et järgmises 10 katses ilmneb oodatav nähtus vaid 2 korral, veel järgmises – 5 korral. Tuleb ette ka selliseid katseseeriaid, kus nähtus ei ilmne ühtki korda. Veendumiseks, et antud nähtus esineb teatud kindla tõenäosusega, on tarvis kokku lugeda, mitu korda ta ilmub 100, 1000, 10 000 katses. Kui selgub, et eksperimentide arvu kasvades läheneb edukate katsete protsent teatud piirile, siis võib tõepoolest veendunud olla, et nähtusel on teatud kindel esinemise tõenäosus, mis on parajasti võrdne selle piirväärtusega.

Nagu näete, polegi nii lihtne tõenäosuse üle otsustada ning meie «tüüpiline füüsik» ei luba endale kunagi teha järeldusi sündmuse tõenäosuse kohta üksikvaatluste põhjal, sest muidu võib ta kergesti kimbatusse sattuda.

Vaadake aknast välja ja tehke kindlaks, kes esimesena möödub – mees või naine. Kui suur on tõenäosus, et see juhtub olema mees? Arvatavasti $1/2$ ümber. Aga kuidas kontrollida? Ilmselt on vaja ära lugeda, mitu meest tuleb näiteks esimese kahekümne mööduja hulgas (võiks arvata, et sellest on täiesti küllalt). Vaatame aknast välja, ja näeme üheksatteist naissportlast, kes sammuvad reipalt treeningule üheainsa meesterahva – treeneri juhtimisel. Säh sulle siis tõenäosuse arvutamist!

Ajutised häired võivad järeldust nähtuse kohta tugevasti moonutada. «Tüüpiline füüsik» teab seda ega rutta otsuse langetamisega nähtuse tõenäosuse kohta. Selle reegli unustamine on nii mitmelgi korral viinud kurbade tagajärgedeni – väärade «avastusteni», mis leidsid avaldamist trükis, said tihtipeale kõrge hinnangu osaliseks, seejärel aga . . .

Ent viimaks on teaduslik fakt kindlaks tehtud ja nüüd hakkab teadlane mõtlema, kuidas seda selgemalt ja täpsemalt kirjeldada. See samm nõuab rangete ja täpsete kvantitatiivsete mõistete väljatöötamist, mis võimaldaksid nähtust sobivalt kirjeldada. Arusaadavalt püüame valida neid mõisteid niiviisi, et nad oleksid võimalik

kult lihtsad. Kellelgi polnud kahtlust, et liikumise tempo iseloomustamiseks sobib valida kiiruse mõiste. Lepiti kokku mõõta kiirust keha poolt sekundis läbitud meetrite arvuga, ehkki kiiruseks võiks muidugi nimetada ka meetrite arvu ruutu või ruutjuurt sellest. Tuua sisse uus füüsikaline suurus tähendab ära näidata mõõtmisprotseduur, mis lubab antud nähtust iseloomustada mingi arvuga.

Lubage illustreerida seda rasket fraasi lõbusa näitega.

Kujutlege meie «tüüpilist füüsikut» pedagoogika laboratooriumis. Teda tutvustatakse laboratooriumi ühe töötaja teaduslike uurimiste korraldusega.

«Siin me uurime nooremate klasside laste kannatlikkust.» jutustatakse füüsikule. «Vaatame, kuidas see omadus sõltub kasvatus-est, perekonnast, pärilikkusest.»

«Väga huvitav! Aga millega te iseloomustate lapse kannatlikkust?» pärib füüsik.

«Kuidas, palun?» imestab pedagoog. «Me küsitleme teda, kuulame järele vanematelt ja õpetajatelt, kuidas ta käitub erinevates tingimustes. Küsitluste põhjal otsustame, kas laps on kannatlik või mitte.»

«Mina küll nii ei toimiks,» teatab füüsik.

«Aga kuidas siis?»

«Hm . . . Mida võiks võtta mõõdupuuks? Noh, üks te mõelge ise pärast järele, aga mina toon ainult näite. Ütleme, andke lapsele toos väga viletsa kvaliteediga tikke ja paluge üks tikk põlema süüdata. Ei sütti esimene, teine, kolmas . . . Lõpuks vihastub isegi ingel, viskab tikutoosi minema, saadab kuradile. Mitmenda tiku puhul see juhtub, see arv võtkegi kannatlikkuse mõõdupuuks. Noh, midagi niisuguses vaimus. Aga mis uurimus see muidu on, kus nähtuse karakteristikal puudub mõõt?»

Hämmeldunud pedagoog lubab järele mõelda. Füüsik aga läheb koju kindlas veendumuses, et on tulnud aeg füüsikalisel mõtlemisel ka pedagoogika tihnikusse tungida.

Pärast seda, kui nähtuse kvantitatiivsed mõõdud on valitud, algab eksperimentaalne uurimine. Sisuliselt seisab igasugune looduseuuriija töö sõltuvuste ja seoste korrelatsioonide otsimises mitmesuguste mõistete vahel, millega kirjeldatakse antud nähtust ja keskkonda, kus see nähtus aset leiab. Kuidas elektrijuhtivus sõltub materjalist, rõhust, temperatuurist, kuidas keha soojusmahtvus on seotud tema võimega hajutada röntgenikiiri, kuidas mingisuguse keemilise reaktsiooni kiirus sõltub lahustajast, temperatuurist, valgustusest; kuidas mõjuvad aju biovooludele mitmesuguse tugevuse ja tonaalsusega helid; kuidas magnetnõela kaldenurk sõltub mõõtmiskoha geograafilisest laisusest ja

pikkusest... Kogu loodusteaduse võib esitada selliste küsimuste ja vastuste nimestikuna.

Ma kirjeldasin füüsikalise mõtlemise iseloomulikke jooni nii, nagu need avalduvad looduse eksperimentaalsel uurimisel. Nüüd aga pöördugem teooria poole.

Faktid ei taha kuidagi klappida, nad on arusaamatud olemasolevate ettekujutuste seisukohalt või – veelgi huvitavam – on nendega vastuolus.

Teoreetik hõõrub rahulolevalt käsi ning asub tööle. Leida seletus nendele nähtustele tähendab tõsta teadus uuele astmele. Mis võib olla tähtsam? Tuntud aksioomid ja hüpoteesid osutuvad võimetuks, tähendab, on vajalikud uued üldistused. Ja need võivad olla kui tahes julged, kui tahes pöörased. Nad peavad purustama harjunud ettekujutused, ärritama oma ootamatusega. Seoses Heisenbergi uue katsega seletada elementaarosakeste omadusi tegi Bohr omal ajal niisuguse naljatleva märkuse: «Teooria pole küllalt pöörane, et olla õige.» Ja selles peitub kahtlemata tõetera: printsiipaalne hüpe on võimatu ilma vana otsustava purustamiseta.

Keegi kaasaja füüsikutest ei hakka uut teooriat täakidega vastu võtma üksnes sellepärast, et see on vastuolus mis tahes kindlakskujunenud seisukohtadega; keegi ei hakka rakendama ka filosoofilist laadi argumente. Energia jäävuse seadus on kaasaja loodusteaduse nurgakivi, ent kui kellegi käsi tõuseks isegi selle aluste aluse vastu, siis ka niisugune teooria võetaks range arutluse alla ja keegi ei heidaks teda kõrvale vaid seetõttu, et «seda ei saa olla». XX sajandi kogemused õpetasid looduseuurijatele kõige tähtsamat – mitte püüda uusi ideid toppida vanadesse raamidesse.

Kuid see ei tähenda hoopiski seda, et iga uus teooria, mis tõmbab kriipsu peale kõigele endisele, pälviks tähelepanu. Uus hüpotees ei tohi puutuda endisi saavutusi. Need on liiga suured, et juhuslikud olla. Ning uus, pöörane teooria peab üle minema normaalseks, harjumuspäraseks, kui püüame teda rakendada nähtustele, mis allusid suurepäraselt vanadele aksioomidele. Seda on meile samuti õpetanud XX sajand.

Nii relatiivsusteooria kui ka kvantmehaanika olid formuleeritud kui üldistused. Klassikaline Newtoni mehaanika osutus nende erijuhuks. Relatiivsusteooria muutus tavaliseks mehaanikaks väikeste liikumiskiiruste korral, kvantmehaanika läks üle selleksamaks mehaanikaks küllalt raskete osakeste puhul. Järjepidevus on teadusliku teooria kohustuslik tunnus.

Iga tõsine teadlane kannab hoolt eelkõige selle eest, et see

uus, mida ta teadusse tuua kavatseb, ei rikuks nende alade harmooniat, kus teadus sai seni suurepäraselt läbi ka ilma tema abita. Iga ebateadlane muretseb ennekõike selle üle, et vana purustada.

Kirjameestele on nuhtluseks grafomaanid. Need saadavad oma romaane ja värsse ajalehtedele ning ajakirjadele, nõuavad tähelepanu, osavõtlikkust, tunnustust. Saamata vastust, külavad nad toimetusi üle kaebustega. Taoline nuhtlus on olemas ka teadusevallas. Need on aatomi ehituse uusimate teooriate autorid, *perpetuum mobile* leiutajad, universaalsete omadustega maailmaetri avastajad.

Isegi sel juhul, kui uue teadusliku süsteemi autor on küllalt haritud ning tema kirjutiste keel täiesti teadusepärane, tuleb teooria ebateaduslik iseloom ometi otsekohe ilmsiks. Ebateaduse esindaja – olgu see siis hullumeelne, harimatu inimene või kelm – paistab silma selle poolest, et ta alustab tingimata kõigi aluste purustamisest.

Üldreeglina ei märka vikatiga reipalt vehklev väärteadlane oma vaimusünnitustele teed puhastades lihtsat loogikaviga: tema uus teooria põhineb argumentidel, mis on laenatud eksisteerivatest teooriatest. Nii toimib näiteks igaveste jõumasinate leiutaja. Ülikeeruline masin, mis töötab esimesel pilgul täiesti laitmatult, on ehitatud mehaanikaseaduste järgi. Aga talle ei tule pähegi, et just nendest seadustest järeldub kõige rangema loogikaga sellesama masina võimatus.

Niisiis nõutakse uuelte teoorialt, et see hõlmaks vanu ettekujutusi kui erijuhte ning et tema uudsus õigustaks end seni arusaamatute nähtuste seletamisel. Kuid sedagi on vähe. Selle eest, et nõustume tunnustama autori kõige pöörasemaid oletusi, me nõuame temalt, et ta ennustaks uusi, seni mitte vaadeldud nähtusi. Ja uus teooria võidab tunnustuse vaid sel juhul, kui need ennustused leiavad kinnitust. Siis ja ainult siis algab kindlaskujunenud ettekujutuste revideerimine ning uued vaated asendavad vanu.

Arusaadav, et teooria osa loodusteaduses ei taandu üksnes uute looduseaduste avastamisele. Teoreetilise loodusteaduse ees seisab peale selle veel ülesanne viia looduse üldised seadused nii-öelda tööpingini. Tõepoolest, tohutul hulgal juhtudest pole meil alust kahelda, et nähtus kulgeb täielikus kooskõlas juba tuntud looduseadustega. Kuid sellest hoolimata vajavad nähtuse seaduspärasused lähemat selgitamist. Sel juhul on jutt üksiku seaduspärasuse tuletamisest üldisest seadusest. Et seda teha, on tarvis nähtust mõistlikult lihtsustada (ent niiviisi, et koos veega ei

heidetaks välja ka last) ning range deduktiivse matemaatilise arutlusega näidata, millised sõltuvused järelduvad tuntud üldistest seadustest.

Füüsikalise mõtlemise iseärasused avalduvad siin niihästi ülesande lahendamises kui ka ülesande püstitamises. Asi on selles, et mitte iga teoreetiline arvestus pole otstarbekohane. Teooria võimaldab välja arvutada konkreetse katse tulemuse. Näiteks võib ülesandeks seada teoreetiliselt välja arvutada vee tihedus. Mitu kuud tööd, ja te saate tulemuse – vee tihedus on viie protsendi täpsusega võrdne ühega. Kuid vee tiheduse võib ju mõne minutiga ära mõõta ning sealjuures tuhandiku protsendi täpsusega. Milleks siis veel arvutada?

Agas seevastu on ilmselt otstarbekohane arvutada välja raketi kaldenurk, et raketil langeks ettenähtud kohta. Määrata see nurk katselisel teel (s. o. lastes erinevate nurkade all välja tuhat raketti ja valides ühe vajaliku) läheks liiga kulukaks.

Sama käib ka niisuguste sõltuvuste teoreetilise arvutamise kohta, millel on kitsam, spetsiaalne tähendus. Näiteks võib välja arvutada, kuidas bensooli auru rõhk sõltub temperatuurist. Ent selle vägagi keeruka arvutuse tulemused ei aita meil ennustada teiste ainete aurude käitumist. Agas kui nii, siis lihtsam on teha vajalikud mõõtmised.

Lühidalt, füüsika hindab teoreetilisi arvutusi vaid siis, kui nende tulemuseks on küllalt üldised seaduspärasused, mis hõlmavad laia nähtuste ringi, kuna aga selle nähtuste ringi ammen-dav katseline kirjeldamine võtaks võrreldamatult rohkem aega. Ainult siis on asjal mõtet.

Näib, et üsna selged asjad, kas pole? Kuid kahjuks rikuvad looduseuurijad tihtipeale neid reegleid; tõsi küll, rikkujateks on need, kellele on võõras füüsikaline mõtlemine.

Seni oli juttu teaduslike uurimiste arhitektuurilisest stiilist. Nüüd kuluks öelda mõni sõna selle kohta, kuidas on lood loodusteaduse vundamendi ehitamisega.

Ilma vaevata võib eraldada lõpuleviidud ehitised. See on eelkõige mehaanika, mis oskab eksimatult ja suurima täpsusega ennustada kehade liikumist, kui on teada neile mõjuvad jõud. See on elektrodünaamika, mis lubab välja arvutada elektromagnetilisi välju, kui on ette antud neid tekitavad elektrilaengud ja -voolud. Üks ilusamaid loodusteaduse osasid – statistiline füüsika – valitseb gaaside, vedelike ja tahkete kehade käitumist, mille omadused muutuvad välistingimuste mõjul. Aatomituumade ja elektronide käitumist ennustab edukalt kvantmehaanika.

Kõik need füüsika valdkonnad sarnanevad teatud määral

Eukleidese geomeetriaga: mõningad aksioomid ja edasi range deduktiivne esitus, loendamatu hulga järelduste loogiline tuletamine, mis leiavad katselist kinnitust niisuguse täpsusega, nagu õnnestub teostada teoreetilisi arvutusi.

Mõningatel juhtudel on lähteaksioomid niivõrd lihtsad, et ilma vaevata tajud neid nii-öelda viimase instantsi tõdedena. Nii näiteks saab näidata, et kolm vaala, millele rajaneb mehaanika, – energia jäävuse seadus, liikumishulga jäävuse seadus ja pöörlemishulga jäävuse seadus – taanduvad väitele mitmesuguste asukohtade ning suundade võrdväärsusest ruumis.

Ent kaugeltki mitte kõik lähteaksioomid teaduses pole nii lihtsad. Aga kas nad peavadki lihtsad olema? Kes võib sellele vastata? Paul Dirac on arvamusel, et põhiaksioomid ei pea olema lihtsad, kuid nad peavad tingimata silma paistma oma matemaatilise elegantsi ja ilu poolest.

Esteetikakriteerium matemaatiliste valemite hindamisel?

Jah. Võrrandite ja arvutuste tunnistamine ilusaiks, elegantseiks või vastupidi, kohmakakaiks, raskepäraseiks on füüsikute hulgas väga levinud.

Newtoni ülemaailmne gravitatsiooniseadus on kahtlemata ilus seadus. Te pole minuga nõus? Kas te ei näe midagi ilusat selles üleskirjutuses:

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Ent mõelge järele, kui võrd sümmeetriline ja lihtne see valem on; nimelt sümmeetrias ja lihtsuses peitubki seaduse ilu. Kujutage ette, et keegi esitaks gravitatsiooniseaduse, kus valemi nime-tajas ei oleks mitte kauguse ruut, vaid kaugus astmel üheksa kahendikku, lugejas aga ei seisaks masside korrutis, vaid näiteks ruutjuur masside summast. Inetu, ebameeldiv valem. Otsekohe tekiks kahtlus selle õigsuses, ta ärritaks meid puhtesteetilisest seisukohast:

Lugeja vististi ütleb, et autor teeb nalja. Miks peaks loodus armastama ilusaid võrrandeid?

Ma ei tea seda. Arvatavasti on Loodus hea matemaatik. Kaasaja füüsika kõik fundamentaalsed võrrandid kannatavad kahtlemata välja esteetikakriteeriumi. Võite mind uskuda, et elektrodünaamika seaduste (Maxwelli võrrandite) matemaatilise esituse elegantsus ja lihtsus pakub füüsikule emotsionaalset nautingut, ehkki selle allikaks tävatsetakse pidada vaid kunstiteoseid.

Ent kui lõpuleviidud füüsikaharude aksioomid on nii ilusad, nagu väidab autor, kas see siis tähendab, et füüsika võib nen-

dele puhkama jääda. Ei, hoopiski mitte. Sellest annavad tunnistust Einsteini visad otsingud ühtse väljateooria leidmiseks. Kui palju võidaks meie aksioomide süsteem, kui õnnestuks neid aksioome esitada järeldustena ühtsest looduse seadusest! Võrrandi otsingutele, millest tuleneksid nii mehaanika kui ka elektrodünaamika seadused, pühendas Einstein oma elu viimased aastakümned. Paraku osutus hiiglaslik töö tagajärjetuks! Kas selline generaalne aksioom leitakse, seda näitab tulevik.

Peab tunnistama, et mehaanika ja elektriõpetuse ühendamine erutab füüsikuid siiski võrratult vähem kui elementaarosakeste teooria. Lõpuks kujutavad ju mehaanika ja elektrodünaamika (ehkki mitte ühe katuse alla viiduna) endast lõpetatuse muster näidist. Nende distsipliinidega seotud probleemid võib üle anda rakendusteadlaste ja arvutusmatemaatikute hoolde. Mis aga puutub elementaarosakeste õpetusse, mis areneb tormiliselt meie silme all ja toob iga aasta üha uusi hämmastavaid avastusi, siis see paistab vaid katkendlike kujutluste ja mõistete kogumina, mitte aga harmoonilise teooria eeskujuna. Nähtavasti on meil õigus oodata, et just nimelt siit, materia pisimate osakeste käitumise kohta kogutud uute eksperimentaalsete andmete kaosest, peab välja kasvama uus teooria, mis võib-olla ühendab ühtseks tervikuks niihästi mehaanika ja elektrodünaamika kui ka viib meid välja kogu loodusteaduse ühtse seaduse juurde.

Seepärast on praegu paljude teadlaste jõupingutused suunatud teooria loomisele selles valdkonnas, kus teda veel pole, see tähendab, valgusele lähedase kiirusega liikuvate elementaarosakeste vallas. Sest Schrödingeri kvantmehaanika ei tööta siin seetõttu, et osakesed on väga kiired, Einsteini relatiivsusteooria aga sel põhjusel, et nad on väga kerged.

Seni pole edusammud kuigi suured olnud. Ent ka ülesanne pole kergegete killast! Tulevane teooria peab ära seletama, miks elementaarosakesi on just nii palju, nagu neid eksperimentis ilmneb; miks nad omavad just niisugust, aga mitte teistsugust massi; miks osakeste laengud on võrdsed elektroni laenguga või erinevad sellest vaid märgi poolest ega ole meelevaldsed jne. Lühidalt öeldes on vaja ära seletada, mispärast elementaarosakeste maailm on ehitatud nimelt nii, aga mitte kuidagi teisiti. Peab see ju ometi järgnema mingist üldisest, ühtsest loodusseadusest!

Seda seadust otsivad matemaatilise mõttelaadiga teadlased, kes koostavad võrrandeid, mis oleksid võimalikult elegantsed ja ilusad. Otsivad ka füüsikud, kes ei tunnista esteetiliste positsioonide juhtivat osa, vaid püüavad edu saavutada, lastes läbi teo-

reetilise analüüsi sõela lademetega kaupa eksperimentaalseid fakte, mida hangitakse kõigis maailma maades fantastiliselt hiiglaslike ning mitte vähem fantastiliselt kallite ülivõimsate kiirendite abil. Ja asi on vaeva väärt – jutt on ju grandioosse looduseaduse avastamisest, mis peab viima uuele revolutsioonile meie vaadetes maailma kohta.

10. peatükk,

... kus autor intrigeerib oma keemikuist sõpru ning üritab kallale kippuda nende tegevuse olulisele osale. Autor selgitab, et keemikud peavad valmistama võimalikult rohkem igasuguseid häid asju.

Keemia

Autor palub luba alustada peatükki kõige igapäevasemast näitest – kodusest keemiakatses lõunalauas.

Valge suhkrutükk, mis lasti kuuma tee klaasi, kaob meie silme all. Ta laguneb molekulideks – aine pisimateks esindajateks. Suhkru molekul on ehitatud kolme sorti aatomeist – süsinikust, vesinikust ja hapnikust. Need aatomid on paigutatud teatud kindlas ruumilises järjestuses, mida mõninga vaeva järel võib kujutada joonisel. Nendetsamadest aatomitest on loodus võimeline looma ka teissuguse ehitise. Nood molekulid kuuluvad juba teisele ainele, mis ei sarnane suhkruga ei maitse ega ka ühegi teise omaduse poolest.

Ent aatomitest ei saa teha igasuguseid ehitisi. Asi seisab selles, et aatomitel on teatud kindel valents. Valents on arv, mis näitab, mitme teise aatomiga võib meie aatom ühineda tugevate sidemetega (neid nimetatakse keemilisteks sidemeteks). Süsiniku aatomi juurest võib tõmmata neli kriipsukest – ta on neljavalentne, hapniku aatomilt kaks, vesinikult ühe.

