

EMILE PICARD

**LÜHIKE ÜLEVAADE TEADUSTE JA
FÜÜSIKALISTE TEOORiate
AJALOOST**

**Lühike ülevaade teaduste ja füüsikaliste
teooriate ajaloost**

Publications de l'Institut Scientifique Français à Tartu

EMILE PICARD

de l'Académie Française
Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences

Un Coup d'Oeil sur l'Histoire des Sciences et des Théories Physiques

Traduit par

HARALD PERLITZ

Professeur à la Faculté des Sciences Mathématiques et
Naturelles de l'Université de Tartu

Publié sous les auspices du Comité pour l'Expansion du
Livre Scientifique
Secrétaire Général: Paul Gaultier, de l'Institut

K.Ü. „LOODUS“, TARTU, 1936

TARTU ÜLIKOOLI

Tartu Prantsuse Teadusliku Instituudi Toimetised

EMILE PICARD

Prantsuse akadeemia liige
Teaduste akadeemia alaline sekretär

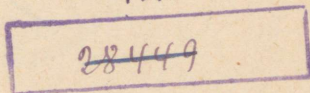
Lühike ülevaade teaduste ja füüsikaliste teooriate ajaloost

Tõlkinud

HARALD PERLITZ

Tartu ülikooli matemaatika-loodusteaduskonna
professor

1A



Avaldatud Teadusliku Raamatu Levitamise Komitee
patronaažil

Peasekretär: Paul Gaultier, Prantsuse Instituudi liige

K.Ü. „LOODUS“, TARTU, 1936

1974.



i 33186996

K./Ü. „Looduse“ keeleline korrektor H. Pürkop.

O./Ü. K. Mattieseni trükikoda, Tartu, 1936.



SAATEKS.

Algupärandi lisandina sisaldab tõlge autori näopilti ja elulookirjeldist. Viimase koostamiseks on tõlkija kasustanud vabalt Ernest Lebon'i raamatu „Emile Picard“ teist trükki, mis ilmunud seerias „Savants du Jour“. Sealt on ka pärit näopilt ja seal leidub üksikasjaline süstematiseeritud loend Picard'i trükis ilmunud töödest. Siin olgu lisaks elulookirjeldises märgitud töödele mainitud ainult veel kahekõitene „Théorie des fonctions algébriques des deux variables indépendantes“, mille E. Picard koostanud ühes G. Simart'iga.

Sõna „teadused“ on tarvitatud tõlkija poolt mitte selle sõna eestikeelses, laiemas mõistes, mis haarab kõiki süstematiseeritavaid teadmisi, vaid ainuüksi selle sõna prantsuskeelses, kitsamas mõistes, mis hõlmab ainult selliseid erilisi teadusi, mis meil koondunud matemaatika-loodusteaduskonda.

Tõlkija võlgneb tänu pr. A. Perlitz'ale, kes on aidanud kohendada käsikirja ja on lugenud kõik korrektuurid. Tõlkija ei saa ka jätta tänuga mainimata Tartu Prantsuse Teaduslikku Instituuti, kes avaldab käesoleva tõlke oma toimetiste seerias, ja Teadusliku Raamatu Levitamise Komiteed, kes võimaldanud ja aineliselt soodustanud käesoleva tõlke ilmumist.

Tartu, 20. aprillil 1936.

Tõlkija.

EMILE PICARD.

Charles-Emile Picard sündis 24. juulil 1856 siidivabrikandi pojana. Kooliõpilasena ta harrastas kirjandust ja ajalugu, kuid osutas parimat edu tõlkimisel kreeka keelest ja ladina luules. Eelviimases klassis raugneb natuke tema huvi kirjanduse vastu ja ta andub algebrale.

Veebruaris 1872 suri tema isa ja proua Picard soovitas Emile'ile, peale küpsustunnistuse saamist kirjanduses, anduda kaubandusele. Õnneks teadusele tema ema aga loobus sellest kavatsusest, sest matemaatikaprofessor Colas suutis talle selgeks teha, et Emile võiks hõlpsasti valmistuda sisseastumiseks Ecole Polytechnique'i. Juulis 1873 omandab ta küpsustunnistuse teadustes. Peale aastast matemaatika õppimist leiab ta vastuvõtmist Ecole Normale'i esimesena ja Ecole Polytechnique'i teisena. Üks onudest, sildade ja teede inspektor, soovitab tungivalt Ecole Polytechnique'i, teda aga tõmbab, vastavalt enda teoreetilistele kalduvustele, Ecole Normale. Olles kahevahel, külastab ta Pasteur'i, kelle laboratoorium asus Ecole Normale'is, ja Pasteur'i mõjustusel otsustab ta Ecole Normale'i kasuks.

Õppides veel Ecole Normale'is kirjutab ta juba oma esimese teadusliku töö, mis esitatakse Teaduste Akadeemiale 29. jaanuaril 1877. 16. juunil 1877 ta kaitseb 21-aastasena Sorbonne'is hiilgavalt oma doktoriväitekirja matemaatiliste teaduste alal. 1877—1878 õpetab ta matemaikat Ecole Normale'is ja Sorbonne'is ja 1878—1879 on ta maître de conférence.