Vabadus on piiratud, kuid sellest hoolimata võimalused ehitada ühest ja samast aatomite komplektist mitmesuguseid erinevaid molekule (sääraseid molekule nimetatakse isomeerideks) on kolossaalsed. Võib välja arvutada, et näiteks 20 süsiniku aatomit sisaldavat molekuli saab konstrueerida umbes poolmiljonil

erineval viisil. Teiste sõnadega, võib eksisteerida pool miljonit täiesti erinevat ainet, millel on ühesugune atomaarne koostis.

Kui meenutada, et aatomeid pole looduses mitte kaks-kolm, vaid saja ümber, siis saab molekulide lõpmatu mitmekesisus silmanähtavaks.

Looduses esineb harva aineid, mis on ehitatud ühte sorti molekulidest; enamalt jaolt on meil tegemist segudega. Keemia üheks ülesandeks on niisuguste segude molekulaarse koostise uurimine ning nende segude lahutamine puhasteks aineteks, mis on ehitatud ühte sorti molekulidest.

Kuid keemia peamine ülesanne on siiski valmistada uusi aineid, selliseid, mida looduses ei esine või leidub vähe.

Uute ainete valmistamise võimalus põhineb näiteks sellel, et real juhtudel on kahel kokkupõrganud molekulil kasulik puruneda ja ümber korralduda. Võtame abiks päästva analoogia: kohtuvad kaks meest – väike, pikas, kandadeni ulatuvas pintsakus, ning suur, lühikeses saterkuues, mis hädavaevu selga mahub. Selge, et neil on kasulik kuued ära vahetada ning rahumeeli lahku minna. Nii võib ka kokkupõrganud molekulide ümberkorraldumine kasulik olla seetõttu, et uutes molekulaarsetes konstruktsioonides õnnestub aatomitel end mugavamalt sisse seada.

Segades eri sorti molekule ning sundides neid kokku pörkama, fabritseerivad keemikud uusi molekule, tähendab, valmistavad uusi aineid. Valmistamisviise on palju. Võib näiteks mitmesuguseid gaase või vedelikke isekeskis segada; võib aineid ühises lahustis lahustada.

Uute molekulide valmistamine edenes hoogsalt juba XIX sajandil, aga praeguseks ajaks on keemikud loonud juba miljoni aine ümber. Arusaadavalt läks vaid täiesti tühine osa nendest praktiliselt käiku. Kuid tehtud tööd ei saa kuidagi asjatuks nimetada. Uusi aineid saades leidsid keemikud samal ajal nende ainete muundumise reeglid ning tegid kindlaks parimad ja lühimad teed ettekatsetatud arhitektuuriga molekulide valmistamiseks.

Keemikute oskus orienteeruda selles, kuidas molekule täiesti kindlaid sidemeid pidi tükkideks lõhkuda ning ümberpöörduvalt – molekulide tükid täiesti kindlal viisil kokku siduda – on mittespetsialistile täiesti hämmastav. Mul on korduvalt tulnud keemikuilt küsida, kas saab aatomeid nii- ja niisugusel viisil ühendada. Minut mõtisklemist, ja järgnes vastus: jah, seda pole raske teha kahes-kolmes staadiumis; või: saab küll, kuid see on keeruline süntees. Harva osutus, et soovitava konstruktsiooni saamise tee on veel ebaselge.

Keemiku ülesande muudab keerulisemaks see, et ei piisa lihtsalt uue aine saamisest: tarvis on veel tõestada, et see, mis saadud, omab ettekavatsetud struktuuri. Mul on kujunenud arvamus, et tõsine keemik kulutab selleks isegi rohkem aega kui aine enda saamiseks. Aga saadud aine struktuuri tõestatakse samuti keemiliste meetoditega. Tavaliselt arutletakse niiviisi: kui arvatav ehitus on õige, siis segamisel nii- ja niisuguse ainega peame saama selle ja selle; kui seda ei juhtu, siis on tegu mingi uue ainega. Ja sääraseid kontrollimisi ei tehta mitte üks, vaid mitu. Alles pärast kestmvat ja ranget kontrolli võib teaduslikus ajakirjas märkida, et käsiraamatuis kirjas olevale miljonile ainele on lisandunud veel üks, miljon esimene.

Suur osa keemikuid töötab keemiliste reaktsioonide seaduspärasuste uurimisel. Kuid osa uurijaid kuulub rakendusteadlaste hulka. Üldreeglina astuvad nad laboratooriumilaudade taha selleks, et teha hulk sünteese, mille tulemusena nad loodavad leida praktikale huvipakkuvaid aineid. Rakenduskeemia tegeleb peale selle veel ainete puhastamisega ning töötab välja kõige odavamaid sünteesisimisviise.

Keemia edu on veel suuremal määral kui mis tahes teisel teadusalal mõeldamatu ilma rakendusteadlaste süstemaatilise tööta. Lugu on selles, et teooria ei võimalda veel ette arvata, milline molekul just on vajalik väljapaistvate omadustega materjali loomiseks. Seepärast võib keemikute-praktikute edasiliikumise teel esineda huvitavaid leide.

Keemia edusammud viimaste aastakümnete jooksul on äärmiselt aukartustäratavad. Piisab ainuüksi kunstliku kautsuki ja sünteetiliste kiudainete nimetamisest. Aga farmaatsiatööstus? Hämmastavad ravimid, mis on revolutsioneerinud meditsiini, on keemikute-sünteetikute hiiglasliku töö tulemus.

Tendents asendada looduslikke materjale tehiskemika tugevneb üha. Esialgu on keemia hakanud meid varustama riiete ja jalatsitega, kuid pole kaugel aeg, mil ta hakkab lõunalauast välja tõrjuma naturaalseid biifstecke, asendades need võib-olla esialgu vähem maitsvate toodetega naftasaadustest.

Mõni aasta tagasi tõusis nõukogude rahva ette vastutusrikas ülesanne – intensiivsemalt arendada keemiat ja keemiatööstust. Real juhtudel piisab selleks niisuguse toodangu väljalaske suurenemisest, mida toodetakse tuntud tehnoloogiliste ettekirjutuste järgi. Kuid see pole kõik; nõukogude keemikuid peavad haarama mõtted uutest tugevatest tehiskiududest, efektiivsetest väetistest, ainetest, mis oleksid võimalikult kahjulikud putukatele ning samal ajal ohutud kasulikele loomadele ja inimestele. Meie

keemia peab välja jõudma maailma teaduse eesliinile. Aga selleks et jõuda esirinda, ei piisa üksnes keemilise tehnoloogia arendamisest, vaid tuleb pöörata tähelepanu ka sünteetilisele keemiale. Aga selle edu XX sajandi teisel poolel on mõeldamatu ilma kogu loodusteaduse arendamiseta.

Kuni kahe-kolme viimase aastakümneni oli keemia endasse-sulgunud loodusteaduse valdkond, omaenda meetodite ja empiiriliste reeglitega. Ent siis sööstis ette füüsika. Ta vallutas uued positsioonid, avastades molekulide ja aatomite ehituse reeglid ning aatomite ja elektronide liikumise ja vastasmõju seadused. Need reeglid ja seadused pidid paratamatult keemiasse tungima hakkama.

Eelkõige sai selgeks, et pole olemas mingeid erilisi keemilisi seadusi ega keemilist materiat. Aatomite ja elektronide liikumise ning vastastikuse mõju üldised seadused peavad määrama aine omadusi ja juhtima molekulide purustamise ning ehitamise protsesse keemilise reaktsiooni käigus. Aga kui nii, siis peab keemikute kogutud empiirilistel reeglitel olema üldine seletus, nad peavad olema erijuhud üldistest loodusseadustest. Tähendab, on tarvis rajada keemiale üldine füüsikaline vundament.

See töö algas aastat kolmkümmend tagasi, praegu on ta täies hoos ning annab juba märgatavaid tulemusi.

Keemia teoreetilised probleemid on väga keerulised. Otsustage ise. Üks molekul võib teisega kokku pörkamisel anda talle löögi «tagalast, frondilt või tiibadelt». Ning sõltuvalt pörke suunast võib keemilise protsessi tulemus olla erinev. See on esimene tegur, mis asja keeruliseks teeb.

Molekulide ümberkorraldumine võib toimuda mitmes järgus. Tähendab, peale lähtemolekulide kokkupörke on tarvis vaadelda ka vahepealsete kildude kohtumisi. Selline on teine probleemi keerukamaks muutev tegur.

Molekuli või selle kildude lõhkumine võib toimuda mitmeti: molekul võib tükkiideks puruneda niiviisi, et ülearuseks jäänud elektron läheb ühelt killult üle teisele, aga võib ka juhtuda, et seda ei sünni. Siin on teile kolmas komplitseeriv asjaolu.

Ja isegi kui oletada, et kõik öeldu on teada, ka siis on elektronide liikumisseadusi kasutades praktiliselt võimatu kohtumise tulemust matemaatiliselt välja arvutada. Lühidalt öeldes, me ei oska keemilise reaktsiooni tulemust üldiste loodusseaduste alusel ennustada, kuigi me hetkegi ei kahtle, et kõik toimub ranges kooskõlas nendega.

Noh, aga kuidas saavutada kas või osalist edu? Seda tehakse kahel viisil. Esimene võimalus on niisuguste empiiriliste

seaduspärasuste otsimine, mis seovad molekuli keemilist käitumist tema struktuuriga (molekulide struktuur tehakse kindlaks füüsikaliste uurimismeetoditega). Empiirilist seaduspärasust rangelt tuletada pole võimalik. See määratakse puhtkatselisel teel. Mis kasu temast siis on?

Kujutage ette, et teid huvitab ainete klass 10 000 esindajaga ja te valisite neist välja 100. Selle saja jaoks te teete kindlaks empiirilise reegli ja ütlete: 100 juhul see kehtis ilma ühegi erandita ning kuigi absoluutselt kindel olla ei või, tuleb pidada äärmiselt ebatõenäoliseks, et reegel ei kehtiks ülejäänud 9900 ühendi kohta.

Enamalt jaolt see nii ongi, aga kui leidubki erandeid, siis viitavad need vajadusele antud reeglit sügavamalt uurida.

Arusaadav, et empiiriliste seaduspärasuste otsingud nõuavad laia ja süstemaatilist uurimistööd.

Teine võimalus on molekuli jämedate, ligikaudsete mudelite loomine. Nende mudelite järgi võib välja arvutada kui mitte just kogu reaktsiooni käigu, siis vähemalt selle mõned etapid; kui mitte kõik omadused, siis kas või mõne üksikugi neist. Toome näite ühest saavutusest füüsikalisel lähenemisel keemiale.

Füüsikud on õppinud määrama aatomite mõõtmeid; järelikult võib molekuli kujutada ruumilise mudeli abil. Sellest on hästi näha, kuidas mõned aatomid osutuvad peidetuks molekuli keskele ja neile on võimatu ligi pääseda. Kui reaktsiooni läbi viimiseks on keemikul tarvis peidetud aatomile lähendada teise molekuli mõnda aatomit, siis teab ta jubá ette, et selline katse on asjatu. See aga on juba ennustus. Ja olgugi et see näitab reaktsiooni soovitava käigu võimatust, on ta ikkagi väga hinnatav. Muidugi on see vaid teooria osaline edu, sest keemiline protsess ei sõltu ainult aatomite paigutusest molekulis, vaid ka paljudest teistest asjaoludest, ning molekuli geomeetria on vaid üks määravatest teguritest.

Teine näide edust on aine värvuse ennustamise võimalus. Keemikud, kes sünteesivad värvaineid, kasutavad üldisi seaduspärasusi, mis seovad aine värvust teatud kindlate aatomirühmade esinemisega molekulis. Aga see pole samuti halb saavutus.

Keemikud, kes tegelevad teooriaga, nimetavad end tavaliselt füüsikokeemikuteks. Minu arust on nad lihtsalt füüsikud, kes uurivad keemilisi protsesse. Sest nad ju töötavad füüsikaliste meetoditega, lähtuvad oma arvestustes füüsika seadustest, mõtlevad ja arutlevad täpselt niisamuti nagu füüsikudki, kes ei tunne huvi keemiliste muundumiste vastu.

Üldiselt pole asi muidugi nimetuses, kuid mul on kogu aeg kange tahtmine kõiki neid, kes töötavad loodusteaduse vundamenti rajamisel, ühte väesalka arvata.

Täiusliku teooria puudumine loob soodsa pinna igasuguste teadusele kahjulike «kallakute» tekkimiseks.

Nii tekib praktikute-skeptikute kategooria, kes kuulutavad: see kõik on ülearune, tuleme ka ilma teooriata toime; tarvis on saada uusi aineid ning neid praktikasse juurutada – ja ongi kogu ülesanne.

See kallak on tekkinud eelkõige iseteadlikust harimatusest. Kui tähelepanelikult vaadata keemia viimase aja saavutusi, siis võib julgesti öelda, et tervet rida uusi väga huvitavaid materjale poleks saanud luua ilma teoreetilise keemia edusammudeta. Nii-sama vastuvaidlematult võib väita, et tööd uute ainete sünteesimisel aeglustuksid olulisel määral, kui keemikud ei kasutaks sünteesi optimaalsete teede valimisel varem väljatöötatud teoreetilisi ettekujutusi.

Kiievis jutustati mulle kahest instituudist, mis tegelesid samalaadsete probleemidega. Üks töötas edukalt, teine halvasti. Eduka instituudi direktor võimaldas enam kui pooltel teaduslikel töötajatel tegelda teoreetiliste probleemidega. Ja selle poole mõju kolleegidele-süntetikutele viis vägagi headele tulemustele. Instituudi töö kulges, nagu öeldakse, kõrgel teoreetisel tasemel. Teine direktor kuulus skeptikute-praktikute hulka, teooriaga instituudis ei tegeldud. Tähelepanu puudumine teooria vastu avaldas teravalt negatiivset mõju praktilise töö edukusele.

Teine oht on väärteteooriate sügenemine. Nende autorid löövad käega teoreetilise füüsika saavutustele, ei taha mõista, et füüsika on loodusteaduse üldine alus.

Selline kodukasvanud teoreetik erineb igavese jõumasina leiutajatest, kellest oli jutt eelmises peatükis, vaid ühes suhtes: harilikult on ta hea süntetik või tehnoloog, kes ei tunne oma ala sugugi halvasti; ta opereerib kergesti keemiliste võrranditega ning reaktsioonide praktiline tundmine aitab tal valida näiteid oma teooria illustreerimiseks. Säärane teooria näeb välja üsna teadusepärane – selles on uusi termineid, efektseid sümboleid, keerukaid ja segaseid fraase. Harilikult esitab taoline autor oma mõtteid väga ägedalt, hüplevas tempos. Ta püüab võimalikke vastuväiteid ennetada tooni direktiivsusega ja fraaside ülesehituse kategoorilisusega. Välkuvad silmad (nagu fanaatikul) võtavad teilt tahtmise tõestada talle tema mõttekonstruktsioonide meelevaldsust, lünki tema loogikas. Mis loeb «geeniusele» loogika!

Sellist «geeniust» saab nurka ajada vaid ühel viisil: möönda, et tal on võib-olla õigus. Meenutada talle, et teooria kindlaks tunnuseks on võimalus teha ennustusi ning seejärel paluda teda öelda, millist reaktsiooni ta võib ennustada ja millist tundmatut nähtust ette näha. Te ei saa sellele küsimusele vastust, sest uue teooria autor «seletab» oma keeruliste ettekujutuste abil vaid seda, mis juba ammu on teada on.

Väärteaduse esindajad keemias nagu teistelgi aladel pretendeerivad harilikult revolutsionääri osale, kasutavad poliitilisi spekulatsioone, et võimalikud vastuväited juba ette kõrvaldada. Kahjuks tuleb veel kokku puutuda säärase tegelastega ja lugeda nende «teoseid».

On olemas ka teist liiki õpetatud keemikuid. Selle kategooria esindaja võib olla täiesti haritud, suhtuda nõrdimusega eba-teadusse, mis unustab üldtunnustatud looduseadused, võib kasutada oma uurimustes teaduslikke meetodeid ja ometi kõigele sellele vaatamata jookseb tema töö tühja, kui ta ei pööra tähelepanu füüsikalise mõtlemise põhikäskudele. Aga üks neist käskudest, mida keemiateoreetikud kahjuks väga sageli rikuvad, kõlab nii: mitte harrastada kasutuid arvutusi. Kasutuid selles mõttes, nagu oli juba juttu: keerukas ja palju aega nõudev arvutus ei vii reegliteni, mille abil saab ennustada uusi fakte, vaid saadud tulemused võimaldavad üksnes interpreteerida juba eksperimendiga kindlaks tehtud detaile.

Selliste arvutuste populaarsus on psühholoogiliselt mõistetav. Sünteetikule on alati huvitav teada saada, miks tema leitud reaktsioon kulgeb just nii ja mitte teisiti. Ja ta on alati sügavalt tänulik teoreetikule, kes ilmub tema laboratooriumi kilogrammise paberipatakaga, mis kirendab kolmekorruselistest valemistest ja seitsmekohalistest arvudest, ning kuulutab kindlal häälel:

«Reaktsioon kulges nii ja mitte teisiti väga lihtsal põhjusel: kergesti lahtirebenev aatom on nõrgalt seotud molekuli ülejäänud osaga.»

Praktik on vaimustuses, surub südamest teoreetiku kätt, kes avastas tõe oma unetute ööde vaevaga, tänab palavalt ning asub edaspidise kallale: on ju vaja korraldada sadu katseid, et selgitada mitmesuguste teiste ainete käitumist reaktsioonis.

Kord juhtusin viibima poksivõistlustel. Noormehed kolkisid teineteist üsna korralikult, siis kõlas gong, kohtunik tõstis ühel neist käe ja kuulutas ta võitjaks. Seejärel tuli ringi järgmine paar. Ma püüdsin ette arvata, kes tuleb matši võitjaks, kuid eksisin niisama tihti, kui tabasin märki.

Mõistnud sellise katse lootusefust, hakkasin lähemalt silmit-

sema publikut. Arvatavasti paljud olid siin alatised külalised, kes vaevata tegid vahet nokdauni ja nokaudi vahel. Kuid oli ka minutaolisi juhuslikke külastajaid. Üks neist istus mu kõrval ja iga kohtumise lõppedes päris minult:

«Mis te arvate, miks ta võitis?»

Jõudnud järeldusele, et ennustamine on lootusetu, hakkasin ma vastama oma naabrile veendunud toonil:

«Selge asi, võitjal on pikemad käed.»

Siis järgmise paari kohta:

«Noh, kuidas te ei mõista! Võitja on pikemat kasvu.»

Kolmandas paaris olid võitjal lühikesed käed ja ka kasvult oli ta väike. Minu naaber märkis argliku häälega, et see on teatud määral vastuolus . . ., et ma just nagu rääkisin . . .

Ma katkestasin teda veendunud toonil:

«Mida te siin ei mõista? Kuigi ta ise on väike, aga ta kaalub rohkem.»

Ma tundsin tuju tõusvat ega kahelnud põrmugi, et annan laitmatud seletused kõigi kahevõitluste tulemuste kohta . . . muidugi pärast nende lõppu. Lasknud pilgul saalis ringi käia, märkasin oma hea tuttava, keemiateoreetiku vaimu spordisõprade peade kohal hõljumas, näol täieliku rahulolu ilme.

Mis parata, suures karjas tuleb ette ka kärnaseid lambaid. Kuid mõistagi mitte nemad ei tee ilma teadusevallas. Tugeva ja kvaliteetse vundamendi rajamine keemiale jätkub.

11. peatükk.

... kus jutustatakse sellest, et bioloogid ei saa läbi ilma füüsikuteta. Üksiti avaldab autor kahetsust, et ta ei hakanud õigel ajal tegelema sellise erakordselt huvitava probleemiga nagu pärilikkuse edasiandmine.

Bioloogia

Meie silme all on füüsika hõivamas juhtivat positsiooni ka bioloogias. Muidugi ei tule mõista asja nii viisi, nagu vallutaks füüsika bioloogia ning bioloogid surutaks tagaplaanile. Midagi taolist ei sünni. Lihtsalt teadus, mida me varem nimetasime bioloogiaks, on muutumas füüsikaks ja see kinnitab mõtet, et loodusteaduse ümberkorraldamine jätkub ning loodusteadus omandab ühise vundamendi.

Enesestki mõista küpses see ümberkorraldamine järk-järgult. Juba küllalt ammu eksisteeris selline vahepealne teadusala nagu bioloogiline füüsika. Kuid see oli tekkinud füüsika ja bioloogia üksnes nii-öelda mehaanilisest kontaktist. Seal rakendati füüsikariistu ja füüsikalisi uurimismeetodeid bioloogiliste nähtuste uurimiseks sellel tasemel, mis oli iseloomulik bioloogiale.

Olukord hakkas järsult muutuma alles viimase kahekümne aasta jooksul, kui ilmnis võimalus käsitleda bioloogilisi nähtusi molekulaarsel tasemel ning laiendada aatomite ja molekulide käitumist valitsevaid füüsikaseadusi ka elusainele.

Bioloogidega hakkasid füüsikud suhtlema juba ammu. Näitena võib tuua kolmekümnendate aastate algul organiseeritud Üleliidulise Eksperimentaalmeditsiini Instituudi. Instituudi koosseisu kuulusid niisugused osakonnad, nagu biofüüsika, fotobio-

loogia, bioloogiline füüsikaline keemia. Nendes osakondades töötas palju füüsikuid, ent nad etendasid seal vaid abistavat osa. Bioloogid vestlesid sageli füüsikutega füüsikaliste meetodite rakendamisvõimalustest oma eesmärkidel. Kuid mitte enam. Ühesõnaga, suhted olid sõbralikud, ent bioloogid ja füüsikud elasid pigem kui korterinaabrid, mitte aga kui ühe pere liikmed.

Pärast sõda alustas bioloogiline füüsika uut elu Teaduste Akadeemia seinte vahel ning küsimustering, millega bioloogid pöördusid füüsikute poole, muutus.

Struktuuriuurijad hakkasid tegelema keeruliste objektidega. Röntgeni-struktuurianalüüsi meetodid lubasid edukalt lahendada küsimusi aatomite vastastikusest paigutusest niisugustes molekulis, mis võtavad osa bioloogilistest protsessidest. Uurimisobjektiks kujunesid ka valkude molekulid, omamoodi elu «aatomid». Algul õppisid füüsikud ligikaudu hindama nende mõõtmeid, siis kuju, edasi aga asusid ka nende sisemise struktuuri väljaselgitamisele.

Elektronmikroskoopia tegi hiiglaslikke edusamme. Iga aastaga taandus nähtamatuse piir üha kaugemale; tuhandekordsete suurenduste järel tulid kümne tuhande ning edasi ka saja tuhande kordsed suurendused. Objektialusele – midagi hariliku mikroskoobi esemeklaasi taolist – õnnestus asetada rakke ja isegi nende üksikosi. Avasid oma saladuse viiruselised osakesed, said vahetult nähtavaks suured molekulid, millest need viirused on chitatud.

Selge, et bioloogid ei võinud nendest vaatlustest vaikides mööda minna. Mitte kõik polnud neile arusaadav: tulemusi said füüsikud, aga nende keelega bioloogid hakkasid alles tutvuma. Vaat siin tekkiski vajadus füüsikute abi järele. Vana sõprust mööda pöörduti seletuste saamiseks sageli minu poole ja mul tuli teha isegi ettekandeid mulle üldiselt kaugest ainevallast.

Möödus aeg. Ükskord, see oli mõni aasta tagasi, kutsus Biofüüsika Instituudi direktor Gleb Mihhailovitš Frank mind kuulama inglise teadlase Perutzi ettekannet. Ei mäleta, kas oli see enne või pärast Nobeli preemia andmist sellele teadlasele tema suurepärase, hiiglasliku töö eest, mis kestis ligi veerand sajandit: tal õnnestus kõigis detailides kindlaks määrata ühe valgu molekuli struktuur.

Ma olin jälginud Perutzi töid teaduslike ajakirjade järgi, kuid sellest hoolimata oli huvitav kuulata tema kokkuvõtlikku ettekannet. Nagu olin oodanudki, avaldas see tagasihoidlik väikest kasvu brunett mees, kes asjalikult esitas oma töö tulemused, kuulajaile tohutut muljet. Jutt käis sellest, et leida valgu struktuurielementide järjestus, näidata, millise käänuga järgneb üks

element teisele. Aga neid struktuurielemente oli Perutzi poolt uuritud molekulis ei vähem ega rohkem kui 574! Millega võiks antud ülesannet võrrelda, et te tajuksite selle ainulaadse suure töö kogu keerukust? Kujutlege ülikeerulist labürinti kuulsa Cheopsi püramiidi sisemuses. Labürint koosneb 574-st lülist, mis on kõige kummalisemal kombel kõverdunud ning isekeskis läbi põimunud. Ja teie ees seisab ülesanne seda labürinti üksikasjalikult kirjeldada, püramiidi lõhkumata. Võite koputada, kuulatleda, röntgenikiirtega läbi valgustada, ühesõnaga – uurida kaudsete tunnuste järgi.

Minu huvi Perutzi töö vastu oli seda suurem, et kõik oli tehtud samade meetoditega, mis olid välja arendatud niisuguste elutute objektide jaoks nagu kivisool, kaltsiit või naftaliin.

Kuid veelgi tähelepanuväärsemaks osutus järgmine asjaolu. Perutzi ja üldse kõigi tööde tulemusena, mis olid pühendatud bioloogiliste objektide struktuuri uurimisele, selgus, et bioloogiliste ainete ehituse seadused ei erine millegi poolest eluta looduse objektide ehituse reeglitest. Needsamad kaugused keemiliselt seotud aatomite vahel, needsamad molekulide kokkusobivuse seadused. Molekulid puutuvad omavahel kokku samadel kaugustel ning samade pakkimisseaduste järgi, mis varem olid leitud lihtsate, bioloogiaga mitte seotud kristallide jaoks.

Kõik see kinnitas veel kord teaduserinde pidevust, milles olid veendumusele jõudnud juba paljud teadlased. Uurimused pealtnäha kauge kristallograafia alal osutusid täiesti ootamatult vajalikuks elemendiks valgumolekulide struktuuri selgitamisel. Aga see töö oli omakorda üheks lüliks probleemide ahelas, mis avavad elusorganismides kulgevate protsesside saladusi.

Sedamööda, kuidas kogunes materjali molekulide struktuuri ja nende paigutuse kohta bioloogiliselt tähtsates objektides, tugevnes veendumus, et elusate ja elutute objektide jaoks peavad ühesõnased olema niihästi arhitektuuri seadused kui ka seadused, mis yalitsevad protsesse. Sai täiesti selgeks, et kõiki bioloogilisi nähtüsi õnnestub kirjeldada kui molekulide ümberpaigutumise, liitumise ja purunemise protsesse täpselt samal viisil, nagu oli füüsika poolt välja töötatud ainete jaoks, millel pole midagi ühist elusainega. Uurimised struktuuri alal ei jätnud ruumi erilisele bioloogilisele substantsile ning tõukasid teadlasi üha julgemini bioloogiale füüsikalist vundamenti rajama.

Pole minu eesmärk jutustada siin mitmekesistest saavutustest selles kaasaja teaduse ühes tähtsaimas suunas. Aga selleks et tees füüsikast kui kogu kaasaegse loodusteaduse alusest võetaks

lugejate poolt vastu ilma tõrkumata, tootsin vaid ühe ilmeka näite.

Kord astus minu poole sisse üks tuttav bioloog ning meie vahel toimus selline vestlus.

«Miks te ei võiks hakata tegelema nukleiinhapetega?» tegi külaline ettepaneku.

«Aga mis asi see on?»

«Kas te DNH-molekulist olete kuulnud?»

«Midagi nagu ähmaselt mäletan.»

«Kahtlustatakse, et selles molekulis on peidus raku tegevuse saladus.»

«See molekul on raku tuumaks?»

«Ei, seda mitte, ta on tuuma koostisosa; ma näen, et teie teadmised bioloogiast on üsna tagasihoidlikud.»

«Ei vaidle vastu, tuletage mulle, palun, meelde,» vastasin mina.

«Meie organism on ehitatud rakkudest,» alustas minu vestluskaaslane.

«Võite mitte alustada aabitsatõdedest,» katkestasin teda. «See on mulle, jumal tänatud, teada, ja Virchow'i printsiipi «iga rakk rakust» meenutasid mulle alles mõni aeg tagasi meie ajalehed. Tean sedagi, et rakke on mitmesuguseid – musklite rakud, aju ja maksa rakud – kõik nad erinevad üksteisest.»

«Väga hea. Kuid et viia teid meie vestluse teema juurde, peame, vastupidi, ilmutama huvi selle vastu, mis kõigil rakkudel on ühist.»

«Mis see siis on?»

«Kõik rakud meenutavad väikest kapslit vedelikuga. Vedelik on asustatud kõige mitmekesisemate molekulidega ning molekulide kogumitega, kus nad moodustavad hämmastavalt huvitavaid ehitisi. Me oleme alles kaugel nende molekulide ja kehakeste funktsioonide mõistmisest, kuid juba praegu on selge, et rakk on nagu väike vabrik, mis saab tegutsemiskäske, kusjuures neid võivad tuua kas organismi teistest osadest tulnud molekulid või siis antakse nad edasi närvisüsteemi telegraafi kaudu.»

«Kuid vabrik vajab ju energiat!»

«Oigus, rakk saab energiat töökäskude täitmiseks päikeseenergia või toidu arvel.»

«Kas te teate, kuidas see toimub?» esitasin küsimuse nüüd juba mina.

«Üldjoontes on see meile teada. Kuid ärgem kaldugem teemast kõrvale. Kui see hakkab teid huvitama, toon teile lugeda populaarseid artikleid. Praegu aga ütlen vaid, et käsklustele

kuuletudes on rakk võimeline saadud energia arvel tegema kõige mitmesugusemat tööd – mehaanilist, keemilist, elektrilist.»

«Aga vaimne tegevus?»

«Noh, loomulikult on ka siin ametis rakud; eluprotsesside kogu lõputu mitmekesisus teostub meie organismi moodustavate rakkude müriaadi ühise, kooskõlastatud tegevuse näol.»

«Ei saa öelda, et mul oleks kõik selge peale üldiste ideede.»
Bioloog hakkas naerma.

«Uskuge, ka meie oleme veel väga kaugel enamiku eluprotsesside mehhanismi mõistmisest, kuid tänapäeva bioloogia tohtu suureks saavutuseks on mõningate üldiste seaduspärasuste avastamine. Nende hulka kuulub täpselt kindlaks tehtud fakt, et raku põhiliseks tööks on iga sorti valgumolekulide tootmine.»

«Ma olen kusagilt lugenud valgumolekulide lõpmatust mitmekesisusest.»

«Mitte päriselt nii. Ehkki rakk toodab rohkem molekulide sorte kui ükskõik milline nõobivabrik nõopide sorte, on toodetavate molekulide tüübid täiesti kindlad. Rakk töötab mitmesuguste erinevate, kuid ükskord ja igaveseks kinnitatud jooniste järgi. Niisiis, viimastel aastatel on kindlaks tehtud vabriku peakonstruktor. See on eriline molekul, mida lühendatult kutsutakse DNH.»

«Aga kui öelda täielikult?»

«Desoksüribonukleinhape.»

«Olgu juba parem DNH. Ja mis siis selgus?»

«Oo, tuleb pidada veel üks pikk monoloog. Vabriku juhtkond on peidetud nõndanimetatud rakutuuma. DNH on tegelikult väga pikk molekul. Tema tähtis iseärasus on see, et ta on ehitatud nelja sorti tükikestest. Ma lihtsustan, ent küllap te ise hiljem selgitate välja üksikasjad. Mina aga tahaksin jutustada vaid avastuse põhiideest. Need tükikesed on paigutatud mingis täiesti kindlas korratus järjestuses. Nüüd idee number üks. Raku mitmekesise tegevuse plaan, mis antakse muutumatul kujul edasi rakult tema lõputuile järeltulijaile (viimased tekivad tänu raku jagunemistele), on kodeeritud nende tükikeste spetsiifilise järjestuse näol.»

«Hästi, ent mis on siin tegemist lõpmata mitmekesiste valgumolekulide tootmisega?»

«Aga kust te võtsite, et valgumolekulid on lõpmata mitmekesised?»

«Ei mäleta, kuid kusagilt olen lugenud.»

«Teatud mõttes on see õige, ent tähelepanuväärne on asjalu, et kõik valgumolekulid on ehitatud kahekümnest erinevast

koostiselemendist. Ainult kahekümnest. Aga paigutades neid elemente erinevas järjestuses, võib saada ammendamatu rikkaliku valiku molekulide erikujusid, mis sobivad nii-öelda igaks elujuhtumiks ja igaühe maitsele.»

«Jutustage valkude tootmisest, te olete minus uudishimu äratanud,» palusin ma.

«Kas teate, mis on trükikoja matriits?»

«Muidugi.»

«Niisiis kujutlege, et valasite iga trükirea eraldi. Kui te teete katset üht trükiridadest matriitsiga kokku sobitada, nii et kõik kümmud satuksid vastavatesse lohkudesse, siis õnnestub seda teha vaid ühelainsal viisil – pannes trükirea omaenda kohale.»

«Selge.»

«DNH molekul etendabki sellise matriitsi osa, tähestik on tal neljätäheline, aga ridu on kakskümmend. Trükirea osa minu jämedas skeemis mängib molekul, mida tähistatakse lühendatult RNH.»

«Võite mitte nimetada tema täielikku nime. Jätkake, palun.»

«DNH molekul asub keskkonnas, kus on küllaldaselt hulgal tema nelja sorti ehitusplokke. Eelkõige valmistab DNH trükiridu, s. o. toodab RNH-molekule.»

«Te räägite sellest niiviisi, nagu olekski tõepoolest jutt trükikojas valatud ridadest. Aga siin toimub ju ülikeeruline keemiline protsess!»

«Olen rõõmus, et te sellest aru saate. Ma lihtsalt ei peatu nähtuse keemilisel küljel, vaid räägin üksnes struktuuriskeemist,» täpsustas minu vestluskaaslane. «Iga rida on spetsialiseeritud RNH-molekul, mis on võimeline haarama üht valgumolekuli ehituskividest. Pärast seda, kui RNH-molekulid on valmis ehitatud, siirduvad nad jahile oma valgumolekuli ehituskivide järele, tirivad need DNH-molekuli juurde (jälle ma lihtsustan pilti, kuid see ei muuda asja põhimõttelist külge), iga rida leiab oma koha ning valgumolekuli ehituskivid osutuvad paigutatuks rangelt kindlaksmääratud järjestuses, nad ühinevad ja moodustavad valgumolekuli.»

«Kuid on tarvis teha ju väga mitut sorti valgumolekule.»

«Täiesti õige. Aga kujutlege DNH-molekuli mitte matriitsi ühe lehena, vaid suure hulga lehtedena – iga leht fabritseerib oma valku.»

«Vapustavalt huvitav! Mõelda vaid – niivõrd keerukas keemiline protsess, mis toimub «iseenesest»?! Ei, see on tõesti hämmastav. Ma mõtlen praegu, et kaasaja tehnika taseme juures pole võimalik projekteerida automaatfabrikut isegi ühtainsat sorti

valgu tootmiseks. Siin aga, elusas materias, mikroskoopilises mastaabis on korraldatud keerukaim tootmine, mis allub väljastpoolt tulevatele käskudele . . . Jah, kõlab nagu muinasjutt.»

«Just nende asjadega peaksitegi te tegelema hakkama ning näitama, et midagi muinasjutulist selles pole, – kõigi molekulide käitumine allub neilesamadele reeglitele, mis kehtivad lihtsates mittebioloogilistes süsteemideski.»

«Noh, teate, siis tuleks muuta elukutset, mina aga olen selleks juba liialt vana.»

«Hm. See on juba teine küsimus, mille peate otsustama ise. Mina aga tahtsin vaid maalida teile reaalse pildi, mis praegu bioloogiateaduses on kujunenud.»

Nende sõnadega jättis minu bioloogist kaasvestleja hüvasti ning lahkus, mina aga piinasin veel kaua end mõttega, miks ma 10–15 aastat tagasi ei hakanud tegelema nende probleemidega. Aeg näitas, et mulle hästi tuntud, osalt minu enda poolt arendatud ettekujutused orgaaniliste molekulide käitumisest on ülekantavad rakus toimuvatele keerulistele protsessidele. Needsamad reeglid, samad seaduspärasused, sama vundament, mis füüsikateaduselgi. Tõepoolest, kõige tähtsama selles skeemis – molekulide ühitamise niiviisi, et ühe molekuli lohk langeks kokku teise kühmuga – olin ma kindlaks teinud juba neljakümnendate aastate algul kui kõigi orgaaniliste kristallide ilmingimatu omaduse. Osutus, et sama reegel valitseb ka keerulistes süsteemides ning mitte ainult kvalitatiivselt, vaid ka nendesamade geomeetriliste vastavuste kehtides, mis on omased kogu lihtsate orgaaniliste kristallide maailmale.

Hoolikalt uuritakse praegu ka asja energeetilist külge. On näidatud, et kõik ülalkirjeldatud imelised protsessid toimuvad täielikus kooskõlas energia jäävuse seadusega. Energia, mis on vajalik molekulide edasikandmiseks ja konstrueerimiseks, saadakse päikeselt või toidult. Niiviisi on komplitseerumine, võrreldes lihtsate keemiliste reaktsioonidega – molekulide kokkupõrkamise, purunemise ning ühinemisega –, üksnes kvantitatiivne.

Tänapäeva molekulaarbioloogias on rohkem mõistatusi kui lahendatud probleeme. Sellele vaatamata näitab teadaolev täie kindlusega, et keerukaimate eluprotsesside aluseks on füüsikaseadused, ühised kõigi osakeste jaoks, millest on ehitatud universum.

Ainult seda ma tahtsingi alla kriipsutada.

12. peatükk,

... millest lugeja saab nõrdimusega teada, et füüsik ei näe põhimõtetlist erinevust elementaarosakeste liikumise uurimise ja inimhinge püüdluste vahel.

Psühholoogia

Väga solvav on, kui sind nimetatakse kruvikeseks. Noh, aga kui veidi soliidsemaks detailiks või isegi masinaks? Mitte inimene, vaid hingetu masin? Enamik meist solvub ikkagi. Tõesti, ei kõla just komplimentina. Aga siiski... XX sajandil?! Kas mitte küllaltki sageli ei kutsu masin esile siirast imetlust oma harmooniliste proportsioonide või kadestusväärse kergusega, millega ta sooritab keerukaid liigutusi? Ühesõnaga, minu arust on komplimentid – ilus nagu kosmoserakett või taibukas nagu «Strela» (on olemas selline arvuti) – täiesti kaasaegsed.

Ja ikkagi, kui jätab naljatleva tooni ning hakkad täie tõsidusega kaasvestlejat veenma, et inimese ja masina vahel pole põhimõtetlist erinevust, kohtad resoluutset vastuseisu. Teiega ollakse valmis nõustuma, et masin võib inimesest paremini lahendada kui tahes keerulisi ülesandeid, et ta võib täita kõige pead-murdvamaid käsklusi. Kuid masin, mis õpib, masin, mis loob... ja (vahest kõige ägedam vastuväide) masin, mis tunneb, – see on juba, vabandage väga, liig! Kuidas leppida, kuidas nõustuda sellega, et masin on võimeline midagi läbi elama, et ta võib armastada ja vihata, võib kütkestuda looduse ilust! Ja ometi on suur rühm looduseuurijaid (kelle hulka arvab end autor) veendunud printsiipiaalse vahe puudumises inimese ja masina vahel.

Keegi ei arva, et meie teadmiste praegusaegse taseme juures võiks luua kunstlikku inimest või millimeetripikkust lihastki. Pole oluline, et praktilised teed kõigi eluprotsesside modelleerimiseks on alles täiesti selgusetud. Ei mängi rolli ka see, et tulevik võib-olla näitab meile, et elunähtustest võtavad osa keerulisemad ja peenemad protsessid kui elektrivoolud ja keemilised reaktsioonid. Asi pole selles. Tähtis on vaid üks: viimaste aastakümnete avastused on viinud järeldusele, et kõik eluprotsessid, mille mehhanism on enam või vähem teada, alluvad samadele looduseadustele mis kunstlikult esilekutsutud protsessidki ning on modelleeritavad.

Miks siis mitte uskuda, et edu, mis on saavutatud päris tee algul, ei võiks saata meid ka edaspidi? Seda enam, et looduse-uuriija ei saa kahelda elu kõigi füsioloogiliste, emotsionaalsete ja ratsionaalsete avalduste materiaalses aluses. See, et me võime julgelt kaitsta väidet printsiipiaalse erinevuse puudumisest masina ja inimese vahel, näib olevat kõige suurem, kõige tähelepanuväärsem samm XX sajandi loodusteaduses. Kõik revolutsioonilised saavutused füüsikas, millest oli juttu, taanduvad tagaplaanile selle hämmastava saavutuse ees. Ja tõesti, kas võib olla midagi tähtsamat avastustest, mis lubavad inimesel uut moodi hinnata isennast? Sellega võib kõrvutada vahest ainult inimese lihtsaimatest loomadest evolutsioonilise põlvnemise tõestamist. Darwin (tahtis ta seda või mitte) purustas usu inimhinge jumaliku päritolusse. Lihtne loogika sundis mõtlema, et kui mingi vaimne miski eksisteeribki, siis pidi see kujunema aegamisi, modifitseeruma koos füsioloogiaga.

Kuid siiski, pikki sajandeid näis hingeelu taandamatus füüsikalistele nähtustele enamikule inimestele ilmne olevat. Tõsi küll, ajalugu tunneb tervet rida järjekindlaid mõtlejaid, kes väitsid, et mõtlemine on materiaalne. Ent need väljaastumised olid enneagedsed, polnud loodusteaduse arenguga ette valmistatud ning näisid seepärast vulgaarsed ja õigustamatud.

Meie praegusaegne veendumus, et inimese hingeelu on põhimõtteliselt taandatav ajus ja närvisüsteemis toimuvatele füüsikalistele nähtustele, on tekkinud edusammude tulemusena kahes teaduse valdkonnas. Ühelt poolt õnnestus ehitada keerukaid automaate, mille töös leiti analoogiaid inimaju tegevusega, teiselt poolt muutusid tunduvalt selgemaks meie teadmised aju ja närvisüsteemi töötamise mehhanismist, mis osutus sarnaseks elektronlampidel või pooljuhtseadistel ehitatud automaatide tegevusmehhanismiga.

Milles siis peitub see sarnasus, mis viib meid niivõrd kaugeleulatuvatele järeldustele?

Et masin ja aju võiksid tegutseda, peavad nad tundma fakte, seadusi ja käsklusi, mis võivad kehastuda tegudeks. Tohtu mõtete rikkus on kirja pandav väikese hulga tähtede abil, mille mitmesugused kombinatsioonid moodustavad sõnu, sõnade ühendid aga fraase. Kuid pole hoopiski tingimata tarvis kasutada andmete üleskirjutamiseks kümnekonda tähemärki. Morse tähes-tiku punkt ja kriips tulevad selle ülesandega niisama hästi toime. Just selline kahemärgiline arvude ja sõnade esitus teostub elektronarvutis elektrilise impulsi abil, mis võib «olla» (punkt!) või «mitte olla» (kriips!) masina ühes mitmekümnest tuhandest organist. Niiviisi on igal hetkel kõik andmed ja masina poolt täidetavad korraldused määratud punktide ja kriipsude jaotusega tema elektronlampide vahel. Igal lambil on võimalikud ainult kaks erinevat seisundit.