Peale väitekirja kaitsemist ta tegeleb veel mõnda aega geomeetriliste küsimustega, kuid samal aastal alustab uurimisi analüütiliste funktsioonide teooria valdkonnast. Järgmisel aastal ta avaldab kaks lauset

täisfunktsioonide kohta. Need laused kannavad praegugi Picard'i lausete nime. 24. novembril 1879 saab Picard diferentsiaal- ja integraalarvutuse õppeülesannetetäitjaks Toulouse'i ülikoolis. 1880. aasta alguses Picard'il õnnestub näidata, et Lamé võrrandi üldintegraal, mis saadud Ch. Hermite'i poolt, on tuletatav teatavate lineaarsete diferentsiaalvõrrandite üldisest teooriast ja neid võrrandeid on hakatud nimetama Picard'i võrranditeks. Oktoobril 1881 kutsuti Picard Pariisi, et asendada Bouquet'd füüsikalise ja eksperimentaalse mehaanika õppetoolil.

Aritmeetilised uurimised viisid Picard'i kahe funktsioonide klassi uurimisele, mida ta nimetas hüperfuchsisteks ja hüperabelisteks. Samadest uurimistest lähtudes ta leidis ka transformatsioonide grupi ruumi täppidele, mis asetsevad ühel pool tasapinda, transformatsiooni grupi, mida nimetatakse Picard'i grupiks. 1893. aastast peale ta loobub oma õppetegevuses klassiliste kursuste lugemisest, jättes neid maître de conférence'i hoolde, ja ise kannab ette kõrgemaid kursusi, mis moodustavad tema „Traité d'Analyse'i“ teise ja kolmanda köite esimese trüki sisu. 1884. aastast alates Picard tegeleb algebraliste pindadega ja nii edukalt, et üks rühm hüperelliptilisi pindu on saanud nimetuseks Picard'i pinnad.

1886. aastal auhinnatakse ta Poncelet-nimelise auhinnaga ning 1888. aastal auhinnaga Grand Prix des Sciences mathématiques. Novembris 1889 saab ta Teadusteakadeemia liikmeks geomeetria harus, olles ainult 34-aastane. Algebraliste pindade teoorias esinevaid integraale on Picard uurinud korduvalt ja siin esinevaid nn. teist ja kolmandat liiki integraale nimetatakse paljude matemaatikute poolt Picard'i integraalideks.

Peale nimetamist kõrgema analüüsi ja kõrgema algebra õppetoolile novembris 1897 polnud Picard oma loengutel enam seotud mingi kavaga ja ta võis kanda ette oma kuulajatele enda ja oma kaaslaste viimaseid uurimusi, nagu näiteks osatuletistega diferentsiaalvõrrandite rakendamisaladest matemaatili-

ses füüsikas. Selline sisu poolest alaliselt uuenduv õpetamine, olles kindlasti väga väsitav õpetajale, omab seda paremust, et ta ei eralda õpetamist uurimisest. See menetlus oli ka väga sobiv Picard'i auditooriumile, mis ei koosnenud noortest üliõpilastest ja millede seas oli palju välismaalasi, kes olid tulnud Prantsusmaale oma hariduse täiendamiseks. Oli ju Picard selleks ajaks omandanud ülemaailmalise kuuluse, olles kümnekonna teadusteakadeemia liikmeks, mitmete ülikoolide audoktoriiks ja kümnekonna tähtsa teadusliku seltsi liikmeks. Kõikidest nendest austusavaldustest, millede osaliseks ta saanud, oli Picard'ile isiklikult kõige armsamaks Jean-Reynaud-nimeline auhind, mille ta sai 1911. aastal ja mis on ainus auhind, mille Prantsuse Teaduste Akadeemia annab vahete-vahel mõnele oma liikmetest.

Osatuletistega diferentsiaalvõrrandite uurimine on viinud Picard'i tegelemisele matemaatilise füüsika võrranditega, milledes etendab tähtsat osa integraale määravate piirtingimuste loomus. Saavutistes sel alal tuletagem meelde tema tähelepanuväärseid töid membraanide võnkumisest, telegraafivõrrandist, elektri jaotusest Coulomb'i ja Neumann'i seaduste alusel ja soojuse teooria alalt.

Picard ei piirdunud aga mitte üksnes sellega, et laiendada matemaatiliste teaduste piire, mis juba üksi omaette on küllalt raske ülesanne, vaid tema on peale selle veel käsitelnud filosoofilisest seisukohast inimvaimu saavutisi kõikides teadustes. Huvitav ja kasulik on lugeda tema kirjutist „Sciences“, mille ta on kirjutanud Prantsuse valitsuse ülesandel rahvusvahelise näituse puhul, mis peeti 1900. aastal Pariisis. Mõtted, mis avaldatud selles ülevaates ja tema ettekannetes, mis peetud aastail 1889 ja 1904 Ühendriikides, moodustavad suurema osa teosest, mille ta avaldas 1905. aastal pealkirja all „La Science moderne et son état actuel“. Samasse liiki kuulub ka ettekanne „La Mathématique dans ses Rapports avec la Physique“, mille Picard pidas 1908. a. Roomas. Oma sellelaadilistes kirjutistes Picard käsitleb korduvalt vahet