Lambi osa täidab elusorganismis närvirakk – neuron. Närvi-rakke ühendavaid juhtmeid nimetatakse aksoniteks. Osutub, et aksonit mööda levivad närviimpulsid võivad kas «olla» või «mitte olla». Tekkinud impulssidel on standardne kuju. Samuti nagu impulss elektronarvutis, nii viib närviimpulss neuronisse ainult kaht liiki informatsiooni – punkti või kriipsu.

Probleemi hoolikas uurimine, millest me andsime lugejale mõne fraasiga vaid nõrga ja jämedalt lihtsustatud ettekujutuse, näitab, et põhiliselt on närvisüsteem ehitatud umbes niisamuti nagu elektronarvutigi.

Kuid enesestki mõista ei saavutatud veendumust analoogia õigsuses ainuüksi niisuguse üldise tõestuse abil. Palju jõupingutusi on kulutatud selleks, et masinate abil reprodutseerida inimese mõtetegevuse spetsiifikat. Suurimat muljet avaldavad masinad, mis on võimelised õppima, mille tegevusprogrammi on sisse viidud vigade meelepidamine ning juhis nende vältimiseks teist-kordsel tegevusel. Hämmastavad on samuti masinad, mis mängi-vad kaarte, doominot ja malet. Kuid nendest on juba väga palju kirjutatud ning meil pole mõtet nende kirjelduste arvu suurenda-da.

On palju mängu, mis pakuvad partnereile võrdseid šansse. Näiteks mäng «Kott, kivi ja käärid». Ei tunne?

Käsi väljasirutatud sõrmedega – see on kott, käsi harali sõr-medega – käärid, rusikas käsi – kivi. Mõlemad mängijad «vis-kavad» üheaegselt välja ühe neist kujundeist. Pole raske meelde jätta, kes võidab: kott neelab kivi, kivi nüristab kääre, käärid lõikavad kotti. Igale kujundile on olemas oma vasturohi ning

seepärast näib, et partnerite käte üheaegsel väljaheitmisel on neil kummalgi võiduks võrdsed šansid. Ja ometi leidub inimesi, kes selles mängus enamasti alati võidavad. Kuidas see võimalik on? Järele mõelnud, mõistame, milles on siin asi. Enamik mängijaid peab kinni oma lihtsast taktikast. Näiteks: praegu ma tegin käärid, minu partner arvab, et järgmine kord teen mõne teise kujundi, mina aga petan teda ja teen uuesti käärid jne.

Tähelepanelik partner saab üsna pea aru mis tahes taktikast ning tal on seetõttu mängus eeliseid. Aga kuidas oleks vaja käituda tema vastasel? See peab jälgima vaid üht: et poleks mitte mingisugust taktikat. Parim mäng on see, kus kujundid järgnevad üksteisele statistilises korrapäratuses.

Niisiis on mäng kergesti programmeeritav ning masin osutub kõige paremaks mängijaks. Pikemaajalise mängu järel on võit alati masina poolel. Ta mõistatab suurepäraselt ära võõra taktika, ise aga mängib juhuse seaduse järgi.

On võimalik samuti luua masinaid, mis on võimelised kirjutama värse ja looma muusikat. Arusaadav, et keegi peab neile seda kõike enne õpetama. Ja siis võib masin juba meie päevilgi hämmastada isegi oma õpetajat – luuletajat või heliloojat. Kord näitas mulle üks masinluule entusiast masina poolt kirjutatud luuletust «Must päike». Ta palus oma nime mitte nimetada, et mitte tõmmata endale ülemuste viha keeruliste võrrandite lahendamiseks loodud masina kasutamise eest muudel eesmärkidel (tõsi küll, ta lülitas masina värsside tegemiseks sisse ainult lühikeste öiste pauside ajal). Masinasse oli sisse pandud viie või kuue poeedi sõnavara. Omadussõnade valikureeglid olid ette antud sellisel kujul, et masin kombineeris poetilisi kujundeid, võttes neid erinevate poetide erinevatest luuletustest. Mõnikord tulid välja üllatavad kombinatsioonid. Entusiast, kellest ma jutustan, hindas masinat kui poolfabrikaatide meistrit. Saades masinalt fraase, mis olid koostatud ilusasti, ehkki ilma erilise mõtteta kuulsate poetide sõnavara alusel, lõi ta pärast väikesi korrektiive efektseid värse sümbolistide stiilis.

Mõistagi on see kõik praegu vaid ajaviite, kuid üsnagi paljulubava ajaviite tasemel. Kahtlemata võib masin kirjutada värse ning pole olemas mitte mingisuguseid põhimõttelisi kitsendusi nende luuleteoste arukuse ja ereduse astme osas. Võib mitmekordistada imetlusväärsete näidete arvu inimaju asendamisest masinaga. Ja siiski oleks absurdne probleemi lihtsustada, seada võrdsusmärki masina ja inimese vahele ning oodata tehisaju loomist lähemas tulevikus. Erinevused aju ja masina vahel on tohutud. Sajad miljonid aastad evolutsiooni löid vapustava masina –

aju, milles «elektronlampide» – neuronite hulk mõõtab kümne miljardiga, kusjuures «masina» maht on vaid veidi üle liitri (1200 cm³). Sealjuures tarvitab iga «lamp» energiat, mis võrdub vaid ühe miljardikuga vatist. Võrrelge seda metallist tehtud masinaga, mis koosneb mõnestkümnest tuhandest lambist! Sellise ehitise maht ületab miljardikordselt aju mõõtmed; niisama palju kordi rohkem vajab ta ka energiat.

Erakordselt oluline erinevus aju ja masina vahel on aju ainulaadne kohandatus paralleelseks tegevuseks.

Ükski, kõige täiuslikumgi masin ei kannata mingit võrdlust ajuga ka töökindluse poolest, sest ajus on laialdaselt kasutusel üksikute osade vastastikuse asendatavuse printsiip.

Veel üks hinnang: aju mälu maht ületab miljon korda parimate kaasaegsete arvutite oma. Tõsi küll, spetsialistid ei pea seda erinevust just eriti suureks.

Huvitav, et ühes suhtes ületavad masinad juba praegu aju – nad töötavad kümneid tuhandeid kordi kiiremini.

«Ja siiski ma arvan, et tähtsam on kindlaks teha ja uurida ühiseid jooni, kui osutada tähelepanu erinevustele. Asi ei seisa hoopiski tehisinimese loomises. Seni pole näha, milleks seda vaja oleks. Praktilised eesmärgid seisnevad vaid automaatide loomises, mis hõlbustaksid inimese mõtlemistegevust. Tähtis on asja printsiipaalne külg – veendumus selles, et materialistliku maailmavaate raames pole olemas mingeid põhimõttelisi argumente niisuguste kunstlike elusolendite loomise võimaluse vastu, kes oleksid võimelised paljunema ja evolutsioneeruma, kellel esineksid emotsioonid, tahe ja mõtlemine kõige peenemates erikujudes.» Nõnda kirjutab akadeemik A. N. Kolmogorov ja meie viitasime temale sellepärast, et säärase julge ja terava arvamuse puhul (millega paljud pole nõus) on riskantne välja tulla ilma viiteta spetsialisti autoriteedile.

Ma saan väga hästi aru, et mõned leheküljed teksti, isegi kui need lõpetada viitega väljapaistvale autoriteedile, ei suuda ometi kõiki veenda. Sellise tähtsusega probleemisse tuleb süveneda nagu kord ja kohus ning tutvuda paljude viimastel aastatel ilmunud teostega.

Mina aga tahaksin lõpetada käesoleva peatüki veel mõne sõnaga masina emotsioonidest. Esimesel pilgul tundub veidrana juba taoliste sõnade ühendaminegi. Kas tõesti autor väidab, et masin võib tunda erutust ilusat päikeseloojangut nähes? Kuid paljud ju nõustuvad sellega, et masin näeb loojangut nii nagu televisiooniaparaat. Edasi, kerge on nõustuda, et masina mälus

võivad kirjas olla tuhanded looduspildid, millega ta saab nähtut võrrelda. Arvatavasti ei kutsu esile vastuväiteid seegi, et on võimalik programmeerida ka esteetilisi kriteeriume – värvivarjundeid, vormitäiuslikkust ja muud. Järelikult on masin võimeline andma hinnangut sellele, mida ta näeb. Niisuguse hinnangu välised avaldused (kõik, mida soovite: hüüatus «ah kui ilus!», sügav ohe ja isegi pisarad silmis) on mõistagi teostatavad insenerivahenditega. Mis siis veel jääb? «Kuidas mis,» hüüab lugeja, «aga sisetunded!» Ent nendest ei tea me ju mitte midagi ega saagi teada... Ons meil teada meie kaaslanna tunded, kui ta imetleb päikeseloojangut koos meiega? Selles asi ongi, et elu ja mõtlemise määratlemine võib olla ainult funktsionaalne. Täiuslik automaat, nagu teie kaaslannagi, kinnitab teile tuliselt, et nii tema kui ka teie vaatate asjadele ühtemoodi ning teie mõlema vaimustusepuhangutes pole mingit erinevust.

Nõustunud põhiideega, peame ühtlasi mõönma, et mõtleva olendi hingeelu võib ja peab olema loodusteaduse uurimisaineks. Sel ülesandel pole mitte sünteetiline, vaid analüütiline iseloom. Uuriija, kes selle kallale asub, on umbes samasuguses situatsioonis nagu insener, kes uurib tundmatu ülikeerulise masina võimalusi ja tegutsemisreegleid.

Juba on tehtud suuri edusamme ajupiirkondade lokaliseerimisel, mis vastutavad mitmesuguste elamuste ja toimingute eest. On küllalt alust arvata, et aastakümnete pärast saavutatakse selles suunas ülisuurt edu. Ja juba praegu on meile selge, et loodus on suurim konstruktor. Ta on sadade miljonite aastate jooksul loonud erakordselt keeruka ja täiusliku masina. Tulevane analüüs aga suudab välja eraldada üldinimlikud omadused – mehhanismi osad, mis on omased kõigile inimestele. Ehkki juba praegu on teada, et alles äsja ilmale tulnud «masinas» on olemas arvutu hulk pärilikkuse teel edasiantud sünnipäraseid iseärasusi. Peale selle on see «masin» ette valmistatud nende faktide ja reeglite meelespidamiseks, mida talle edaspidi õpetab elu. Aga tema kasvatamine ja õpetamine seisab tegutsemise, mõtlemise ja emotsionaalsete elamuste programmi lakkamatus täiendamises.

Mõistagi oleme alles lõpmata kaugel füüsikaliste protsesside kirjeldamisest, mis oleksid adekvaatsed mõttetegevusega.

Ja sellest hoolimata avaldab juba ainuüksi üldine idee hingeelu füüsikalisest olemusest kahtlemata suurt mõju psühholoogia arengule.

Lõpuks pole me ju suutelised protsesse ammendavalt kirjeldama ka lihtsamates loodusteaduse harudes, isegi keemias. Kuid see ei tähenda hoopiski, et loodusteadus taganeb võimetuna. Kui

praegu pole veel võimalik anda nähtuse täielikku teoreetilist kirjeldust, siis otsivad teadlased empiirilisi ja poolempiirilisi seaduspärasusi. Ja ehkki need on üksikud eri reeglid, mille tulenemist üldistest loodusseadustest ei saa esialgu veel tõestada, teenivad nad siiski edukalt teadust, kirjeldavad nähtust kvantitatiivselt ning lubavad sündmusi ennustada.

Selline lähenemine on võimalik ka kaasaegses psühholoogias; järelikult avaldavad mõtlemise füüsikalised uurimismeetodid olulist mõju probleemidele, mis on seotud inimiseloому ja -käitumise uurimisega.

Viimased aastakümned näitavad psühholoogide püüdu kasutada rangelt määratletud mõisteid ning tuua nende tarvis sisse ehkki tinglikke, kuid siiski arvulisi hinnanguid. Mõõtmised aga eeldavad eksperimenti. Ja tõesti, enamiku psühholoogiliste uurimuste puhul kohtame huvitavaid katseid.

Ilmselt on võimalik püstitada kaht eksperimentaalset ülesannet, mille eesmärgiks on inimeste käitumisreeglite või iseloому seaduspärasuste väljaselgitamine. Esiteks: võib uurida ühe inimese käitumist, ütlemet, tema reageerimist ühesugustele situatsioonidele mingi ühe parameetri muutudes. Jutt võib näiteks olla taipamiskiirusest sõltuvalt kellaaajast või sõltuvalt koha kõrgusest mäkketõusul. Tõenäoliselt võib mingit üht subjekti kaua aega uurides koostada tema kohta üsna detailse psühholoogilise kaardi. Kuid üksikindiviidil Ivanovil või Petrovil avastatud seaduspärasused ei paku iseenesest vististi kuigi suurt huvi. See on sama, mis ammendava põhjalikkusega läbi uurida mingi ühe keemilise reaktsiooni molekulaarne ja elektroonne mehhanism. Sellise uurimise tulemus ei anna materjali teooria loomiseks, mis kehtiks kogu keemias.

Arusaadav, et põhilist huvi pakub tuhandete inimeste käitumise ja iseloому uurimine, üldiste seaduspärasuste leidmine mitmesuguse vanuse, soo ja sotsiaalse seisundi esindajate jaoks. Selles on teise ülesande mõte.

Taolised uurimused, mis pakuvad juba iseenesest huvi, on vajalikuks ettevalmistuseks psühholoogia tulevastele saavutustele. Ja empiirilised lähenemisviisid teistel loodusteaduse aladel on nüüd ja edaspidi aluseks psühholoogia vastavate nähtuste füüsikalisele mõistmisele.

Ettekujutuse saamiseks kaasaja psühholoogia meetodeist toome mõne näite. Need on huvitavad oma sisult ning neis ei puudu ka mõningane teatraalsus. Aga üks otsustage ise.

Näib, et materiaalsed stiimulid on võimas tõukejõud raskuste ületamisel. Kuidas seda väidet kontrollida?

Uurimuse autorid valisid rea ülesandeid, mille täitmine nõuab tähelepanu mobiliseerimist ja hõlbustub harjutamisega. Oletame, et jutt on niisugusest katsest. Ketta külge, mis pöörleb kiirusega üks pööre sekundis, mitte kaugemale äärest on joodetud ruutsenti-meetrisuurune metallplaadike. Katsealune võtab kätte metallpliiatsi – elektroodi, millega peab puudutama plaadikest ning hoidma teda võimalikult pikka aega kontaktis sellega. Kokkupuutumine suleb vooluahela ja võimaldab niiviisi mõõta aega, mille kestel pliiats on surutud vastu plaadikest. Esimesed katsed on üldreeglina vähe edukad; seejärel omandab enamik katsealuseid üsna kiiresti vilumuse ja pliiats libastub plaadilt suhteliselt harva.

Katseid sooritati isikute rühmadega, kes olid erineval määral asjast huvitatud. Üks rühm oli katse edukuse suhtes ükskõikne – neile öeldi, et korraldatakse psühholoogilisi uuringuid ja igaüks neist figureerib selles nimetu statistilise ühikuna. Teise rühma liikmetele oli lubatud ülesande eduka täitmise korral teatud rahasumma. Ning lõpuks valiti välja katsealused, kellele edu oli eluliselt tähtis. Selline rühm moodustati järgmisel viisil.

Mingisugusel konkursil oli esitatud kümme avaldust ühe koha peale. Uurimuse autorid said loa ametialaste katsete kõrval korraldada ka endi eksperiment. Seejuures polnud konkureerijatel teada, et psühholoogiline katse on lisatud väljaspool programmi.

Autorid kasutasid huvitatuse astme tinglikke arvulisi näitajaid ning joonistasid välja ülesande täitmise edukuse kõverad sõltuvalt stimuleerimise astmest. Märkimist väärivad kaks tulemust. Esimene: parim resultaat saavutatakse keskmise huvitatuse astme korral. Teine: mida keerulisem on ülesanne, seda väiksem huvitatuse aste toob edu. Minu arust üsna ootamatu tulemus. Nähtavasti kaalub erutus üles huvitatuse. Eksamineerijatel tasub seda tulemust meeles pidada.

Elu seab küllaltki tihti igaühe meist paratamatu valiku ette. Tuleb otsustada, milline kahest kleidist osta, millist teed mööda jalutada, kuidas vaba aega veeta – kas kinos või staadionil. Enne kui teeme valiku, paistavad mõlemad variandid umbes võrdväärsed. Kuid viimaks on otsus tehtud ja kõhklused kõrvale heidetud. Kas ei hakka kahju kõrvaleheidetud võimalusest? Selle asjaolu selgitamiseks korraldati massilised katsed. Üks neist oli järgmine.

Tütarlapsed pidid andma oma hinnangu kaheteistkümnele objektile, näiteks hindama kahteist nukku. Seejärel valiti nendest kaheteistkümnest välja kaks keskmiselt meeldivat ning lubati

nendest kahest valida kas üks või teine. Pärast seda tegid eksperimentaatorid korduskatse: tüdrukute ette seati ritta uuesti needsamad kaksteist eset ning paluti neid jälle hinnata. Ja mis välja tuli? See ese (nendest kahest), mida ei peetud valiku vääriliseks, oli nüüdseks juba kaotanud osa oma meeldivusest ning sai madalama hinnangu, seevastu aga väljavalitud ese näis nüüd kaugelt parem kui enne, esimesel hindamisel. Järeldus on siit ilmselt üks: üldiselt ei tunta kahju kõrvaleheidetud variandist, veel enam – see, mis me ise käest ära lasksime, paistab vähem vajalikuna. Muide, kui järele mõelda, siis on see vägagi mõistlik ja kasulik instinkt.

Katse tulemust võib üldistada. Keegi kõhkleb kahe otsuse vahel. Kummalgi on omad plussid ja miinused. Kuid viimaks on valik tehtud. Nüüd on kõrvaleheidetud otsuse positiivsed küljed omapärasel dissonantsis kujunenud situatsiooniga. Dissonants on ebameeldiv. Astub tegevusse võimas instinkt – vabaneda ebameeldivatest elamustest. Aga kuidas dissonantsi vähendada? Veenda end selles, et tehtud valik on õigustatud, kõrvaleheidetud variant aga halvem, kui alguses näis.

Seda üldist reeglit osutus võimalikuks kinnitada kõige mitmekesisemate psühholoogiliste eksperimentidega.

Ma tõin need näited tõendina sellest, et psühholoogia meetodid muutuvad sarnaseks täpse loodusteaduse meetoditega. Me leiame siin neidsamu tüüpilisi jooni: mõistete range määratlemine; mõiste kvantitatiivse iseloomustamisviisi väljatöötamine; eksperiment; vaatlustulemuste statistiline töötlus; üksikute seaduspärasuste leidmine ja nende üldistamine reegliteks.

Mõistagi jääb palju küsimusi vastuseta. Ja siiski tuleb alla kriipsutada, et psühholoogias toimub sama protsess, mis loodusteaduse teistelgi aladel. Ette nähes psühholoogiliste nähtuste võimalikku füüsilist interpretatsiooni, rajavad teadlased sellele teed objektiivsete katsete korraldamisega.

13. peatükk

... näitab, et tuntud tõde – või-
matu on hõlmata hõlmamatut –
sunnib füüsikuid paratamatult ja-
gunema teoreetikuteks, eksperimen-
taatoriteks ja «aparatuurniku-
teks».

Füüsikud tegelevad teadusega

Kõik ülikoolide füüsikateaduskondade lõpetanud nimetavad end veendunult füüsikuteks. Nii on kirjas nende diplomitel. Tõepoolest, kõrgema kooli lõpetamise momendil on neil palju ühist – noored inimesed on kuulunud ühtesid ja neidsamu loengukursusi, läbi teinud ühe ja sama laboratoorse praktika, ühesõnaga, on ühtemoodi haritud.

Mõni kuu pärast lõpetamist on nad juba tööl. Kus? Ülikooli kantseleis nimetatakse teile keemiaseadmete tehast, hüdro-meteoroloogiajaama, metallurgiainstituuti, keemiliste reaktiivide uurimisega tegelevat instituuti, lennukitehast, kriminalistikainstituuti, arheoloogiajaama, aatomilaeva.

Astuge sisse nende juurde laboratooriumidesse ning teile tor-
kab silma aparatuuri sarnasus: mitmesuguste ametkondade asu-
tused on muretsenud oma füüsikute jaoks ühed ja samad spekt-
rograafid, röntgeniapaaradid, krüogeenikaseadmed, arvutid...
Tekib kujutlus, justkui oleks meil tõepoolest tegemist kindla-
piirilise elukutsega.

Nüüd aga viige needsamad lõpetanud aasta kümne pärast
uuesti kokku. Muidugi kohtuvad nad heameelega, meenutavad

vaimustusega oma tudengipõlve lõbusid, kiidavad häid ja laidavad halbu pedagooge, kuid kellelgi neist ei tule pähe oma tööasjus üksteisega nõu pidada, sest liiga kaugele on nad üksteisest eemaldunud. Nende tööaladel pole enamasti enam midagi ühist, nende töö erineb eesmärkide poolest, nad ise aga spetsiaalsete teadmiste iseloomult.

Ja kui jalutada kõigi nende asutuste laboratooriumides, kus töötavad meie tuttavad, hariduselt füüsikud, panete tähele veel üht asja: aastate jooksul on nad soetanud endale kaasvõitlejaid, kes hoiavad kodus hoopis teist laadi diplomeid – keemiku-, bioloogi-, arsti- või inseneridiplomit. Teadmiste kogusummalt on meie spetsialistid võrdsustunud mainitud töökaaslastega – mittefüüsikutega, ja kõik nad lahendavad nüüd ühtesid ja samu ülesandeid.

Füüsikaliste ideede ja uurimismeetodite ühtsus eranditult kõigil loodusteaduse ja tehnika aladel lubab noorel, füüsiku haridusega inimesel üsna kiiresti kus tahes oma koha leida. Osa füüsikat, mis pole töö juures vajalik, ununeb kiiresti ning see-eest täiendab ta end teadmistega valitud kitsalt erialalt. Vastupidi, eriharidusega noor, kes tegeleb füüsikaga kitsal alal, täiendab oma haridust vajalike teadmistega füüsikast. Nii nad saavadki võrdseks.