teaduse ja filosoofia vahel. „On,“ ütleb ta töös „La Science moderne et son état actuel“, „väga levinud arvamus, et teadlased on tänapäeval väga huvitatud filosoofiast... Kas ei peitu aga ometi selles kahemõttelisus, mis tingitud väljendusest „teaduste filosoofia“, millega kõige sagedamini nimetatakse seletusi meetodite ja üldiste saavutiste kohta... Kõikide aegade filosoofilistele koolidele armsad ja kallid arutlused tõelisuse ja tõe üle näivad ülearustena neile, kes vaatlevad ja katsetavad. Teadlast (meie jätame muidugi kõrvale erandid) rahuldab igapäeva mõistus. Tema püstitab kõigepealt postulaadi, et meid ümbritsev maailm on kättesaadav meie uurimistele ja et ta peab olema meile arusaadav. Ta usub teadusse, millele ta pühendab mõnikord oma elu, ja ta on umbusklik teravmõtteliste arvutuste suhtes, mis pole veel iialgi viinud tõhusatele avastustele. Claude Bernard ütles, et tuleb uskuda teadusse, kui tegelda teadusega; sellele, kes püüab teha teaduslikku tööd, on see seisukoht kahtlemata lähtekohaks, mitte aga tulemuseks.“

Mis puutub teadusliku töö tingimustesse, siis Picard ei salga, et ta vaatab kahetsusega teatavate prantsuse ülikoolide muutumisele ainuüksi tehnilisteks koolideks. „Riskitakse,“ ütleb ta, „saada kistud kaasa sel teel palju kaugemale, kui seda alul sooviti; meie demokraatlikus ajastus võistlus on ebavõrdne omakasupüüdmatu teaduse ja tema kasutoovate rakenduste vahel. On karta, et krediidid selle asemel, et minna sellise füüsikalaboratooriumi kasustada, milles toimetatakse uurimisi, mille eesmärki enam ei tunne, ja millised, vähemalt antud hetkel, on rakendusteta, ennemini lähevad enam-vähem erilise tehnilise loomuga instituutidesse (piimanduse ja paberiasjanduse instituutidesse, näiteks).“ Picard küsib samuti, kas ei tuleks lugeda soovitavaks asutiste loomist, mis oleksid pühendatud ainuüksi teaduslikule uurimisele, ja ta märgib, et Prantsusmaal Collège de France on asumas sellele tee, vähendades oma õppejõudude õppetundide arvu.

Lühike ülevaade teaduste ja füüsikaliste teooriate ajaloost¹.

Tavaliselt teie kuulete oma avalikkudel koosolekutel kedagi oma alalistest sekretäridest kõnelemas, vastavalt vagale kombele, mõne meie endise ametivenna elust ja tööst. Lubatagu minule käesoleval aastal loobuda korraaks sellest traditsioonist. Tänapäev kõneldakse ühtepuhku teadusest, tema väärtusest, sellest, mida võiksime temalt loota. Võib-olla pakuks teatavat huvi, eriti ajaloolisest seisukohast, heita kiiret pilku teaduslikule arengule läbi ajastute, uurida mõnede näidete najal, kuidas on vaadeldud teadusi mitmesugustel ajajärkudel ja millist kujutelma on loodud füüsikaliste teooriate sisust.

Meie võime anda siin ainult lühikest ja pealiskaudset kokkuvõtet väga laiaulatuslikust aineist, mis riivab mitmeti inimese vaimse arengu ajalugu. Me jätame aga peaaegu täitsa kõrvale bioloogilised teadused, mis ometi püstitavad nii paljudgi põhjaneva tähtsusega probleeme. Kuid neis esinevad teooriad omavad teist loomu kui füüsikalisk-keemilistes teadusis; mõisted ja kujutelmad on siin vähem välja töötatud ja nad on kaugemad matemaatilisest staadiumist.

Montaigne kirjutas oma „Essais'des“: „Teadus on suureks kaunistuseks ja imeväärset kasu

¹ Ettekanne Teaduste Akadeemia aastakoosolekul 16. detsembril 1929.

andvaks tööriistaks.“ Veidi hiljemini Huygens näeb omalt poolt teaduses „praktilist kasulikkust inimsoole ja kõigile tulevaile sajanditele, ja samuti kindlustatud alust looduslikkudele ja loomulikkudele nähtustele toetuva filosoofia ülesehitamiseks, milles tagajärgede ja toimete tundmisest jõutakse põhjuste tundmisele“. Sama aja paiku prantsuse akadeemia sõnastik andis järgmise definitsiooni: „Teadus, teadmine, mida omame mõnest asjast. Teadus tähendab ka kindlat ja selget asjade tundmist nende põhjuste kaudu.“

Kuidas ka oleks raskustega, mis seotud sõnaga *põhjus* ja milledele meie veel tuleme tagasi, eelmised tsitaadid näitavad aspekte, millel võime vaadelda teadust. Ta oli esiteks tööriistaks, mis võimaldas ürginimesele samm-sammulist tõusu. Õige varakult inimkonnas esineb isikuid, kes oma kaaslasist tähelepanelikumalt vaatlevad igapäevseid nähtusi. Nemad olid esimesi teadlasi. Nemad süütasid esimesi tulesid ja õpetasid valmistama eelajalooliste ajastute tööriistu. Peale praktiliste eeskirjade meie leiame kaugeis möödunud ajastuis faktide süstemaatilist ja mõtlikku kaalutlemist, käsikäes nende rühmitamisega, millele ei või keelduda omistamast teaduslikku loomust; pealegi on vahetegemine teaduse ja tehnika vahel teadupärast ebamäärane. Teises mõttevaldkonnas meie näeme jällegi varakult esinemas abstraktset mõistet täisarvust, ja kas ei pea ka mitte omistama teaduslikku loomust keele elementide analüüsile, mis pikapeale on viinud silbilisele ja tähestikulisele kirjutamisele.

I.

EGIPTUS JA KALDEA.

Kui jätta kõrvale teaduslik arenemine Kaug-Idas, mida meie ei tunne kaugemale tagasi ulatavas vanas ajas kuigi hästi, siis algab teaduse vähegi dokumenteeritud ajalugu Egiptuse ja Kaldea vanade tsivilisatsioonidega. Mitu tuhat aastat enne Kristuse sündi tunti seal juba selliseid töövahendeid, nagu kang, kiil, plokk, ja püstitati mitmekesist tehnikat nõudvaid hiigelehitisi. Babüloomlased ei tegelnud mitte ainult staatikaga, vaid nähtavasti tundsid ka kinemaatikas ühtlaselt kiirendatud liikumist.

Mis puutub aritmeetikasse, siis leidsid juba õige varakult kaks numeratsioonisüsteemi, üks eranditult kümnendiline Egiptuses, teine peamiselt kuuekümnendiline Babülooonias. Üks juba ammugi avastatud papüürus, nn. Rhind'i papüürus, mis vastsetl tõlgitud inglise keelde, on väärtuslikuks dokumendiks matemaatikate ajaloole vanas Egiptuses. Ta on eeskätt arvutaja käsiraamatuks, mis ulatub tagasi kaheteistkümnenda dünastia ajani. Ta sisaldab teoreetilisi osi, eriti progressioonide üle, ja võiks öelda, et ta toob näiteid algebraliste probleemide kohta esimese järgu võrrandite valdkonnast; selles väga pitoreskses algebras tundmatu x on kujutatud mullas tuhniva iibisena, ja meie märgid *suurem* ja *väiksem* jalgadena, mis suunatud vastavalt kas vasemale või paremale poole, kuna meie *võrdsuse* märk on kujutatud

skarabeusena, saamise sümbolina. Rhind'i papüürus sisaldab ka geomeetrilist osa, kuid täielikumat informatsiooni vana-aegse Egiptuse geomeetriast leiame peamiselt ühest Moskvas säilitatavast papüürusest, mis on pärit kaheksateistkümnendast sajandist enne Kristuse sündi, ja mille uurimine pole veel lõpule viidud; oma üllatuseks leiame siin täpsa avalduse ruudulise alusega tüvipüramiidi ruumalale ja samuti lause, et poolkera pindala on kahekordne suurringi omast, mis teda servab.

Kas geomeetria, mis oli vanal ajal füüsika esimene peatükk, omas siis nagu aritmeetikagi omi teoreetilisi osi? Üldiselt vastatakse sellele eitavalt. Võib-olla annab aga Moskva papüürus uut informatsiooni selles asjas.

On teada, kui palju väärtuslikke astronoomilisi vaatlusi kogunes Egiptuses ja Kaldeas ja millist osa mängis Niiluse jõe kaldal 1460-aastane Sothise (Orjätähe) periood. Mehaanika alal egiptuse mälestusmärgid annavad tunnistust tähelepanuväärivast tehnikast, kus arhitektid kasustasid võlvide ja kuplite joonistamisel kujundite geomeetrilisi omadusi. Vähe on öelda füüsika kohta vanas Egiptuses, ja keemiagi näib olevat taandatud pea-aegu ainult metallurgilistele menetlustele, milleda liitusid maagilised toimingud ja müstilised tõlgendused, nagu sellised, milledes esineb arv *seitse*. Vastandina aga vanad egiptlased on toimetanud ülihuvitavaid vaatlusi loomade ja taimede üle. Teatavad taimede kujutused Karnak'i templi müüridel on nii täpsad, et osutus võimalikuks kindlasti määrata neid taimi. Mõnedest aarumitest leidub tõetruid loote kujutusi mitmesugustes arenemisastmetes ja autoriteetse allika järgi ei leidu neist paremaid Malpighi'ni seitsmeteistkümnendal sajandil. Niisama täpsalt on toimetatud vaatlusi

ka Punases meres elavate mereloomade suhtes. Arstiteaduse alalt papüürused annavad väga täpsaid kirjeldisi sisikonna- ja emakahaiguste kohta, ning teatavate haavade ravimiseks antud juhatused annavad tunnistust kaunis kaugele ulatuvaist anatoomilisist teadmusist. Olen kõnelnud peamiselt Egiptusest, kuid oleksime leidnud Kaldeas kui ka teistes Idamaades, olgugi vahest väiksemal määral, analoogilisi fakte, mis tutvustavad meid teaduse seisukorraga kaheksateistkümnenda ja viieteistkümnenda sajandi vahel enne Kristuse sündi.