Füüsikateaduskonna lõpetanud noored jaotuvad kahte põhilist kanalit pidi. Osa neist pühendub loodusteadusele, tunduvalt suurem osa aga hakkab tegelema füüsika rakendustega, s. t. läheb rakendusteaduse käsutusse.

Esimesel juhul teenib füüsiku haridus otseselt professionaalseid eesmärke. Looduse üldiste seaduste hea mõistmine, teoreetilise füüsika matemaatilise aparatuuri vaba valdamine on praegu hädavajalik kõigile looduseuurijaile, kavatsegu nad tungida aatomituumade muundumiste saladustesse või siis uurida keemilisi, bioloogilisi ja geoloogilisi protsesse. Erialastes teadmistes esinevate lünkade täitmine ei valmista neile erilisi raskusi.

Teisel juhul relvastab füüsikaline haridus töötajat uurimismeetodi tundmisega. Ja kuna erialadistsipliinid mängivad siin suuremat osa, siis võimalik, et rakendusteaduste tarvis on füüsikuid parem ette valmistada spetsiaalsetes kõrgemates koolides.

Kuid ka need, kes rajavad vundamenti kogu kaasaegsele loodusteadusele, s. o. «puhtad füüsikud» pole kõik kaugeltki ühesugused.

Allpool näeme, et nendegi seas, keda ühendab elukutse ühtsus, on kihistumine vältimatu.

Loodusseaduste tundmaõppimisel joonistuvad küllalt selgesti

välja kaks käsitusviisi, millest märkigem kõigepealt eksperimen-
taalset. Selle põhituumaks on laboratoorne katse, mis on tegeli-
kult inimese poolt loodusele esitatud küsimus. Loodus hoiab
oma saladusi üsna visalt. Et neid ära mõistatada ja leida vastus
paljudele küsimustele, tuleb enamalt jaolt luua erilisi kunstlikke
tingimusi. Kõrged rõhud, ülikõrged temperatuurid, võimas val-
guse või raadiolainete voog – üksnes sellise rünnaku puhul alis-
tub loodus ning rahuldab uurija uudishimu.

Ent loodusteadustes on vajalik ka teine käsitusviis – teo-
reetiline. Katseandmete tähelepanelik vaagimine võimaldab uurijal
välja töötada nähtuse kulgemise skeemi ning välja mõelda
nähtuse mudelit. Kui kasutavad hüpoteesid on õiged, siis loo-
gilised arutlused koos matemaatiliste arvutustega lubavad tule-
tada järeldusi, mida on võimalik võrrelda eksperimentidega. Kui
tuletatud järeldused langevad eksperimentidega kokku, siis hüpo-
teesid on vähemasti tõepärased. Kui ei lange, siis tuleb nad
kõrvale heita.

Mõlemad käsitusviisid arenevad nii-öelda teineteisele vastu.
Uued eksperimentaalsed faktid, mis ei mahu olemasolevaisse
teoreetilistesse skeemidesse, nõuavad käibelolevate skeemide ja
mudelite muutmist. Uued teooriad viivad omakorda järeldustele,
mis pole veel katsetega kindlaks tehtud ning seavad teaduse
ette uusi eksperimentaalseid ülesandeid.

Teadlase ideaaliks on kahtlemata uurija, kes ühendab endas
neid mõlemaid käsitusviise. Real põhjustel, millest tuleb veel
juttu, on aga XX sajandi füüsikud küllaltki selgesti jagunenud
eksperimentaatoreiks ja teoretikuteks.

Meie aja teadlane, kes uurib loodust eksperimentaalsel mee-
todil, sarnaneb õieti väga vähe möödunud sajandite eksperimen-
taatoriga. Aastat viiskümmend tagasi peeti täiesti loomulikuks,
et ükskõik mis järku teadusemees sooritas katse algusest lõpuni
ise, omaenda kätega. Kui mina ülikoolis õppisin, töötas füüsika-
kateedris suurepärase eksperimentaator Konstantin Pavlovitš
Jakovlev. Täpselt kell 11 ilmus ta füüsikateaduskonna hoone
koridori, laitmatult triigitud ülikonnas ning lumivalges särgis
kõva püstkraega, mis toetas lõuga. Oma toas võttis Konstantin
Pavlovitš kuue maha, pani selga kitli ja suundus tööpingi juurde.
Ta tegi kõik vajalikud treimis-, tislari- ja klaasipuhumistööd ise.
Kõik ise! Algusest lõpuni!

Arusaadav, et selles on oma teatav võlu. Ent teaduse prae-
gune arengutempo on viinud seesuguste uurijate arvu nullini –
tööjaotus teaduses on muutunud niisama vajalikuks kui tootmi-
seski.

Ja siiski on mõõtmis- ja muu eksperimentaalse aparatuuri loomisest haaratud uurijad säilinud meie päevini ning moodustavad vägagi kasuliku teadlaste rühma. Muidugi tuleb ka nende seas ette natuure, kes on oma tööst väga kaasa kistud ning lähivad sellega äärmusteni. Üleliidulises Eksperimentaalmeditsiini Instituudis töötas minu naabertoas Jevgeni Vladimirovitš Komarov. Ta oli üks esimesi meie maal, kes ehitas keerulise seadme valguse kombinatsioonhajumise spektrite mõõtmiseks. Paar korda aastas kutsus ta mind oma tuppa ja pajatas mulle oma edusamumudest.

«Sain valmis,» rääkis ta rahuldustundega.

Ma olin vaimustuses ja kütkestatud tema seadmest – detailid olid hoolikalt sobitatud, kummitorud vee juurdetoomiseks korralikult paika pandud ja ilusate klambritega kinnitatud, klaas läikis musta lakitud puidu taustal. Kõik oli tehtud otstarbekalt ja kaunilt. Ma tundsin seda meistriteost vaadeldes esteetilist nauudingut.

«Aga siin on spektrogramm,» näitas Jevgeni Vladimirovitš. «Nõutaval tasemel, ei jää alla maailma parimatele näidistele.»

Aparaat oli kokku pandud Jevgeni Vladimirovitši enda kätega, väline kujundus oli samuti tema kätetöö, ent riista valmistamine oli siiski usaldatud töökodade hooleks. Ja see oli juba oluline samm edasi, võrreldes eespool kirjeldatud «totaalse» eksperimentaatoriga, sest Jevgeni Vladimirovitš küll arvutas, konstrueeris ja joonestas oma aparati, kuid ei valmistanud seda siiski tervenisti ise.

«Asuge kiiremini uurimiste kallale,» rääkisin ma Jevgeni Vladimirovitšile. «Praegu alles algab selle uue meetodi kasutamine ja te võite teistest ette jõuda, ebaselgeid küsimusi aga on arvutl hulgal.»

Jevgeni Vladimirovitš nõustus minuga, jättis hajameelselt nägemiseni, ise sealjuures oma kätetööd silmitsedes.

Paari nädala pärast märkasin ma oma naabri toa juures kokkukuhjatud kaste. Ma astusin sisse, toas valitses täielik segadus.

«Milles asi on, Jevgeni Vladimirovitš, mis on juhtunud?»

«Noh, näete, demonteerin. Saadan töökotta tagasi!»

«Kuidas tagasi? Kas midagi on siis korrast ära?»

«Ei, kõik oli korras, kuid mulle tuli pähe...» ja haarates mul nõobist, hakkas ta erutatult jutustama oma uuest väljamõeldud täiustusest. «Hoopis teine asi tuleb välja,» lõpetas ta.

Aparatuuri käikulaskmine lükkus poole aasta võrra edasi. Jevgeni Vladimirovitš asus uute arvutuste kallale. Niiviisi kordus

mitmel korral. Tal ei õnnestunudki oma aparati käiku lasta: 1941. aasta suvel läks Jevgeni Vladimirovitš rindele ega tulnud enam tagasi.

Kui keegi nõuaks minult füüsikute üksikasjalikku klassifikatsiooni, siis seda tüüpi uurijaid, kes on andunud mõõtmise ideele endale (aga mida mõõta, see on neile üksipuha), ei nimetaks ma mitte eksperimenteriteks, vaid «aparatuurnikuteks» (või ka aparatuuriteadlasteks, aparatuuriloojateks)¹. Pole tarvidust rääkida, et see on teadlaste armee väga vajalik väesalk; ilma nende uurijate visa tööta poleks õnnestunud saavutada paljusid hämmastavaid edusamme eksperimentaalses loodusteaduses.

Kuid XX sajandi tüüpiline eksperimentaator pole selline. Tema vaid otab, tellib või äärmisel juhul paneb kokku valmis aparatuuri. Täiesti võimalik, et ta ei orienteeru kuigi vabalt selle seadme ehituses, mille abil ta töötab. Kui miski ei klapi, pöördub ta nõuannete ja abi saamiseks teiste poole.

Seda tüüpi uurija talent seisneb eelkõige oskuses teravalt ja täpselt probleemi seada. Sellise uurimuse uudsus peab seisma uute, ebatavaliste tingimuste loomises nähtuse jaoks, mis avaksid seda ootamatust küljest, või siis näiteks uuritava aine mitmesuguste omaduste üheaegses kõrvutamises.

Mõnikord on eksperimendi tulemus otsekohe näha, nagu see on enamalt jaolt elektronmikroskoobi abil saadavate ülesvõtete korral või aine konkreetsete omaduste mõõtmisel. Kuid paljudel juhtudel nõuavad katseandmed kaasakiskuvat ja keerukat dešifreerimist. Pahatihti tuleb sooritada mahult kolossaalseid arvutusi ning võtta abiks kiired elektronarvutid. Eksperimentaator veedab siis suurema osa ajast kirjutuslaua taga, kuigi teoreetikuks nimetavad teda ainult aparatuurnikud.

Suurem osa eksperimentaatoreist on täiesti rahuldatud teadmisest, et on leitud uued huvitavad faktid, ning sellega nad loevad oma töö lõpetatuks. Mõnikord, kui selleks võimalus avaneb, võrdlevad nad leitud tulemusi olemasolevate teooriatega, isegi jälgivad võõraid teoreetilisi töid, kuid sealjuures otsivad kogu aeg ideid uute eksperimentide korraldamiseks.

Mõistagi, huvitavam on töötada niisuguse eksperimentaalse laboratooriumi juhatajal, kus katsetulemusi töötatakse ümber enda jaoks. Sellisel juhul kasutatakse eksperimenti omaenda ideede kontrollimiseks ning see on tõukeks oma teooria arendamisele ja täiustamisele. Ent harva juhtub seda, et ühes laboratooriumis saadud eksperimentaalsest materjalist piisaks teooria

¹ Autor kasutab siin venekeelset uudissõna «aparaturšistik». — Tõlk.

loomiseks ja kontrollimiseks. Vahe «oma» ja «võõra» eksperimenti vahel on hakanud kaduma.

Arvatavasti just sellepärast ei tahagi uurijad, kellel on teoreetilise mõtlemise soont, tihti peale ise eksperimente korraldada. Nad on peremehed kogu maailma eksperimentaalsete tööde üle. Kui aga ühe või teise teadusliku idee kontrollimiseks on tarvis korraldada spetsiaalne katse, siis pole teab kui raske kokku leppida samal alal tegutseva «puhta» eksperimentaatoriga, et see teooriale abi osutaks.

Üheksa kümnendikku füüsikateoreetiku tööst seisab mõtlemises; ülejäänud kümnendik langeb arvutustele, probleemi arutamisele ja töö valmiskirjutamisele. Selline intensiivne mõttetöö seisund on hästi tuttav teoreetiku perekonnaliikmetele ning isegi tema väikestele lastele.

«Maša, lähme isa juurde?»

«Ei tohi, ta töötab.»

«Ta ei tee midagi. Näed, lihtsalt istub tugitoolis.»

«Ei, töötab küll. Vaata tema silmi.»

Muide, asi pole tuttav ainult lastele. Kinorežissöörid on juba palju kordi kasutanud eemalviibivat, pinevat pilku «sisselülitatus» aju tunnusmärgina.

Tabellipidaja jaoks on teoreetik ebameeldiv nähtus. Kunas ja kui palju ta töötab? Võin lugejale kinnitada: teoreetiku aju tööpäeva kestus ületab kõige karmimad normid. Muidugi annab kõige suuremaid tulemusi töö kirjutuslaua taga. Ent mõttetegevus kestab kogu aeg – lõunalauas, istungitel, metroos; isegi kui teadlane oleks just nagu kinni teise tööga, ei lakka ometi järelduste, motiveeringute, vastuväidete jms. sorteerimine.

Kuidas sünnib uus teaduslik idee? Milles seisab loomingu mehhanism? Ma ei kahtle, et vastus nendele huvitavatele ja esialgu veel salapärasele küsimustele saadakse varem või hiljem kindlasti.

On teada, et eesmärgile viib üksteisele järgnevate loogiliste sammude rida. Kuid tee kulgeb läbi keeruka labürindi ning aju peab selles leidma õige suuna. Samm on astunud, kuhu astuda edasi? Teile on antud kümneid ja sadu võimalusi – igähte neist peab kaaluma. Nagu alpinist, kes enne jala toetamist kaua kaljunukki kobab, nii ka mõte passitab iga järgneva sammuga fakte, mida on vaja ära seletada, ideid, mida on vaja tagasi lükata või uude teooriasse «sisse kirjutada».

Selleks et teekond oleks edukalt läbi käidud, peab mõte äärmuseni pingul olema. Väike tähelepanu nõrgenemine – ja juba

ongi tehtud loogiline valearvestus; mälu vedas alt – ja oluline fakt jäi kõrvale.

Kes siis läbib edukalt teekonna? Kahtlemata vaid see, kel on hea mälu, kes oskab rangelt mõelda, kes omab võimet mitte kaotada keeruka loogilise skeemi juhtniiti. Nendele mõistuse omadustele tuleb veel lisada üks iseloomuomadus.

Ma olen mitmel puhul kuulnud selliseid sõnu: «Kord sattusin noorte füüsikute seltskonda – tublid poisid... Kuid teate, mis mulle ei meeldi? Räägivad kõigest väga kindlalt, isegi aplombiga. Paistab, et on üleliia enesekindlad.»

Mina arvan, et see pole juhuslik. Et saada heaks looduseuurijaks, on enesekindlus hädavajalik. Muidugi on jutt kindlast usust teadusliku mõtlemise jõusse, mitte aga jõhkardi iseteadlikust käitumisest, kes ei arvesta millegagi peale oma tahtmise.

Arutleva füüsiku jaoks ei pea olema midagi tugevamat tema enda loogikast. Oletame, et on läbi tehtud mingi arutus, mitu korda on mõttes läbi kontrollitud tee, mis viis teatud tulemusele. Kuid see, mis välja tuli, on vastuolus üldtunnustatud arvamusega, pole kooskõlas teaduse korüfeede seisukohaga. «Noh, külap olen kusagil eksinud,» teeb uurija järelduse, «proovime küsimusele läheneda teisest küljest.»

Säärasest uurijast ei tule väljapaistvat teadlast. Saatus on määranud talle vaid teisejärgulisi rolle. Tõeline teadlane ei tagane, sattudes vastamisi autoriteedi paljasõnalise, põhjendamata arvamusega.

Kümme, sada korda kontrollib ta oma arutlusi, lähtudes igakord printsibist: emb-kumb, kas minu loogika on laitmatu, või ma tegin vea. Ta ei tunnista vastuväiteid, mis põhinevad ainuüksi viiteil autoriteedile. Kes soovib tõestada tema ekslikkust, peab näitama vale lüli tema arutluste ahelas. Aga seni, kui seda pole tehtud, usub ta oma mõttekäikudesse ning... seda halvem faktidele, kui nad ei klapi tema skeemiga.

On hästi teada, et füüsikateoreetikud (ja matemaatikud) teevad oma parimad tööd enamasti noores eas. Toome mõned näited.

Newton tegi oma suurima avastuse 27-aastaselt, Maxwell 29-aastaselt, Heisenberg 24-aastaselt, Einstein 25-aastaselt, Lobatševski 33-aastaselt, Galois 19-aastaselt.

Erandeid on vähe, kuid leidub. Schrödinger esitas oma võrrandi, kui ta oli 38 aastat vana.

Mulle näib, et selle huvitava asjaolu seletuse võiks leida analoogiast spordiga. Vanusega kaob võime lühikeseks hetkeks kõike jäagitult välja panna. Noores eas aga viib kõigi füüsiliste

jõudude mobiliseerimine mõneks silmapilguks või sekundiks fenomenaalsete rekordite püstitamisele.

Võib-olla kaob vanusega ka samasugune võime väimsete jõudude mobiliseerimiseks. See, mida nimetatakse geniaalseks mõttesähvatuseks, mis on nagu välk, saavutatakse mõttepinge kõrgeimal astmel, milleks on suuteline üksnes noorus.

Küpsel teadlasel on rohkem teadmisi, rohkem kogemusi, võib-olla isegi rohkem talenti, kuid ta on juba kaotanud võime kõiki neid omadusi korraga koondada ja lühikesteks hetkedeks täie võimsuse peale sisse lülitada. Füüsiku keeles öeldult: küpsel teadlasel võib olla rohkem mõtteenergiat, kuid nooruki aju on suuteline töötama suurematel võimsustel. Seepärast ongi matemaatikas ja teoreetilises füüsikas eelised nooruse poolel. Ent seal, kus edu sõltub esmajärjekorras faktide sügavast ja igakülgsest analüüsist – aga nii on lood eksperimentaalses loodusteaduses – ning kus sünteetiline mõtlemine mängib teisejärgulist rolli, sellisel juhul, nagu oligi oodata, on eelised küpse ea poolel. Darwin, Mendelejev, Pavlov, Röntgen – need korüfeed rikastasid teadust oma avastustega küpses eas.

Öeldust tuleneb üks ühiskondliku tähtsusega järeldus: riigi rikkust ei mõõdeta ainuüksi tööstusliku potentsiaaliga, teede pikuse ja looduslike ressurssidega, vaid suur hulk andekaid inimesi maksab rohkem kui materiaalsed väärtused. Mitte juhuslikult ei rakendanud ameeriklased kõikvõimalikke abinõusid ning vedasid peaaegu lahingumõllust USA-sse vallutatud Saksamaa paremaid teadlasi.

Potentsiaalse teoreetiku noorusaastad võivad kujuneda selliselt, et tema talent jääb avastamata. Ajakaotus 3–5 aastat võib siin saatuslikuks osutuda. Seepärast on andekate noorte otsimine ja neile vajalike arenemistingimuste võimaldamine väga tähtis ülesanne. Seda mõistab rida meie maa juhtivaid teoreetikuid. Meie ajalehtedes on palju kirjutatud abinõudest, mida rakendatakse teoreetiku kalduvuste ja eeldustega noorukite avastamiseks igas külas ja väikelinnas. Niipalju kui mulle teada, ei tehta kapitalistlikes maades midagi taolist.

Hoolitsus ühiskondliku ürituse eest on nõukogude inimesel lihas ja veres. Suure innuga organiseerib hulk meie väljapaistvaid teadlasi konkursse, mille abil otsitakse noori talente; luuakse spetsiaalseid koole, kus andekad lapsed õpivad eriprogrammide järgi.

Küpsed matemaatikud ja füüsikud, kes armastavad oma teadust ja mõistavad oma ühiskondlikku kohust, leiavad rahuldust ühiskondlikele üritustele kaasaaitamises. Kõik, mida saab teha

selleks, et noort talenti jalule aidata, tehakse suurima heameelega. Kas teate, kuidas toimis meie suurim füüsikateoreetik akadeemik Landau? Iga noormees võis tulla tema juurde koju ja teatada oma soovist olla tema õpilane. Sellega oli suhete juriidiline külg täidetud ja algas sisuline töö. Entusiast pidi kõigepealt sooritama eksami. Seejärel jutustas Landau talle, mida on vaja läbi lugeda, millist tüüpi ülesandeid lahendada õppida, kandis tulevase teadlase nime lahtritega paberilehele ning nooruk võis minna. Kui ta järgmise visiidi ajal andis rahuldavalt aru oma tööst, ilmus tema nime tahta esimene ristike.

Edasi järgnesid uued instruksioonid ja üha keerukamad ülesanded. Vist midagi 5 või 6 ristikest oli vaja selleks, et katseajale vastu pidada. Pärast seda hakkas noormees saama uurimisülesandeid, tal lubati külastada teaduslikke seminare, ta oli jalule seatud. Edaspidine sõltus juba tema talendist ja töökusest...

Kui eksperimentaatorite abijõuks on aparatuurnikud, siis teoreetikutele osutavad abi matemaatilise füüsikaga tegelevad uurijad. Niisamuti nagu on olemas uurijaid, kellel on ükspuha, mida mõõta, peasi et oleks väga hea aparaat, nii eksisteerib ka inimesi, kellel on ükskõik, mida arvutada, kui vaid arvutus on originaalne ja täpne. Samuti nagu eksperimentaatoril võib aparatuurile pühendatav tähelepanu kõikuda nullist kuni saja protsendini, nii ka teoreetikutel võib arvutustele kuluv osa tööst varieeruda väga laiades piirides.

Paljud teoreetikud armastavad teha kõiki oma arvutusi algusest kuni lõpuni, püüdes viia neid, nagu öeldakse, numbrilise tulemuseni, see tähendab, võimaluseni võrrelda neid vahetult eksperimendiga. Teistele pole selline töö meeltemööda ning nad rahulduvad füüsikalise probleemi üldiste matemaatiliste formuleeringute leidmisega.

Üldiselt läheb vaja «mehi igast mastist». Loodusteaduse töötajate rinne ulatub aparatuuritiivast matemaatikatiivani.