Paralleelselt teaduslikku laadi töödega, milledest oleme katsunud anda kokkuvõtlikku kujutust, kujunesid pühamutes kosmogoonilised kujutised, milledes leiame püüdeid koordinaatsioonile ja selektsioonile. Loendamatute vaimude asemele, kes eelajaloolise inimese kui ka nüüdisaja metsinimese arvates rahvastavad maailma, astub võrdlemisi piiratud arv jumalikke põhimõtteid. Oleks vist liialdus kõnelda selle lihtsustamistöö teaduslikust loomust; siiski annab ta mõnikord tunnistust mõtisklemisest looduslike nähtuste vaatlemisel ning on mõjustanud edaspidiseid spekulatsioone. Mõeldes osadele, mida siin etendasid teatavad jumalused, tuletagem meelde, et veel Aristoteles'e füüsika käsitleb tähtede liikumist jumalikkudest olenditest tingituna.

Näib, nagu oleks olemas lünk silmapilgu vahel, millal teadus on saavutanud Egiptuses ja Kaldeas oma kõrgeima arenemisastme, ja selle hetke vahel, mil ilmuvad need, keda nimetatakse Joonia füüsikuteks. Meie usume tänapäev veel vähem, kui ehk kuuskümmend aastat tagasi, selliseid katkevusi. Olgu see kunst või teadus — viimaste aegade uurimised on harjutanud meid mõttega aeganõud-

vast arenemisest, ja nii oli tõenäoselt Kreekaski lugu nii teaduse kui ka kunstiga. Egeuslaste ajalugu, kelledest kui vahemeestest Egiptuse ja Kreeka vahel tänapäev palju kõneldakse, on veel puudulikult tuttav, ja võib arvata, et oma kosmagooniates Joonia targad jätkasid enne neid alustatud lihtsustamise ja taandamise tööd.

Olgu kuidas tahtes, need spekulatsioonid, olles auahned ja naiivsedki, mis otsisid seletust looduslikkudele nähtustele vähearvulistest põhimõtetest lähtudes, on teatavaks tähtpäevaks inimvaimu ajaloos; kerkis silmapiirile siht, mis pidi mõjustama sügavasti, vähemalt kaudsel teel, positiivse teaduse arenemise suunda. Kuid sellel spekulatsiooni koidikul teadus ja kosmoloogia on veel tihedasti põimitud teineteisega.

II.

JOONIA FUÜSIKUD.

Thales't peetakse vanimaks Joonia tarkade seas. Tema arvates täitis vesi ruumi ja meie maailm oli tema meelest poolkerakujuline õhumull, mis hõljus selles vedelas massis; muli kumer pind on meie taevaks, kuna Maa on ujuv ketas selle suurringi pinnal, mis piirab poolkera ruumala. Nähtamatu meile siis, kui ta asetseb Maad ümbritsevas lamedas osas, päike on nähtav siis, kui ta hõljub poolkerakujulises osas; Kuu ketas on sarnane Päikese omaga, kuid võimeline näitama ka tumedat külge. Need aga on vanaaegsed egiptuse mõisted populariseeritud kujul. Kuid see ei takistanud sugugi Thales't, kui uskuda Aristoteles't, deklareerimast, et „maailm on täis jumalaid“; tema omistas ka tõepoolest elavat hinge merivaigule ja magnetile, et seletada nendest kehast lähtuvat tõmbetungi. Mõned arvavad võib-olla, et meiega pole palju kaugenenu Thales'ist, kui kõneleme gravitatsioonist.

Anaximandros püüdis seletada maailmkonna tekkimist. Ta kujutleb ruumi kerana, mis moodustatud algainest *τό ἀπειρον*, mille üle on palju vaieldud, ja millist elustab pöörlev liikumine; selle liikumise puhul koguneb tihedam aines kera keskmesse ja kergem kera välispinnale. See liikumine tekitab ja hävitab perioodiliselt kõiki asju, ja määramatul arvul tekib maailmkondi vaid seks, et hävida; siin on meie ees igavene korduvus. Mäles-

tusväärseks jääb ka teise mileetoslase püüe katsuda seletada maailmkonda pöörlevate vedelikude käitumisest tuletatud tavaliste kogemuste alusel.

Anaximandros'e nimega tuleks kõrvutada Anaximenes'e oma. Tema samastab oma eelkäija ebamäärase aine õhuga, kuid selle olles aga kahtlemata peenemat liiki õhk. Tema kosmoloogia on lähedane kaldealaste omale: jäik taevaalaotus, millele on kinnistatud tähed ja mis pöörleb Maa ümber; sisemuses Päike, Kuu ja teised planeedid hõljudes õhkkonnas ja kaasakistuna keerisest.

Viis planeeti on eraldatud kinnistähedest ja sarnastatud Päikese ning Kuuga oma liikumiste suhtes. Anaximandros ja Anaximenes usuvad mõlemad aine üksusse, kuid ühest teiseni tundub olevat teatav edusamm. Esimesele neist see ürgaine näib seguna, millest liikumine eraldab juba olelevaid asju, kuna teisele mitmesuguste kehade moodustumine toimub algaine liikumisest tekitatud koondumistest ja paisumistest.