Üks raskemaid on probleem, kuidas korraldada kõigi nende uurijate vastastikust koostööd, kes oluliselt erinevad oma maitsetelt ning väga sageli ei paku üksteisele üldse mingit huvi. Eksperimentaatorid pahatihti ei leia energiat, et endale selgeks teha kas või teooria olemustki, mis on nende eest varjatud mitmekorruseliste valemite metsaga. Nad pööravad teoreetikute töödes tähelepanu üksnes järeldustele, mida saab eksperimendiga võrrelda. Teisest küljest ei luba komplitseerunud eksperimendimetoodika teoreetikul katse usaldusväarsuse üle otsustada ning ta võtab oma eksperimentaatorist ametivenna arvud lihtsalt hea

usu peale ja rajab seetõttu vahel oma teoreetilised arutlused liivale.

Nende uurijaterühmade liikmed peavad kuidagi üksteisega seotud olema kas või mõnegi ühendava joonega. Esimene joon – see on meetodika ühtsus. Oletame, et mina tegelen röntgeni-struktuurianalüüsiga ning sama analüüsi kasutatakse ka metallurgiainstituudis. Me kasutame ühesuguseid röntgenitorusid, aparate, kaameraid. Röntgenogrammide dešifreerimise meetodikas on samuti palju ühist. Kuid sellega «hingesugulus» ka lõpeb. Mind ei huvita absoluutselt metallide struktuur ja omadused. Neile aga paistab piltmõistatusena iga orgaanilise ühendi valem, mis huvitab mind. Tähendab, meetodikat võib küll üheks ühendavaks faktoriks lugeda, ent kuna seda kasutatakse täiesti erinevatel eesmärkidel, siis see side nõrgeneb.

Teine sideliin – see on ainevalla ühtsus erinevate uurimismetodite juures. Näiteks looduseuurijad tegelevad orgaaniliste molekulide struktuuri uurimisega, kuid üks optilise, teine röntgenograafilise meetodiga. Ka see side nõrgeneb, nüüd juba uurimisiistade spetsiifiliste erinevuste tõttu.

Sellega sidemete probleem veel ei lõpe. Huvid teooria vallas võivad tuua teadlase võõrasse leeri. Leidub palju teooriaid, millel on täiesti erinevad rakendused, kuid mis on väga lähedased nähtuse kirjeldamise ja arvutamise matemaatiliste meetodite poolest. Sellised teooriad võivad samuti saada sideliinideks, kui neist huvituvad mitmesuguste uurijaterühmade esindajad.

Ühesõnaga, kaasaja looduseuurija kokkupuuteid teiste teadlastega võib kujutleda keerulise hulktahukana, mille külgedega puutuvad erinevad kujundid, millel ei ole isekeskis mitte kui midagi ühist. Tõepoolest, teadlane, kelle amet on orgaaniliste ainete röntgenograafia, peab tutvust nii metalliröntgenograafia spetsialistidega kui ka orgaanilisi ühendeid uurivate optikutega. Need kaks uurijaterühma aga pole võib-olla teineteisest kunagi kuulnudki.

Nagu näete, tuleb ikka ja jälle tagasi pöörduda teaduserinde kõigi löikude pidevuse ja keeruka koostöö probleemi juurde. Metalliopetuse edu võib mõju avaldada molekulaarbioloogia saavutustele. Mahajäämus spektroskoopia vallas võib pidurdada röntgenograafia arengut.

Mis tahes teadusala õitsenguks on tähtis teadusliku arengu üldine kõrge tase.

14. peatükk

... pajatab sellest, et füüsikutesse suhtuvad heatahtlikult peale teadust armastavate inimeste ka vabrikute ja tehaste direktorid, kes muretsevad tootmisplaanide täitmise pärast. Samuti selgub, et füüsikaga tegelemine on suurepäraselt ühendatav ekspeditsioonidest osavõtuga.

Lai on sinu tee

Meil pole siin võimalust jutustada lugejaile füüsikutest, kes juhivad esmajärgulise riikliku tähtsusega rakenduslike probleemide uurimist ja kannavad oma õlul tohutut vastutust. Et edukalt töötada, peab see teadlaste grupp omama kõiki parimate füüsikute omadusi pluss sinna juurde veel väljapaistvad organisaatorivõimed. Kunagi kirjutatakse raamat, mis on pühendatud sellise iseloomu ja tööstiiliga teadlastele nagu Kurtšatov ja Vavilov, raamat, mis jutustab füüsikute osast meie riigi sõjalise võimsuse tugevdamisel. Suur ja tähtis kõnelus nende uurijate tegevusest jääb väljapoole meie jutustuse piire. Kuid oleks ülekohtune mitte pühendada kas või ühtainust peatükki neile üheksale kümnendikule või koguni üheksakümne üheksale sajandikule kõigist füüsikutest, kes töötavad rakenduslikes ning tööstuselaboratooriumides.

Ei maksa arvata, et me avastame teravaid erinevusi talendi ja teadmiste osas rakendusfüüsikute ning loodusteadusega tegelejate vahel.

Soovi korral võib ka neid jaotada teoreetikuteks, eksperimentaatoriteks ja aparatuurnikuteks. Tõsi küll, spetsialistid mõotmiste alal mängivad rakendusteadlaste orkestris esimest viiulit: väga suur osa rakenduslike uurimisi on suunatud uue aparatu-

tuuri loomisele, olemasolevate aparaatide täiustamisele, kõige mitmesugusemate füüsikaliste suuruste uute mõõtmismeetodite väljamõtlemisele.

Paljud rakendusfüüsikud ei tegele uurimistööga. Nad juhivad keerukaid aparate ning sooritavad nende abil igapäevast analüüsimis- või kontrollimistööd.

Rakendusfüüsika tormiline areng viib üksikute distsipliinide eraldumisele temast. Nii elektroonika, automaatika kui ka energetika on sisuliselt võttes rakendusfüüsika osad. Kuid need alad on niivõrd suureks ja laiaks kasvanud, et vastavate spetsialistide ettevalmistamise on enda peale võtnud tööstusharude institutid. Ja siiski on äärmiselt raske nende vahele selget lahutusjoont tõmmata. Tihtilugu töötavad ühe probleemi kallal nii ülikooli füüsikateaduskonna kui ka tehnikainstituudi elektroonikateaduskonna lõpetanud. Seepärast loodan, et lastes pilgul üle nende lehekülgede käia, ei hakka lugeja autoriga vaidlema teemal, kas see on rakendusfüüsika või mõni muu teadus.

Niisiis füüsikutest, kes teenivad . . .

. . . tööstust.

Kujutlegem kaasaegset lennukimootorite tehast. See on paarikümne tuhande töötajaga hiiglane. Seal on tsehhid karterite, väntvõllide, laagriliudade, kepsude valmistamiseks. Tehase keskele – montaažitsehhi – voolavad kokku kõik detailid, mis panakse kokku mootoriks. Valmis mootorit katsetatakse stendil, kirjutatakse alla aktile, mis tõendab laitmatut kvaliteeti, ning mootori võib lennukile monteerida.

Muidugi pole edukad katsed stendil halb garantii. Kuid mitte sajabrotsendiline. Aga jutt on ju lennukimootorist, mille rike võib maksta paljusid inimelusid. Et rike oleks niisama ebatõenäoline nagu maavärisemine Moskvast, peab kvaliteedigarantii andma iga tsehhi, aga mitte ainult montaažitsehhi. See, kes valmistab kepsu, peab vastutama igauhe eest neist eraldi; mõeldamatu on defektne laagriliud; lubamatud on kriimustused väntvõllidel ja sisemised tühikud karterites.

Selleks et detail täie vastutusega absoluutselt defektivabaks tunnistada, on vajalik kontroll. Siin tulevad appi kõige mitmekesisemad füüsikalised meetodid. Röntgenikiirtega läbivalgustamine võimaldab leida metallis iga liiki mittehomoogeensusi. Pidemadki praod ja võõrmoodustised tulevad ilmsiks füüsiku kriiti-

lise pilgu all, kui ta vaatleb röntgenifilmi või jälgib helendavat ekraani, millel joonistub selgesti detaili vari.

Tööpingi kõrval, millel treitakse väntvõlle, paikneb aparaat peenimate pinnapragude avastamiseks magnetdefektoskoopia meetodil. Väntvõll magnetiseeritakse ning valatakse selles seisundis üle vedela õliga, milles hõljuvad magnetilised osakesed. Oli valgub ära, aga osakesed kleepuvad nende kohtade külge metalli pinnal, kus on silmaga nähtamatud praokesed.

Magnetilised riistad on olemas ka teistes tsehkhides. Ebaõige termiline töötlus, pealejoodetava kihi ebaõige paksus – need ebanormaalsused kajastuvad magnetiliseks vastuvõtlikkuseks nimetatavas omaduses. Füüsiku ülesanne on välja töötada mitmesugused meetodid magnetilise vastuvõtlikkuse mõõtmiseks, kusjuures need oleksid kiired, mugavad, täpsed ja kooskõlas detaili kujuga ning materjalidega, millest see on valmistatud. Aga iga uus detail toob endaga kaasa uue probleemi.

Röntgeniaparatuuride hea töö eest, läbivalgustamise uue metoodika eest vastutab tehase röntgenilaboratoorium. Magnetiliste mõõtmiste korraldamise eest kõigis tsehkhides kannab vastutust magnetismilaboratoorium.

Metallurgiatehas on mõeldamatu ka ilma spektraallaboratooriumita. Kõige efektiivsem on spektraalanalüüsi rakendamine valutsehhis valmistatava sulami koostise pidevaks kontrollimiseks. Sulam peab rahuldama rangeid nõudeid. Tehnilistes tingimustes on loetletud kõik vajalikud lisandid, mille sisaldus peab mahtuma etteantud raamesse, näiteks mitte üle 3, aga ka mitte alla 2,5 protsendi. On ära märgitud ka ebasoovitavate lisandite sisaldumise lubatavad piirid: näiteks mitte üle 0,01 protsendi.

Mõned lugejad vististi kujutavad ette niisugust pilti: meister hoiab käes tehnilisi tingimusi, tema ees on täpsed kaalud.

«Kaaluda 25,17 kilo vaske,» kamandab ta, «aga nüüd 3,25 kilo räni.»

Sellisel pildil ei ole isegi kauget sarnasust tegelikkusega. Sulatusahju laaditakse mitmesuguste toorainete segu ja väljapraagitud detaile niiviisi, et segu koostist pole võimalik täpselt ette näha. Niipea kui segu on üles sulanud, on vaja sedamaid andmeid tema koostise kohta. Proov saadetakse pneumaatilise postiga laboratooriumi. Mõned sekundid, ja objekt on kinnitatud spektrograafi statiivile. Käepideme pöördega lülitatakse sisse vool, sulamiproovi ots kuumeneb temperatuurini, mis on kõrgem kui Päikesel. Metall hakkab aurustuma. Kaarleegis hakkavad aatomid kiirgama – iga aatomisort oma kordumatu seaduse järgi. Kiirgav valgus langeb klaasprismale ning see laotab temas

peituv värvirikkuse spektriiks. Ekraanil, fotoplaadil või televiisoriekraanil süttivad spektrijooned.

Spektrijoonete tihedas rivis on igal aatomisordil oma iseloomulikud esindajad.

«Raua joon on liiga tugev! Raua hulka tuleb vähendada!» kamandab spektraallaboratoorium ning teatab telefoni teel analüüsi tulemuse.

Me kirjeldasime kolme laboratooriumi tööd, kus edukalt on ametis füüsikud. Neid võib olla ka rohkem. Paljudes ettevõtetes moodustab füüsikaosakond umbkaudu poole või kolmandiku tsentraalsest tehaselaboratooriumist.

Töötamine füüsikaosakonnas suure tehase juures, mis laseb välja mitmekesise ja muutuva sortimendiga toodangut, nõuab suurt leidlikkust, teravmeelsust, laialdast haridust. Ja lisaks – seda juba rõhutati eespool – on vaja peale füüsika tunda ka seda ala, mida füüsika teenindab.

... meditsiini.

Ei tea, kas ametlikes dokumentides figureerib selline termin – meditsiiniline füüsika. Kui mitte, siis pole kahtlust, et varsti ilmub. Iga aastaga kasutatakse diagnostikas üha laiemalt füüsikalisi mõõtmismeetodeid. Keerukad füüsikaaparaadid on ilmunud operatsiooniruumidesse. Ja ainult füüsika tungimisel ravi-praktikasse pole seni näha märgatavat progressi. Füsioterapeudi põhilised riistad on endiselt kvartslamp ja D'Arsonvali aparaat. Võimalik, et minu kui mittespetsialisti arvamus pole õige, aga pean märkima, et tähelepanu on köitnud vaid üks uudis – elektriuni. Patsiendi pea külge kinnitatakse elektroodid ning lihtne seadis saadab rütmilisi impulsse, mis uinutavad magama kõige raskemagi unetuse all kannatava inimese.

Pole raske mõista, miks füüsikalised meetodid on hõivanud juhtivad positsioonid diagnostikas. Organismis kulgevad füüsikalised protsessid on äärmiselt mitmekesised ja kõik nad alluvad objektiivsele füüsikalisele kontrollile. Näiteks võimendajatega ühendatud mikrofonid lubavad mõõta kõiki südame tukseid ja kahinaid ning spetsiaalsed riistad lahutavad need võnkumised spektriiks. Aga on teada, et haigel ja tervel inimesel on säärased spektraalkõverad täiesti erinevad. Mulle meenub, et Aasias eristavad arstid kuni sada erinevat pulssi ning pikaajaline ja hoolikas pulsi katsumine on põhiline diagnoosimisvahend. Et

sellist diagnostikat pole nähtavasti kerge ära õppida, siis miks mitte usaldada see ülesanne helianalüsaatorile.

Vererõhu mõõtmine pole praegu keerukam temperatuuri mõõtmisest kraadiklaasiga. Kuid sellise mõõtmise tulemus on üsna ligikaudne. Aga miks mitte välja mõelda mõni teine moodus vere liikumiskiiruse mõõtmiseks mitmesugustes arterites ja veenides, mis näitab vähimatki kõrvalekaldumist normist!

Maomahla analüüsivad arstid barbaarsel meetodil. Tunnistan, mulle tehti sellist analüüsi vaid üks kord elus ja . . . rohkem ma seda tegema ei hakka: liiga tugevasti on sööbinud mällu pika kummivooliku neelamine.

Aga kas ei saaks talitada järgmiselt: anda patsiendile alla neelata väike riistake, mis rändab mööda seedetrakti, teeb «käigu pealt» analüüse ning teatab raadiosignaali abil sellest, mis seal sees toimub. Fantastika? Mitte sugugi! Selliseid ettepanekuid on juba tehtud ning neid olevat ka ellu viidud, ja mitte ainult paberil.

Erakordseid võimalusi diagnostikaks pakub märgitud aatomite kasutamine. Loendurid tunnevad teatud kauguselt imehästi radioaktiivse aine tühiseid hulki, niivõrd tühiseid, et need organismile vähimatki kahju ei tekita. Selle meetodiga saab edukalt jälgida ühe või teise elemendi omastamise kiirust ning tema liikumist organismis.

Südame kokkutõmmetega kaasnevad voolud, mida mõõdab elektrokardiograaf. Aastatepikkused vaatlused on võimaldanud arstidel kindlaks teha vastavuse elektrokardiogrammi välimuse ning organismi haigusliku seisundi vahel. Selle meetodi kõigi võimaluste ärakasutamiseks on tarvis teooriat – tippude ja salkude peitepildid peavad leidma seletuse.

Peaaju elektrilise aktiivsuse kõverad, mis saadakse elektroodide surumisel vastu koljut, võiksid meile paljugi jutustada närvisüsteemi seisundist. Võiksid, kui me õpiksime desifreerima mõistatuslikke laineid neil kõverail. Aga meie oleme sellest eesmärgist veel üsna kaugel. Tõsi küll, katsematerjali kogumine ja töötlemine läheb täie hooga. Ajuvoolud reageerivad jalamaid kõigile aistingutele – magusa või soolase maitsele keelel, muusikale või mürale, mitmesuguse heledusega ja värvusega valgussignaalile. Mis tahes aisting kajastub sellel seni veel salapärasel informatsioonikandjal. Pea erinevad kohad reageerivad välisärritustele erinevalt. Haigetel ja tervetel inimestel on kõverad samuti erinevad.

Esialgul on ajuvoolude vaateleja masendatud kõverate lõpmatust mitmekesisusest. Ostsillograafi ekraanil peksleb sassiaetud

kummaline kõver nagu palavikus. On ainult näha, et see muudab oma kuju, kui ajus tekib vastukaja mingile sündmusele. Ent kuidas orienteeruda tippude rägastikus?

Hiljuti õnnestus salapärase kõverate analüüsimisel olulist edu saavutada. Enne, kui anda need uurijale läbivaatamiseks, töödeldi elektrivoolusid kiiretoimelise elektronarvuti abil. Teravmeelselt koostatud programm võimaldas välja sõeluda «juhuslikud», korrapäratud tipud. Ülesanne oli noppida ajuvoolude kõverast välja üksnes need tipud, mis regulaarselt korduvad. Tulemusena õnnestus igale välisärritusele vastavusse seada oma iseloomulik ajavoolude muutus. Need uurimised, mis on alles algstaadiumis, näivad olevat erakordselt paljutöötavad. Tahaksin loota, et mõne aastakümne pärast saab võimalikuks närvisüsteemi otsene «küsitlemine» tema enesetunde kohta.

Ilma füüsikuteta oleks võimatu terve rida hämmastavaid edusamme kirurgias. Kõik on muidugi kuulnud suurepärareset südameoperatsioonidest. Paljudel juhtudel on need võimalikud üksnes kehatemperatuuri olulisel alandamisel. Seda saavutatakse mitmesuguste meetoditega. Näiteks võib vere tema tavalisest vooluteest kõrvale juhtida, jahutusseadisest läbi lasta ning mõnekümne kraadi võrra jahutatuna kehasse tagasi suunata.

Füüsikutele hästi tuntud temperatuuri reguleerimise võtted rakendati meditsiini teenistusse.

Nüüdisajal tegelevad füüsikud meditsiinis loomingulise tööga. Nende poolt väljamõeldavad riistad ja aparaadid peavad olema maksimaalselt lihtsad ekspluatatsioonis ning hästi töötama arstide käes, kes pole kohustatud tundma nende tööpõhimõtet ja ehitust.

Meditsiinis töötavad tavaliselt füüsikud, kes kuuluvad aparatuurnikute väesalka. Eksperimentaalfüüsika laiaulatuslik tundmine, kõigi füüsikaliste mõõtmiste tehnika vaba valdamine, tehniline taibukus, head käed ja spetsiifiline intuitsioon, mis lubab paljudest sihile viivatest lähendustest valida kõige efektiivsena ja lihtsama, – niisugused on nõudmised, mida peab rahuldama selline uurija.

... *filoloogiat.*

Kas ei taha autor äkki öelda, et instituudis, kus uuritakse grammatikat ja süntaksit, analüüsitakse fraaside ehitust, võrreldakse sama mõistet kirjeldavate erikeelsete sõnade juuri, hakkab kunagi tegutsema füüsikalaboratoorium? Ent milleks teha juttu

tulevikust! Astuge korraks sisse näiteks Moskva Võõrkeelte Instituuti – seal töötab juba ammu mitu füüsikut.

Tuletagem kõigepealt meelde, et keeleteaduslike distsipliinide hulka kuulub foneetika – häälikuõpetus. Igaüks, kes on õppinud võõrkeeli, teab, milline pätkel on võõrapärane hääldamine. Kui ei õpi võõrkeelseid sõnu õigesti hääldama, siis sind ei mõisteta. Muide, peamine on harjutada kõrva võõra hääldamisega. Keele täielik valdamine seisab eelkõige võõramaalase kõne vabas mõistmises.

Et õppida võõrast kõnet kuulmise järgi mõistma ning avada õige hääldamise saladused, peab võõrkeelte õpetaja tundma foneetikat. Pole raske mõista, et foneetika õpetamise võib tõsta täiesti uuele tasemele, kui abiks võtta hääle spektraalanalüüs. Need helilained, mida ümbritsevas õhus tekitavad vadistavad vestluskaaslased ükskõik mis maalt või rahvusest, asuvad sageduste vahemikus umbes 300 kuni 5000 hertsi. Teatavasti on iga häälsitus objektiivselt iseloomustatav hääle spektraalse koostisega. Füüsika tundetus keeles on erinevus paanilise karje, meloodiliselt lauldud noodi ja vaimustushüüde vahel vaid selles, et erinevad võnkesagedused on häälelaines esindatud erineva intensiivsusega.

On olemas suurepärased ja kaugeltki mitte lihtsad füüsikariistad – helianalüsaatorid, mis võimaldavad tõlkida arvude keelde inglise «th» või prantsuse «en».

Muidugi, erinevatel inimestel on hääletämber erinev. See pärast on kõige huvitavam ülesanne nende üldiste tunnuste otsimine, mis on iseloomulikud välismaalase «keskmistatud» hääldamisele.

Hääle spektraalkõverale mõjub ka intonatsioon, mis võib ühel ja samal inimesel üsnagi erinev olla. Haige, kel on maohaavad, tuleb arsti juurest konsultatsioonilt.

«Arst tegi ettepaneku lõigata! Kas lõigata?» küsib vaene mees oma naiselt.

Ühed ja samad sõnad kõlavad erinevalt. Ainuüksi intonatsiooni muutmisega muutub kogu fraasi mõte. Kuidas kajastub intonatsioon hääle spektris? See on filoloogi jaoks huvitav küsimus, mida alles viimasel ajal on hakatud uurima.

Palju uusi probleeme kerkis keeleteaduses, kui tehti algust süstemaatiliste töödega masintõlke alal. Enne kui õpetada masinat mingisuguseid operatsioone sooritama, tuleb sellel, kes masina jaoks programmi koostab, ülesande olemus endale põhjalikult selgeks teha. Olgu muide öeldud, et mitte ainult filoloogias, vaid ka paljudel teistel aladel on see vajadus omaenda

mõtted rangeimasse korda seada toonud ja toob edaspidigi suurt kasu uurijaile.

Hakanud masinale tõlkimist õpetama, avastasid matemaatilise ettevalmistusega filoloogid, et enne on vaja neil endil paremini aru saada, kuidas ja miks mõte saab väljenduse sõnades. Tarvis on vastata, miks me räägime nii ja mitte teisiti, miks sõnade järjekord on ühtedel juhtudel fikseeritud, teistel aga suvaline. Ütleme näiteks: «Ta võttis kausi laua pealt», kuid mitte «Kausi ta pealt võttis laua». Samal ajal pole esimesest variandist sugugi halvem järgmine: «Ta võttis laua pealt kausi». Masin peab teadma, et teine variant on halb. Kuid tema õpetamise protsessis kerkib meie ette loomulikult küsimus, mille poolt siis teine variant halvem on?

Mugava keele otsinguil, mis pakuks piisavaid võimalusi kõige keerukamate mõtete edasiandmiseks, tegid filoloogid kindlaks, et sellise keele reeglid võivad olla mitu korda lihtsamad elava kõne reeglitest. Otsekohe kerkis küsimus, kas on õigustatud lõputu hulk varjundeid, mida ühele ja samale mõttele saab anda sõnademängu abil?

Uurides lausete konstrueerimise seadusi, tulid filoloogid järeldusele, et loodusele ei saa pillamist ette heita. Keele rikkus, kõne paindlikkus ja ühe mõtte mitmel viisil esitamine on, nagu välja tuleb, mälu koormuse vähendamise moodus. Rida viimase aja töid on näidanud, et keele lihtsustamine viiks vajadusele suurendada mälu sügavust. Kuidas seda paremini selgitada?

Lihtsustatud ja üheste kõnereeglitega keeles asub vajalik sõna ajulaekas, mille juurde viib üksainus tee. Kusagil labürindi ummikus paikneb vajalik asi. Tee selle juurde läheb ainult läbi ühe sissekäigu, ülejäänud väravad sihile ei vii; näiteks esimesest koridorist tuleb käänata paremale, kolmandasse põiktänavasse – teised käänakud sihile ei vii.

Reaalses keeles pole vajalik sõna sügavale peidetud; laekakese juurde, kus teda säilitatakse, viib suur hulk teid. Kuivõrd lihtsaks muutub vajaliku asja ülesotsimine, kui labürinti võib siseneda mitme värava kaudu ning otsekohe sattuda otsitavale asjale!

Mälu sügavus on siin negatiivne omadus (parem oleks filoloogidel terminoloogiat muuta, sest sõnal «sügavus» on tavaliselt positiivne tähendus). Seda iseloomustab käänakute arv, mida tuleb teha, et vajaliku sõnani jõuda. Teooria, millega ma tutvusin, väidab, et meie keel (selline, nagu ta on) lubab läbi saada minimaalse mälusügavusega.

«Erakordselt huvitavad uurimused, kuid mis piütuvad süa füüsikud?» küsib lugeja.

Aga on ju tõsi: selleks et probleemid orienteeruda, peab omama head füüsikalist mõtlemist, Matemaatilise filoloogia võib arvata loodusteaduste hulka sel põhjusel, et need uurimused on lahutamatu seotud paralleelide probleemiga aju ja elektron-arvuti töös.

... teadust Maast.

Mees pajatab troopilistest päikeseloojangutest ja põhjamaa virmalistest, asustamata atollidest ja maalilistest kõrbeoasidest. Teda kuulatakse, teda kadestatakse. Egas pole naljaasi – kus küll ei ole see inimene viibinud, mida kõike pole näinud see geograaf-maadeuurija! Aga mida huvitavat võib jutustada füüsik, kui ta on piiratud laboratooriumi nelja seinaga?

Selline vaatevinkel näis täiesti loomulik. Ja tõepoolest, alles üsna hiljuti oli maakera muinasjutuliselt ilusate paikade ja haruldaste ning salapärase loodusnähtuste kirjeldamine geograafide monopol. Kuid ajad on muutunud! Nüüd tõusevad füüsikud aerostaatidel taevasse, ujuvad allveelaevadel, laskuvad vulkaanide kraatritesse. Nad talvitavad põhjapoolusel, tungivad Antarktilise sügavusse, sooritavad laevadel ümbermaailmareise. Aga geograafid? Neil tuleb aega veeta kabinettide vaikuses, et õppida pingsalt füüsikat. Vastasel korral riskivad nad sellega, et füüsikud ei võta neid kaasa geograafi südamele nii armsatele ekspeditsioonidele.

On saabunud aeg, mil füüsiku laboratooriumiks on muutunud terve maakera. Ja katsed selles laboratooriumis on vahel seotud säärase eksootiliste reisidega, mida võivad kadestada kuulsad esmaavastajadki. Meregeofüüsika on selles suhtes vist küll väljaspool konkurentsi.

Ookeanilainete harjadel kiigub väike puust purjekas! Ei, see pole jäänus XIX sajandi piraatide flotillist. Et uurida meie planeedi magnetvälja, künnavad füüsikud maailmamere avarusi antimagnetilisel kuunariil «Zarja». Füüsikut, kes on sõitnud «Zarjal», ei hämmasta mitte mingisuguste juttudega meretaguste maade imeasjadest, troopilistest vihmaalingutest ja troopikakuumusest või pärismaalaste tavadest Polüneesia saartel.

Aga kas pole ahvatlevad «Vitjazi», selle hiiglasliku ujuva laboratooriumi ümbermaailmareisid? Füüsikud võtavad «Vitjazi» retkedest osa ja dikteerivad kaptenile ka marsruute vastavalt

oma teaduslikele plaanidele. Need plaanid aga on mitmekesised ja paeluvad.

Piirdun vaid ühe näitega.

Ookeanisügavused küünivad Everesti tippude kõrguseni. Kas ookeani põhjas, mitu kilomeetrit allpool merepinda, püsib vesi paigal või liigub? Kas võib veosake sellisest sügavusest pinnale tõusta või mitte? Ja kui võib, siis kui palju aega selleks kulub?

«Mis imelikud küsimused need on? Kellele on seda vaja teada?» küsib lugeja.

Juba neljakümnendail aastail tehti ettepanek hakata aatomi-tööstuse jäätmeid ookeanisügavustesse heitma. Ent mis siis, kui vesi kannab selle radioaktiivse mürgi sügavusest pinnale? Mis juhtub kaladega? Aga inimestega, kes neid kalu söövad?

Ilmselt küsimus ajast, mis kulub sügavusest veepinnale tõusuks, on otsustava tähtsusega. Kui see aeg osutub märksa pikemaks radioaktiivsete aatomite lagunemisajast, siis pinnani jõudnud jäätmed oleksid juba kahjutud. Aga kui mitte? Kes söandab siis radioaktiivseid jäätmeid ookeani heita?

Niiviisi tekkis huvi süvavee tsirkulatsiooni vastu ookeanides. Vaeva tuli näha paljudel füüsikutel, nii eksperimentaatoritel kui teoreetikutel.

Eksperimentaatoritel tuli õppida mõõtma veevoolu kiirust mitme tuhande meetri sügavusel, sealjuures juba ette teades, et see on väga väike – kõigest mõni sentimeeter sekundis. Kuna täpsed mõõtmised on rasked või koguni võimatud, siis oli hädavajalik teoreetikute abi süvavee voolukiiruse arvutamisel. Füüsikute vastused esitatud küsimusele olid eluliselt tähtsad ookeani saatusele.

Eksperimentaatorid leiutasid neutraalse ujuvusega ujukid, mis lasti suurde sügavusse. Nende liikumise järgi pika ajavahe-miku jooksul õnnestus kindlaks teha, et ka väga sügaval võib vesi intensiivselt liikuda. Nii oli esmakordselt süüdatud punane hoiatustuli radioaktiivsete jäätmete heitmisele ookeanisügavustesse. Teoreetikud ei jõudnud küll omavahel täiesti kooskõlaliste tulemustele, kuid tegid siiski järgmise väga tähtsa järelduse: veosakesed võivad tõusta ookeani sügavusest pinnale aja jooksul, mis on võrreldav jäätmete kõige aktiivsemate elementide lagunemisajaga.

Niisiis tegid teoreetikud ja eksperimentaatorid kindlaks vaieldamatu tõsiasi: on olemas ookeani mürgitamise oht, juhul kui kasutada ookeani radioaktiivsete jäätmete kalmistuna.

Näete nüüd, kui tähtsate probleemidega tegelevad rändavad füüsikud.

Kuid ka maapealne ränduriamet – geoloogiline luure pole füüsikule keelatud.

Geofüüsika üks harusid on gravimeetria. See on õpetus raskusjõu mõõtmisest. Maakera erinevates kohtades kaalub (s. o. tõmbub Maa poole) üks ja sama grammine viht pisut erinevalt. Neid erinevusi avastatakse haruldaselt täpsete riistade, näiteks kvartstorsioonkaalude abil. Need on ehitatud ja töötavad järgmiselt. Horisontaalse pinguletõmmatud kvartsiiniidi külge on keevitatud kangike. Kaalutava raskuse mõjul sunnib see kangike niiti pisut keerdu minema. Taoliste kaaludega on võimalik mõõta miljondike grammide suurusil raskusjõudusid.

Oma riistadega lähevad füüsikud kaugetele rännakutele ning jälgivad seal gravitatsioonijõu käitumist. Raskusjõu hälbimine «antud geograafilise koha normist» kõneleb sellest, et maa all on maaki. Raskusjõu kohalikud anomaaliad (hälbed) teenivad füüsikut nõndasamuti, nagu Hauffi muinasjutus teenis väikest Mukki võlukepike, mis koputas vastu maad seal, kus leidus kulda või hõbedat.

Taolistel luuremeetoditel on suur praktiline tähtsus nafta otsinguil. Gravitatsiooniliste meetodite abil on kergesti avastatavad maa-alused soolakuplid (raskusjõud seal kohas nõrgeneb); aga paikades, kus on soola, leidub väga sageli ka naftat. Nii viisi avastati «musta kulla» leiukohad Kasahstanis.

Muidugi on huvitav olla geofüüsik ning omada võimalust palju rännata. Kuid lõppude lõpuks võib ju laias maailmas ringirändamisest ka ära tüdineda. Mis siis teha? Kas muuta elukutset? Ei, geofüüsik võib töötada laboratooriumiski.

Võib-olla sõnade «geofüüsik» ja «laboratoorium» ühendamine paistab veidrana. Uurib ju geofüüsik loodust, tema riistad peavad olema üles seatud vabas õhus ning tabama seaduspärasusi jõgede voolamises, tuuleilides, välkude sähvimises, aga seda ei tee ju kindlaks nelja seina vahel töötades. Ja siiski pole see päriselt õige. Rääkimata juba keeruka aparatuuri valmistamisest ning selle tööomaduste uurimisest, võib geofüüsik pühendada oma elu terve maailma uurimisele looduslike protsesside modelleerimise teel. Veel enam, mõningal juhul osutub säärane tee koguni põhiliseks. Muidugi on huvitav tõelist välku äikeserikastes piirkondades püüda. Kuid äikest ei esine mitte just väga sageli ning pealegi ei anna loodus meie käsutusse mitte «puhta» nähtuse, vaid sellise, mis on komplitseeritud terve hulga juhuslike kõrvalteguritega ja need võivad varjutada peamise. Seepärast ei

saagi me aru välgu seaduspärasustest, kui ei uuri laboratoorsetes tingimustes tehisevälku. Mudelseadmel on võimalik mitmesuguste tegurite osatähtsust kordamööda järele proovida ning alles siis katsuda leitud reegleid kontrollida, uurides looduslikku nähtust, milles kõik faktorid mõjuvad üheaegselt.

Ülikõrged temperatuurid, mis valitsevad Päikesel, ülikõrged rõhud, mis mõjuvad Maa südamikus, kõrgvaakuum, tugevasti ioniseeritud õhk – kõike seda võib saada laboratooriumides, et uurida nende ebatavaliste tingimuste iseärasusi ning sel teel jõuda tähtsatele järeldustele õpetuses Maast.

15. peatükk,

... milles autor ei pidanud võimalikuks jääda kõrvalvaatajaks diskussioonis füüsikute suhtumisest kunsti ning poetide ja luuletajate suhtumisest füüsikasse. Meie ajakirjanduses arutati neid küsimusi pealkirja all «Füüsikud ja lüürikud». Raja taga tuntakse seda kui «kahe kultuuri probleemi».

Füüsikud ja lüürikud

Töestada inimesele, kes iga päev kuulab raadiot, vaatab televisioonisaateid, sõidab puhkusele reaktiivlennukiga, vaatleb ajalehes ülesvõtteid meie eest varjatud Kuu tagaküljest, kannab kaproonist ja nailonist riietusesemeid, teha talle selgeks, et füüsika saavutused on leidnud kindla koha meie elus, tähendaks lahtisest uksest sisse murda. Meie ei hakkagi seda tegema. Kuid füüsika sissetung kaasaja ühiskonda ei piirdu üksnes uue toodangu juurdumisega igapäevasesse ellu. Füüsika ei «tooda» mitte ainult asju, vaid ka ideid. Füüsikaline mõtlemine tungib märkamatult, kuid järeleandmatult üha enam kõigile vaimse elu aladele. Mulle näib, et see «ideede sissetung» ei paku mitte väiksemat, aga võib-olla isegi suuremat huvi kui «asjade sissetung».

Läheneda sündmustele inimeste maailmas samadelt positsioonidelt kui nähtustele aatomite, molekulide või rakkude maailmas tähendab – nagu me eelnenud lehekülgedel selgitasime – otsida korduvate nähtuste objektiivseid seaduspärasusi.

Nähtust seletada tähendab näidata, et see kujutab endast järeldust üldisest loodusseadusest. Sündmuste füüsikaline käsitusmeetod jätab väljapoole tähelepanuorbiiti kõik selle, mis ei allu mõõtmisele ega arvutamisele. Füüsiku jaoks pole jumalat, sest et ei leidu mingit moodust tema olemasolu tõestamiseks mõõtmiste

või arvutuste teel. Selles mõttes on niisugused mõisted, nagu elektroni trajektor, sündmuste samaaegsus ja jumal üksteisega suguluses: ükski neist ei oma mõtet.

Teaduslik mõtlemine heidab kõrvale tõestamatud väited. Iga väide peab kas olema tõestatud katsega või loogiliselt tulenema vaieldamatutest teesidest.

Looduseuurija kirjeldab maailma sellisena, nagu see on. Tema maailmas pole «on vaja» ja «hea». Et inimestevaheliste suhete maailmas need sõnad eksisteerivad, siis püüab ta neid ära seletada, s. o. tõestada, et vajalikud ja head teod on niisamasugused loogilised järeldused teatud vastastikustest suhetest inimeste vahel või inimeste ja keskkonna vahel, nagu sputniku liikumine etteantud orbiidil on järeldus ülemaailmsest gravitatsioonist.

Pole raske mõista, et sellisel loodusteaduslikul lähenemisel sündmustele inimeste ja ühiskonna elus leidub palju vastaseid. Marxi teaduslik käsitlus, mida ta kordumatu sädelusega kasutas ajalooliste sündmuste seletamiseks, võeti kodanlike filosoofide ja pappide poolt tääkidega vastu nimelt sel põhjusel, et inimeste maailmas toimuvate sündmuste käsitlemisel seaduspärase protsessina ei jäänud ruumi mitte üksnes jumalale, vaid ka «valgustatud» valitsejaile kui ajaloo loojaile.

Kaasaja loodusteadus läheb sellel teel edasi ning otsib võimalusi ühiskonna kui terviku ja ka tema üksikesindajate käitumise objektiivseks kirjeldamiseks ning seletamiseks.

Kuivõrd teaduse tee seisab üldiste seaduste otsinguis, siis inimesele rakendatuna tähendab see esimesel pilgul huvi puudumist üksikindiviidi mõtete, tegude ja elamuste vastu, s. o. kunsti kesksete teemade vastu. Seda asjaolu kasutasid paljud mõtlejad selleks, et rääkida kuristikust, mis lahutavat teadust ja kunsti.

Niisugune jutt pole uus. Meie sajandil püstitas sama probleemi tuntud inglise kirjanik Snow, viimasel ajal on seda arutanud Robert Oppenheimer, Aldous Huxley, Lionel Trilling ja paljud teised. Sõltumatult välismaal toimuvatest vaidlustest hõivas äge diskussioon pikemat aega ka meie ajakirjanduse veerge. Diskussiooni algatajateks olid kunstitegelased, kes olid mures «inimhingede inseneride» osa äralibisemise pärast nende käest. Nende teesiks oli kunsti mitte tundvate inimeste vaimne vaesus. Teaduse esindajad aga vaidlesid teravalt vastu süüdistustele, et loodusteadusega tegelemine viivat vaimsele vaesumisele. Lõppkokkuvõttes tulid meie vaidlejad järeldusele, et vaidlus põhineb arusaamatusel ning õieti öelda selleks polegi alust. Ja siiski ei

näi ülearune pühendada mõned leheküljed füüsika sissetungile kunstimaailma.

Nii või teisiti, kuid juba teema «Kunst ja teadus» üleskerkimise ja arutamise fakt ise annab tunnistust füüsika saavutuste ja füüsikalise mõtlemise üha kasvavast osast intelligentse inimese elus ning järelikult pakub huvi käesoleva raamatu seisukohalt. Probleem on väga lai, kuid meie peatume vaid kahel küsimusel. Esiteks, kas on olemas mingi spetsiifiline suhtumine kunstisse neil, kellele on omane range teaduslik mõtlemine? Ja teiseks, mil määral avaldab teaduse areng mõju kaasaja kunstile?

Esimesele küsimusele – füüsikute suhtumisest kunstisse – vastan ma teatud pelgikkusega. Maitsete kirevus on üldtuntud. Mõni aeg tagasi korraldas ajakiri «Ekran» küsitluse suure hulga kinoküllastajate seas. Diametraalselt vastupidiste arvamuste hulk oli niivõrd suur, et ajakiri tuli täiesti õigele järeldusele: arvamuste statistika selgitamiseks on vaja korraldada massilisem küsitlus. Täiesti loomulik järeldus, sest rahvuslikud erinevused, sotsiaalsed tingimused, vanus, perekondlik kasvatus, mis vajutab oma pitseri kaasasündinud iseloomule, – kõik see loob väga erisuguseid inimesi. Ja oleks imelik, kui nad kunsti ühtemoodi hindaksid.

Autor, mõistagi, ei korraldanud ankeetküsitlust oma ametivendade seas ning seetõttu, sõnandades teha mõningaid üldistusi, hoiatab juba ette, et kui keegi pole temaga nõus ja kutsub vaidlema, siis autor ei tõsta vaenukinnast üles.

Alustagem sellest, et füüsikaline mõtlemine töötab välja harjumuse suhtuda suurema usaldusega omaenda arvamusse kui teiste omasse. Seepärast tuleb mõistvalt suhtuda teaduseinimesesse, kui nad kunstiteoste hindamisel püüavad pretendeerida iseseisvusele ning alluvad vähemal määral võõraste arvamuste hüpnosile.

Veel üks joon füüsikute maitstes, mida ma küllalt julgelt alla kriipsutan, on filmi, näidendi, romaani süžeelise kõitvuse tingimatu nõudmine. Mitte mingisugused viited autori erakordsele psühholoogilisele peenusele, tema filosoofiliste üldistuste sügavusele, suurepärasele vormileidudele ei eruta harilikult füüsikuid ega saavuta nende juures edu. Aga seevastu fantastilised, seiklus- ja detektiivromaanid on au sees.

Nähtavasti on selline eelistamine omane mitte üksnes füüsikutele, vaid üldse kõigile oma tööle andunud inimestele. Kui raamat ei kisu kaasa, pöörduvad mõtted tahes-tahtmata armastatud töö juurde tagasi. On võimalik veel üks seletus kiindumusele jalustrabavalt keeruliseks aetud süžeeaga romaanidesse: küllap

annab end tunda ka elukutse iseloomu tõttu rahuldamata jäänud janu aktiivse tegevuse järele, mis pesitseb igapähe meist.

Arvatavasti sellepärast ongi käibel arvamus, nagu jätaksid teaduseinimesi ükskõikseks ilukirjanduslikud teosed, mis paeluvad mitte niivõrd oma süžee kui emotsionaalse küllastatuse poolest. Ehkki juhul kui sellises teoses pole kõrvalekaldumist elutööst, pole teeseldud paatost ega sentimentaalsust, leiab see teadlaste seas täiesti normaalse hulga poolehoidjaid.

Nüüd muusikast, poeesiast, maalikunstist, nendest kunstiteostest, milles kunstnik räägib inimsüdamega, «puutumata mõistust».

Enamikul juhtudel õpivad end teadusele pühendanud inimesed heameelega kuulama värse ja muusikat, vaatlema maale. Mul on kujunenud mulje, et füüsikud ei moodusta ka siin erandit. Neile omane uudishimu aga tungib kunsti valdustesse mõnevõrra sügavamale.

Alguses tahavad nad mõista, mis sunnib paljusid inimesi tundide kaupa seisma Roerichi ja Gauguini maalide ees, kuulama joovastusega Bloki ja Ahmatova värse. Seejärel see esmane eesmärk kaob ning sõnade, värvide ja helide harmoonia leiab arvatavasti otsetee hinge.

See, kes oskab ja armastab loogiliselt mõelda, kaotab võimalikult mingil määral tajumise vahendituse. Tean omast käest, et kunstniku avameelne vestlus minu hingega ei lähe kaugeltki mitte alati korda.

Kuid oleks viga arvata, et see ratsionalismi lisand emotsionaalsuse mahlale, mis seedib kunsti ande, vaesestab inimese vaimuelu. Sisselülitatud mõistuse juures kunstiteosest saadav esteetiline nauding ei nõrgene, vaid hoopis katalüüserub. Mina hindan kunstiteoseid mitte üksnes vahetute emotsioonide pärast, vaid ka nende mõtete pärast, mis mul seoses sellega tekivad (tahtis seda kunstnik või mitte), sest need mõtted on omakorda erutuse allikaks.

Võib arvata, et selline kunsti tajumine on iseloomulik minu elukutsega inimestele.