Meie kasustada olles vaid kiritõendused mileetoslastele järgnevatest aegadest, kui mitte lügeda mõningaid ridu Anaximenes'est, võime ka ainult avaldada tõenäoseid arvamusi nende õpetuste kohta, kuid on siiski kindel, et nendel leiame maailmkonna mehaanilise seletuse otsimisi. Kreeka teadus, pärides kosmogoonilisi teooriaid Egiptusest ja Kaldeast, alustab sellega, et püstitab probleeme asjade päritolust ja lõpust, mis arvatavasti jäävad igavesti lahendamatuiks, kuid püüe katsuda asendada vanade kosmogooniate jumalikke toiminguid loomulikkude jõududega pole seepärast veel vähem suursugune.

Selles, mida oleme praegu öelnud muistse joonia kooli kohta, oli peamiselt enam kõnet kosmo-

loogiast kui päris positiivsest teadusest. Viimase kohta aegade jooksul väljendatud arvamused sisaldavad veel palju ebamäärasusi. Thales'ile omistatakse mitmesuguseid elementaarseid lauseid geomeetriast ja ta olevat mõõtnud püramiidide kõrgust nende varju kaudu, võrreldes seda kepi omaga. Sarnasuse mõiste, mis ilmneb siin, on vastuvaidlematult väga vana mõiste inimkonna ajaloos ja egiptlased omasid seda kindlasti. Kas peab omistama Thales'ile esimesi tõhusaid tõestusi sarnaste kolmnurkade kohta? Geomeetria alglaused ilmusid alul intuiitiivsetena; algajad geomeetrias imestuvad tänapäevalgi veel vajaduse üle püstitada üht või teist lauset, mis näib neile endastmõistetavana. Arvatavasti ei saa meie iialgi teada, millal hakati loogiliselt harutama üksteisega seostatud ja üksteist põimivaid mõttekäike. Kas kreeklased esimestena arendasid seda aksiomaatilist geomeetriat, milles eukleidilisel kombel lähtutakse teatavast arvust aksiomidest ja postulaatidest? Üldiselt mõeldakse nii, olgugi et pole võimatu, et neil oli eelkäijaid Rhind'i ja Moskva papüüruste aegadest. Pealegi on täpsusel omad astmed, ja meie teame, et iga loogikut peetakse intuiivistiks mõne veel puhtama loogiku poolt, nagu seda näitavad küllaldaselt nii paljud nüüdisaegsed tööd, kus püütakse anda teadusile aksiomaatilist kuju, mis on nii armas mõnedele meie kaasaeglastele.

III.

PÜTAAGORLASTE KOOL.

Suur-Kreekas Pythagoras'ele ja tema koolile omistatud tööd näivad olevat ilmsesti spekulatiivsed. Esimeste joonlaste puhul meil on tegemist füüsikute kooliga; pütaagorlaste kool on peamiselt matemaatikute kool ja tema filosoofia ilmutab matemaatilist laadi. Eudemos, hilisem tõlgendaja, ütleb: „Pütaagorlased on tõstnud geomeetria teaduse tõelisele väärikusele, uurides teoreeme intellektuaalsemalt ja vähem materiaalselt.“ On kindel, et pütaagorlaste matemaatikud jätsid sügava jälje hilisematele matemaatikutele. Selle kooli kõnekäänd kuulutab, et „asjad on arvud“, või et „arvud on asjade tõeline tuum“, mis on andnud põhjust mitmesugustele tõlgendamistele. Nendele sõnastustele on võib-olla lähteks kujutelm, mille on pütaagorlased saanud sirgest, vaadeldes seda täppide reana; iga kujutis muutub siis *arvuks*. Kumerate korrapäraste hulktahukate avastust seotakse samuti Samos'e filosoofi nimega. On iseäralik, et sel ajal matemaatilistele spekulatsioonidele anti Suur-Kreekas müstiline ja salajane loomus. Pythagoras andis ainult suulist õpetust väikesele õpilasteringile. Iga õpilane, avaldades osa tema matemaatilisest õpetusest, oleks teda reetnud. Üks neist olevat hukkunud meres oma pieteedituse ohvrina, olles avaldanud õpetusi korrapärase kaks-teisttahuka üle. Teine olevat heidetud välja õpilasteringist ja temale olevat tehtud koguni kalm,

nagu oleks ta surnud, selle eest, et tema oli teatanud avalikkusele ühismõõdutu arvu olelut, milleks on ruudu külje suhe ruudu diagonaalis; mis toimus võib-olla seetõttu, et see resultaat oli vastuolus õpetusega pikkuse *atomistlikkusest*. Ja Paul Tannery on avaldanud oletuse, mis on tõenäone, et Pythagoras'e tagasitõmbumine Metapontos'esse ja sellele järgnenud kodanlikud rahutused kandsid vähem rahvamässi, kui tema õpilaste omavahelise lõhe ilmet.

On teada, et Pythagoras püstitas sidemeid arvuteooria ja akustika vahel, ja samuti tuntakse seost, mida nägi pütaagorlaste kool planeetide arvu ning lüüra keelte arvu vahel: see oligi sfääride kokkukõla. Astronoomia kohta on vähem täpsustusi. Näib olevat siiski kindel, et Pythagoras õpetas, et Maa on kerakujuline ja et ta püsib liikumatuna Maailma keskmes. Ta oli esimene, kes lahutas Päikese liikumise kahte tiirlemisse; teise tiirlemise tõttu see taevakeha teeb taevaskööril suurringi, ekliptika, mille tasapind on kaldu ekvaatori tasapinna suhtes. Neid tiirlemisi peeti ühtlasteks ja seda lahutamist laiendati nähtavasti ka Kuule ja planeetidele. Sedaviisi oli tehtud suur samm edasi kreeklaste astronoomilisis teadmisis; samal ajal tekkis selles ringkonnas, mis oli väga tundlik lihtsate geomeetriliste kombinatsioonide ilu suhtes, veendumus, et tähtede liikumine laseb ennast lahutada ringjoonelisteks ja ühtlasteks liikumisteks. Vanema põlve pütaagorlastest peeti siis mõnikord Philolaos't, Sokrates'e kaasaeglast, Kopernikus'e eelkäijaks. Kuid harilikuks arvamuks on siiski, et Philolaos ei arvanud Maad tiirlevat Päikese ümber; meie maakera tiirles tulekera ümber, mis nähtamatu Maa asustatud osast, ja mis oli maailma liikumatuks keskmeks. Õige

kummalisena näib meile Philolaos'e füüsika, milles on püstitatud põhimõtte radikaalsest vastuolust kuu-aluse vöötme, kus kõik kehad alistuvad tekkimisele ja hävimisele, ja muu ülejääva maailma vahel, kus kõik on muutumatu ja igavene. See vahetegemine, mille võtsid omaks peripateetikud, mõjustas füüsikat kaua aega eriliselt saatuslikul kombel.

Tuleks nimetada siin mitmeid ja mitmeid nimesid, kui meie ei kavatseks piirduda ainult nendega, kel on olnud teatav mõju teaduslikule arengule. Herakleitos, muutuvuse ja liikuvuse filosoofia isa, oli see, kelle arvates maailmkonna algolluseks on tuli. Anaxagoras'e arvates maailmkond oli esialgselt kaoseks, millesse vaim (*νοῦς*) tõi korra, varustades selle pöörleva liikumisega; teda võib seepärast pidada Kant'i ja Laplace'i kosmogooniliste teooriate kaugeks eelkäijaks.

Demokritos väärrib erilist mainimist; ta oli omal ajal universaalne teadusmees, võiks koguni öelda — viienda sajandi Aristoteles. Tema peab ürgtõelisuseks tühjust ja selles liikuvaid hävimatuid aatomeid, mis erinevad üksteisest oma geomeetrilise kuju poolest ja on võimelised omavahel kokku pörkama ja üksteise külge kinnistuma; tema arvab andvat selliselt asjade kausaalse ja mehaanilise seletuse. Oma teooriates loodusest Demokritos püüab asendada kvaliteedi mõistet kvantiteedi omaga, ja tema juures leidub ebamäärase aimusena aine säilivuse seadus. Võib öelda, et ta püstitas selgesti printsiibi küllaldasest põhjusest. Aristoteles, kes vaidles tema vastu nii mõneski asjas, kirjutas hiljemini: „Demokritos, kes jätab tähele panemata lõpp-põhjuse, taandab kõik looduse toimingud vajadusele.“ Demokritos kirjutas õpperaamatuid geomeetriast ja astronoomiast, mis peaaegu kõik on kadunud ja milledes, jäädes truuks

joonia traditsioonidele, ta veel vaatleb Maad lame-dana; ka anatoomia ja füsioloogia polnud temale tundmatud.

Küsimus suuruste lõpmatust jagatavusest häiris väga viienda sajandi filosoofe. Elea'st päritoleva Zenon'i klassilised argumendid, nagu see, et Achilles ei saa iialgi järele kilpkonnale, olid tõeliselt sihitud pütaagorlaste pihta; nende peamiseks eesmärgiks oli näidata, et joon pole täppide summa, et aeg pole hetkede summa. Jättes tõmbamata paralleele moodsate õpetustega, tuletagem vaid meelde, et Zenon eitas ruumi olemusena, seega tunnustades tema relatiivsust.

Eelmisest sootuks erinev probleem andis samuti palju tegemist joonia ja suur-kreeka koolidele, nimelt küsimus valguse loomusest. Demokritos tunnustas emissiooni õpetust, mille järgi nägemine põhineb esemetest väljuvatel pisiosadel. Vastandina sellele oletasid pütaagorlased, et silmast enesest väljuvad kiired, haarates tajutavaid esemeid. Neis leiame algmeid pikale teooriate reale, milliseid teaduse ajalugu sisaldab valguse kohta.

Meie seisatume imestudes kuuendal ja viiendal sajandil liikuma pandud ideede ees. Matemaatikas oli edu kaunis suur; samal ajal koguneb aga ka väärtuslikke vaatlusi nii astronoomias kui ka loodusteadusis. Teiselt poolt on selgesti püstitatud teadusliku determinismi küsimus ja on tähtis märkida, et ratsionaalne teadus, alates oma esimesist sammudest, otsib seletust kõigile looduslikele nähtusile, lähtudes vähearvulistest põhimõtetest. Nii enneaegne kui ka oli selline püüe, oli siiski kerkimas silmapiirile siht, mis ei jätnud mõjustamata teaduse edaspidist arenemist.

IV.

PLATON, EUDOXOS JA ARISTOTELES.