Kõik see on otseses seoses teaduslike faktide ja seaduste esteetilise tajumisega, millest oli juba juttu seaduste ja võrrandite ilu arutlemisel. Inimese võime erutada kaunist mõttest ning selle väljendusviisist täiendab loomulikult kombel kunstiteose vahetut tajumist. Seetõttu ei saa ma kuidagi nõustuda arvamusga, et ratsionalism vaesestab ja «kuivatab» inimest.

Lisaks sellele, et meelt lahutada, erutada, tundeid kasvatada,

seisab kunsti ees ka ideede ja käitumisreeglite kujundamise ülesanne.

Seda ülesannet peetakse sageli isegi kõige olulisemaks. Täiskasvanud inimesed loevad end kasvatatuks ning pöörduvad harva teadlikult kunsti poole elutödesid otsima. Kunst, nagu looduskasvatamine, kasvatab märkamata, tilkhaaval.

Võimalik, et füüsikud, kellele mõtlemine on elukutse, otsivad kunstist puhtaid ideid harvemini kui teiste elukutsete esindajad. Ja tõepoolest, inimene on paljukeeleline klaver. Elu aga mängib temal muusikapalu vaid ühe oktaavi ulatuses. Puutumata jäänud keeled tahavad samuti heliseda – see on elu instinkt.

Muusika, poeesia, maalikunst lülitavad mängu need keeled, mida igapäevane töö, alalised askeldused, üldse kogu meie elu tähelepanuga ei hellita.

Minu meelest on just see peamine.

Teine küsimus, mida tahtsime arutada, puudutab teaduse mõju kunstile.

Selles, et niisugune mõju on olemas, veenab meid kunstitegelaste kasvanud huvi teaduse vastu. Milles siis peituvad need põhjused, mis on sundinud poeete külastama teaduslikke ringe, lugema ajakirja «Nauka i žizn» ning tähelepanu ja lugupidamisega kuulama füüsikute häält?

Suhtumine teadusse on muutunud minu põlvkonna inimeste silme all. Minu nooruspäevil peeti haritud inimese jaoks kohustuslikuks maalikunsti, teatri, ilukirjanduse korralikku tundmist, kuid loomulikult mitte looduse seaduste ja ehituse mõistmist.

Näis endastmõistetav, et inimese eksisteerimise mõtet, inimeste suhtlemisreegleid, inimeste ja ühiskonna vahekordi – lühidalt, kõike seda, mis moodustab elu tuuma, saab mõista üksnes kunsti abil.

Ma mäletan väga hästi peaaegu põlastavat huvi puudumist loodusteaduse vastu humanitaarringkondades minu üliõpilaspäevil. Ja täielikku veendumust selles, et üldinimlike tõdede tunnetamisel ei ole midagi ühist loodusteaduse probleemidega. Aastate jooksul on pilt muutunud. Nüüd on lugu nii, et noored füüsikud kõnelevad enesekindlalt, nende filoloogidest ja ajaloolastest eakaaslastel aga kuulavad lugupidamisega.

Luuletajad ja kunstnikud peavad oma kohuseks füüsikast ja bioloogiast kas või natukegi aru saada. Etteheiteid kunstitegelaste aadressil relatiivsusteooria või kvantmehaanika aluste mittemõistmises on hakatud alistuvalt vastu võtma kui täiesti ära teenitut ning õigustatut. Arvata Einstein matemaatikute hulka on praegu niisama sündsusetu, kui pidada Picassot muusikan-

diks (säärase harimatuse näite tõi Leningradi Ülikooli endine rektor Aleksandrov).

Ühesõnaga, poeedid õpivad loodusteadust. Milleks neil seda vaja on?

Kui Wellsi ajamasina abil oleks võimalik üle tuua meie kaas-aega tuhat väikest last muistsest Hellasest või Roomast, siis nende kaugest minevikust tulnukate kasvatamise ja õpetamise tulemused vaevalt küll erineksid tänapäeva laste kasvatamise edusammudest ja äpardustest. Geneetilised muutused on aeglane protsess ning mõned aastatuhanded kujutavad endast evolutsiooni seisukohalt vaid silmapilku. Aristoteles ja Demokritos oleksid arvatavasti sattunud andekate noorte kooli ning edukalt õppinud kvantmehaanikat. Sophokles ja Aristophanes oleksid kirjutanud kahevaatuselisi psühholoogilisi näidendeid, kuna aga noored ilma kirjaniku või maalikunstniku andeta oleksid edukalt toime tulnud raadiotehnika või lekaalilukksepa erialaga ning gladiaatorite võitluste asemel oleksid puhkepäeviti külasthanud jalgpallimatše.

Selle aja jooksul, mille sügavusse ajaloolised ürikud meil pilku heita lubavad, pole inimese sünnipärane iseloom ja kired sugugi muutunud. Kuid ometi erinevad mitmesuguste sajandite esindajad üksteisest vägagi palju. Nende erinevuste põhjuseks on sotsiaalne keskkond, ühiskondlikud suhted, s. o. kasvatus. Ent inimene on jäänud ja jääb kõigil epohhidel ikkagi inimeseks. Kunst peegeldab suurepäraselt seda asjaolu.

Kunsti tuuma moodustavad igavesed teemad – armastus ja armukadedus, sõprus ja vihavaen, inimiseloomu vastuoksus... Seepärast pole põrmugi vananenud Shakespeare'i näidendid ning laval elab edasi ja saab menu osaliseks iidse Kreeka teater. Ron-sardi värsid erutavad meid nõndasamuti nagu suure prantsuse poeedi kaasaegseidki. Praxitelese raidkujud ning kuninganna Nof-retete skulptuurportree hellitavad pilku ning on eeskujuks ja talendi mõõdupuuks kaasaegsele skulptorile.

Kuid iga järgnev kunstnike põlvkond püüab kujutada maailma uut moodi. Jäädes igaveste teemade ringi, püüavad nad seda saavutada uute vormide otsingute abil ning surematute süžeede läbipõimimisega uute sotsiaalsete suhetega.

Tõeline kunstnik, püüdes tuua kunsti igavestesse teemadesse midagi oma, vaatleb ahnelt ja avasilmi kaasaega, otsib epohhi värve, mis peavad tema teostele andma kordumatu ja ainulaadse värvingu.

Kuid epohhi iseärasused pole üksnes sotsiaalsetes tingimustes. Teaduse saavutused on viinud tehnilistele avastustele, mis

mõjutavad maailma saatust. Loodusteaduse edusammud on sundinud uut moodi mõtestama ka moraalseid väärtusi. Et mitte palju sõnu teha, piisab hingeelu materiaalsuse tõestamise meetamisest.

Arusaadav, et kunst ei saa nendest muutustest niisama mööda minna. Kas ei tundu loomulikuna mõte (võib-olla alateadlik), et selles teaduse mõjus elule tulebki otsida uusi, seni veel järeleproovimata värve, mis peavad lubama kunsti igavesi teemasid kordumatult esitada.

Kunstitöötajate tähelepanu teaduse vastu on andnud juba käegakatsutavaid tulemusi. Luuletustes on hakanud vilksatama positronid ja neutronid. Abstraktsetele maalidele on hakatud andma sääraseid nimetusi nagu «Lorentzi teisendused». Teatrilavadel etendub näidend nimetusega «Füüsika». Paljudes romaanides kulgeb kangelaste töö ja tegevus teadusliku uurimise instituudi katuse all. Kasvab teaduslik-fantastiliste jutustuste arv. Kuid kõik need on vaid välised tunnused; põhiline revolutsioon kunstis on arvatavasti alles ees.

Oleks ebaõige arvata, et teadus vallutab kunstis ainult süžee. Kunstniku eesmärk on ju lugejale või vaatajale edasi anda tegelikkuse isikupärane tundmine ja tajumine.

Füüsika sissetung kunsti peab viima uue poetilise vaate kujunemisele asjadele ja inimestele. Varem või hiljem hakatakse maailma kunstiliselt nägema läbi teadusliku mõtlemise prisma. On olemas tõsisemaid argumente selle poolt, et teaduslik mõtlemine annab end varem või hiljem tunda ka poeesias.

Kui tunned asjade loomust, siis ei saa enam kirjutada neist nii nagu oma teadmatuse ajal. Inglise poet Keats vihkas suurt Newtonit sellepärast, et too andis seletuse vikerkaarele ning rebis puruks poetilised sidemed vikerkaare ja jumalike jõudude vahel. Tema arvates vaesestas teaduslik seletus poeesiat. Muidugi teame nüüd, et asi pole hoopiski nii. Kuid tähtis on ülestunnistus, et pärast seda, kui oled midagi teada saanud, ei saa seda teadmist ignoreerida ei tegelikkuse tajumisel ega ka selle väljendamisel kunstiliste vahenditega.

Kas Keatsil (aga samuti paljudel tema endis- ja nüüdisaegsetel mõttekaaslastel) on õigus, et teadus depoetiseerib tegelikkust? Tundub, et selles pole kübetki tõde.

Arvata, et teadus segab poeesiat, tähendab mõelda, et poeesia lõpeb seal, kus hakkavad läbi paistma selged seosed nähtuste vahel või kus muutuvad nähtavaks inimese meeolude ja kirgede algpõhjused.

Kas poleks õigem arvata, et asjade loomuse mõistmine peab

just sünnitama toredaid poeetilisi kujundeid? Teadmine, mis puudus eelkäijatel, võimaldab kunstnikul leida uusi sõnu ja värve tõeliselt kaasaegsete ja täiuslike teoste loomisel.

Meie kirjanikud ja kunstnikud ilmutavad märksa suuremat huvi teaduse vastu kui nende kolleegid raja taga. Ja teisiti see ei saagi olla. Meie kunstitöötajad on ju kasvatatud realistlike traditsioonide vaimus. Halvakspanev suhtumine teaduslikesse teadmistesse, mis on tüüpiline muusade teenijaile Läänes, viib uudsuse otsinguile üksnes kunstiteose vormi osas. Süžeest loobumine, vormiharrastused, «uus romaan» ilukirjanduses – kõik see tuleneb uue otsingute luhtumisest kunsti vanadel arenemisteedel. Kannatadasaanud pole nähtavasti järele mõelnud selle üle, milliseid ääretuid vabadusi kunstilise inspiratsiooni jaoks pakub meie kaasaegseile loodusteaduslike teadmiste fenomenaalne kasv. Nad pole mõistnud, et realism ei ammenda end seniajani, kui ei muutu meie vaated loodusele ja inimestele.

* * *

Paljud leheküljed ja rida peatükke selles raamatus on pühendatud eeskätt noorele lugejale, kes mõtleb tõsiselt oma tulevase elukutse valiku üle. Autor seadis eesmärgiks jutustada, milles seisab füüsiku elukutse, näidata selle teaduse tõepoolest piiramatuid võimalusi ning selle rakendamist peaaegu kõigil elualadel. Muidugi ei vaja füüsika kui elukutse tänapäeval reklaami. Kuid koolist saadavad andmed «füüsika alal» ei anna üldreeglina õiget ettekujutust füüsiku elukutsest.

Füüsikaliste uurimismeetodite ja teooriate universaalsus jääb koolikursuse raamest välja. Noormees või neiu vaevleb elukutse valikul sageli esimesel pilgul vastuolulistena näivate soovide käes. Tõelise kommunistliku noore jaoks pole midagi loomulikumat, kui töötada selles lõigus, mis antud ajal on eriti tähtis meie riigile. Seetõttu paelub keemia. Kuid samal ajal tunduvad füüsikalised aparaadid ligitõmbavamad kui keemia katseklaasid. Või veel: tahaks rännata, näha kodumaad, aga samal ajal on ahvatlev pühenduda täpsetele matemaatilistele arvutusetele.

Seepärast tundus vajalik olevat näidata, et need ja paljud teised soovid pole sugugi vasturääkivad, vaid on isegi loomulikult viisil ühendatavad.

Kui püüda raamatu eesmärki lühidalt formuleerida, siis tuleb ütelda niiviisi: ta on kirjutatud selleks, et näidata füüsika osa ja kohta kaasaja kultuuris.

Teaduse tähtsuse kasv ühiskonna elus on viimaste aastakümnete tulemus. Pole imestada, et välismaa intelligentsil on süüaamani mõnevõrra ähmane ettekujutus teadusliku tegevuse olemusest ja sisust. Pole haruldased ka arvamused, mis hämmastavad oma ühekülgse vaatega asjadele. Argumente füüsika vastu leitakse ilma vaevata: radioaktiivsed sademed, aatomipomm, raketid – ilma teaduseta poleks neid «kingitusi» ühiskonnale olnud. Kuid need argumendid pole uued. Samasuguseid süüdistusi avaldati ka töö automatiseerimise vastu, ehkki on selgesti näha, et teadusest tulenev kahju pole tingitud mitte teaduse loomusest, vaid kapitalistliku ühiskonna olemusest.

Teaduse eitajate kilda kuuluvad niihästi need, kes pooldavad teaduse eemaldumist tema praktilistest rakendustest, kui ka praktiliselt mõtlevad tegelased, kes ei näe teaduses muud kui materiaalsete väärtuste rohkendamise vahendit.

Kõiki neid äärmuslikke seisukohti arvesse võttes tundus otsarbekohane peatuda üksikasjalikult teaduse jaotamisel looduse ja rakendusteadusteks ning näidata nende vastastikust mõju ja koostööd. See oli autori esimene ülesanne.

Me oleme tunnistajateks ühtse vaate kujunemisele elusa ja eluta materia loomusele. Kaovad piirid loodusteaduse üksikute harude vahel. Varisevad kokku kujutelmad keemiliste ja bioloogiliste protsesside erilistest, mittemateriaalsetest kandjatest.

Teaduse saavutused, mis tõestavad kogu looduse allumist üldistele füüsikaseadustele, kohtavad tihti peale vastuseisu idealistlikult või lihtsalt kitsarinnaliselt mõtleivate spetsialistide poolt. Kooliõpetus püstitab kõrged tarad üksikute distsipliinide vahel.

Seepärast näis tähtis olevat üksikasjalikult peatuda kogu loodusteaduse viimisel ühisele alusele – ühtsetele füüsikaseadustele.

Selline oli teine ülesanne, mida autor püüdis lahendada.

Raamat on kirjutatud laia lugejaskonna jaoks. Kas autoril on alust arvata, et see pakub huvi niivõrd arvukale inimeste kategooriale?

Kogu maailma kultuuritegelaste üksmeelse tunnistuse järgi on nõukogude lugeja kõige parem lugeja. Sotsialistliku riigi poole saajandi pikkune eksisteerimine on kasvatanud inimese, kes pole mitte lihtsalt teadmishimuline, vaid suhtub eriti terava tähelepanuga kõigisse ühiskondliku elu nähtustesse. Seepärast pole kahtlust, et raamatus püstitatud üldised probleemid köidavad lugejate tähelepanu. Komplimendiga oma tulevasele lugejale ei püüa autor võita tema soosingut. Kui raamat on halb, siis ei päästa seda ei kõige suurepärasem teema ega autori parimad kavatsused.

Järelsõna

Autorist . . .

Füüsika-matemaatika doktor, professor Aleksandr Issakovič Kitaigorodski on tuntud teadlane, tunnustatud spetsialist röntgeni-struktuurianalüüsi alal. Tema sulest on ilmunud mitu mahukat monograafiat ning hulk teaduslikke töid. Ta on suure laboratooriumi juhataja NSVL TA Elementorgaaniliste Ühendite Instituudis Moskvas ning rea teaduslike komisjonide ja nõukogude esimees või liige.

Laiihaardelise teadusliku ja pedagoogilise tegevuse kõrval on A. Kitaigorodskil jätkunud aega ja tahtet teaduse populariseerimiseks. Üleliiduliselt on hästi tuntud mitmed tema populaarteaduslikud raamatud aine ehitusest ja kristallidest, artiklid ajakirjades ja ajalehtedes, populaarsed loengud, esinemised vaidlusõhtutel ja lugejatega kohtumistel.

Eesti lugejale on A. Kitaigorodski ammune tuttav. Viiekümnendail aastail ilmus temalt populaarteaduslikus sarjas kaks brošüüri: «Aine ehitus» (1950) ja «Kristallid» (1952). Üsna hiljuti aga jõudis meie lugemislauale suurepärane populaarne raamat füüsika üldkursuse alustest «Füüsika kõigile» (1968), mille prof. A. Kitaigorodski oli kirjutanud viljakas koostöös Lenini ja Nobeli preemia laureaadi akadeemik Lev Landauga.

«Füüsika on minu elukutse» on raamat teadusest, kirjutatud teadlase poolt. Tihti on vaieldud selle üle, kes peaks kirjutama populaarseid raamatuid teadusest. Kas kõrvalseisjad – kirjanikud ja ajakirjanikud, kes valdavad hästi ilukirjanduse «mängureegleid», kuid pole teadusega ise vahetult kokku puutunud? Või siis teadlased, kes ise teadust edasi viivad, kuid kel pole alati oskust ja tahtmist teadusest üldarusaadavalt ning elavalt kirjutada? Vastus võib olla ainult üks: teadusest peaksid kirjutama eelkõige teadlased, kellel on kirjanduslikke kalduvusi. Ainuke häda on selles, et sääraseid inimesi on väga vähe – meie väikeses vabariigis võib neid ühe käe sõrmedel üles lugeda ja ega neid üle kogu Nõukogude Liidugi kuigi palju kokku ei arva. Aleksandr Kitaigorodski kuulub kahtlemata selliste autorite hulka.

Käesolev raamat on haarav ning väga omapärane jutustus teadusest ja selle üldistest probleemidest, eeskätt muidugi füüsikast ja füüsikutest. Raamat viib lugeja teaduse maailma, avab selle säärasena, nagu ta paistab füüsiku vaatevinklist. Autor avaldab oma mõtteid avameelses, sõbralikus vestluses lugejaga. Ja kuigi vestluse toon on tihtipeale poolnaljatlev (see on autoril väga hästi õnnestunud), on vestluse eesmärk väga tõsine: veenda lugejat, et füüsika seadused on kogu loodusteaduse alusmüür ning et füüsika etendab väga tähtsat osa kaasaja ühiskonnas. Seda eesmärki ei lase autor hetkekski silmist, ükskõik millist küsimust ta ka ei puudutaks. Küsimuste ring on aga väga lai. Mis kasu on teadusest ja mis on teaduse eesmärk? Kes kõlbab teaduslikuks töötajaks ja mida tähendab füüsikaline mõtlemisviis? Kas kulutused teaduslikele komanderingutele ning konverentsidele õigustavad end ja kuidas planeerida teaduslikku tööd? Kas teadlane võib usaldada «terve mõistuse» häält ja kuidas eristada õiget teooriat väärdõpetusest? Milline on vahekord füüsikute ning lüürikute vahel ja mida arvata telepaatiast? Jne., jne.

Olles oma elukutse patrioot, agiteerib autor loomulikult füüsika poolt. Ning seda ei saa talle kuidagi pahaks panna. Võib ainult kahetsust avaldada, et teistel teadusaladel selliseid kirjamehi ei leidu.

Neid, kes tegelevad füüsikaga või mõne muu teadusega, arvatavasti üllatab meeldivalt, kuivõrd tabavad on autori paljud tähelepanekud. Nii mõnegi neist tahaks kohe oma märkmikku kanda! Väga hästi on näidatud teadusetegemise «köögipoolt», kujutatud füüsikute argipäevast tööd selle rõõmude ja muredega, tunda antud laboratooriumi hõngu.

Tõsi, leidub ka vaieldavaid seisukohti, millega mõni lugeja ei taha ehk nõustuda. Kuid autor ei püüagi neid lugejale peale suruda, vaid tunnistab avameelselt, et need on tema isiklikud arvamused, mis võivad vahel ka diletantlikud olla. Meenutagem kas või juttu sellest, millised omadused peaksid olema tulevasel teadlasel, või autori suhtumist ilukirjandusse, maalikunsti, muusikasse.

Lõpetuseks: professor A. Kitaigorodski raamat on hea lisa meie populaarteadusliku kirjanduse küllaltki kasinasse nimekirja. Jääb vaid loota, et nii mõnigi noor lugeja, kes seisab elukutsevaliku ees, otsustab pärast selle raamatu läbilugemist: füüsika peab saama ka minu elukutseks. See oleks autorile (ja tõlkijalegi) suurimaks tänuks tehtud töö eest.

Tartus, 17. oktoobril 1969.

A. Laisaar,
füüsika-matemaatika kandidaat

Sisukord

Eessõna	3
1. peatükk. Teed ja eesmärgid	5
2. peatükk. Teaduse kasust	18
3. peatükk. Me pole asustamata saarel	23
4. peatükk. Täna on meil kollokvium	32
5. peatükk. Uks teadusse	41
6. peatükk. Pisut ajalugu	49
7. peatükk. Esimene rünnak tervele mõistusele	58
8. peatükk. Kapitulatsioon	67
9. peatükk. Tänane päev	75
10. peatükk. Keemia	85
11. peatükk. Bioloogia	93
12. peatükk. Psühholoogia	100
13. peatükk. Füüsikud tegelevad teadusega	109
14. peatükk. Lai on sinu tee	119
15. peatükk. Füüsikud ja lüürikud	131

Александр Исаакович Китайгородский. ФИЗИКА —
МОЯ ПРОФЕССИЯ. На эстонском языке. Перевел с русского
А. Лайсаар. Художественное оформление Ю. Аппак. Изда-
тельство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja H. Heinoja. Kunstiline toimetaja A. Säde. Tehniline
toimetaja S. Kohu. Korrektorid M. Pall ja S. Türn. Laduda antud
18. VII 1969. Trükkida antud 28. X 1969. Kohila Paberivabriku
trükipaber nr. 2, 54×84/16. Trükipoognaid 9. Tingtrükipoog-
naid 7,56. Arvestuspoognaid 8,59. Trükiarv 8000. Tellimuse nr.
4428. H. Heidemanni nim. Trükikoda. Tartu, Ülikooli 17/19. 1.

Hind 36 kop.

36 kop.

A-30249
=



TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00483834 0