Järgnevat ajastut valitsevad Platon'i ja Aristoteles'e suured nimed. Platon tundis ja armastas matemaatikat ja ta pühendas sellele suure osa oma teaduse skeemis; kuid ainult kaudselt aitab ta kaasa matemaatika arengule, püüdes võtta tarvitusele täpsaid definitsioone. On sageli raske koorida välja selle filosoofi kosmogoonilisi õpetusi müstilistest vormidest, milledes nad avaldatud. Vastandina Demokritos'ele, Platon eitab tühjuse olulut looduses. Tõelisuse tipule asetatud asjade *ideede* ja muutlikkude, sündivate ja kaduvate, olendite vahele tema asetab kolmanda kategooria, mis moodustatud nelja elemendi, tule, maa, õhu ja vee spetsiifilistest põhiolemustest, mida esindavad tetraeeder, kuup, oktaeeder ja ikosaeeder, ainulaadselt seostades atomaarseid kujutlusi pütaagorlaste geomeetrilise müstikaga. Mis puutub Platon'i astronoomilisse süsteemi, siis tema õpetab veel kaua Maakera liikumatust maailma keskkonnas. Näib siiski, et tema kujutlused hiljemini muutusid, nagu sellele vihjab järgmine tsitaat Theophrastos'elt: „Vanas eas Platon kahetses, et ta oli paigutanud Maa maailmkonna keskmesse, mis tähtis koht oleks sobinud mõnele paremale asjale.“ Platon tundis arvatavasti Philolaos'e süsteemi ning kahtlemata kahetses, et ta ei käsitanud seda süsteemi Timaios'es, seejuures asendades keskmes

asetseva tule korraldava ja loova võimuga, mida ta nimetas maailma hingeks.

Mitmes kohas oma „Dialogides“ Platon arendab oma vaateid teaduse sihi kohta, eriti astronoomia sihi kohta; need vaated ei jäänud mõjuta kujutlusele, mille hiljemini löid teatavad koolid teadusest. Igas teaduses leidub praktilisi sihte, kuid see asjaolu on Platon'ile vähese huviga. Muutlikkude asjade kulgemiskäigu tundmine on kasulik, kuid väheväärtuslik; tähtis on ainult igaveste asjade vaatlus. Nii paneb geomeetria meid mõtisklema kujude muutumatuist omadusist ja valmistab meid ette ülima headuse vaatlusele. Samuti järgneb vaatluste astronoomiale päris-astronoomia, lubades meile mõista taevakehade liikumist ringikujuliste ja ühtlaste liikumiste liitmise kaudu ning viib meid taevakehi liikuma panevate jõudude kokkukõlade vaatlusele. Platon'i arvates see kineemaatiline astronoomia peab, tema enda ütluse järgi „σώζειν τα φαινόμενα“, „päästma nähtusi“, ning sellest tekib hiljemini terve teaduslik filosoofia.

Viies ja neljas sajand olid mitmeti hiilgavaid epohhe teaduste arengus. Hippokrates Kos'ist oli kõikide aegade suurimaid kliiniklasi. Kogudes ja süstematiseerides enne teda kogutud tähelepanekuid, tema on positiivse arstiteaduse asutajaks. Tema esitas suurepäraseid kirjeldisi paljudest haigustest, nagu tiisikus, langetõbi, mitmesugused palavikud, ja mõned tema teatud kirurgilistest juhustest säilitasid oma täie väärtuse XIX sajandini. Matemaatiliste teaduste alal on esikohal sel ajastul Archytas Tarentum'ist ja kõigepealt Eudoxos Knidos'est. Archytas käsitles teoreetilist mehaanikat ja ehitas, nagu räägitakse, automaadi; tema nimi on seotud ka küsimusega

kuubi kahenemisest, mille ta lahendas, kasustades esimesena ruumilist kõverjoont.

Eudoxos Knidos'est oli neljanda sajandi universaalsemaid teadusmehi. Õppinud arstiteadust, ta pühendus geomeetriaile ja astronoomiaile. Tema kõige kuulsamaks saavutiseks on tühistusmeetodi leiutamine; see meetod seisab selles, et arvutatavast suurusest lahutatakse selline rida liikmeid, et järjest vähenev jääk muutuks väiksemaks igast etteantud suurusest. Knidos'e matemaatik püstitas niiviisi piirväärtuste olelu, ilma et ta oleks kasustanud lõpmatuse ideed väljendatud kujul, mida tol ajal põlastasid kreeka matemaatikud; ta kasustas tühistusmeetodit eriti selleks, et määrata kõige karmusega püramiidi ruumala ja et näidata, et kahe ringjoone pinnad on proportsionaalsed nende raadiuste ruutudega: Eudoxos esineb selles infinitesimaalarvutuse eelkäijana. Astronoomias, kasustades Egiptuses tehtud vaatlusi, temal läheb korda leida lahendust probleemile, mis oli püstitatud Platon'i poolt, kelle õpilaseks ta oli omas nooruses, probleemile planeetide liikumise geomeetrisest esindamisest. Igauhele seitsmest planeedist vastab mehhanism, mis moodustatud üksteisesse sisendatud ja ühtlaselt pöörlevaist ühis-keskmelistest keradest, planeedi olles asetatud viimasele nendest keradest, mis lähim keskmele. Sel kombel olid, platoonilise mõiste kohaselt, *päästetud* planeetide liikumised, ja just see oligi astronoomia sihiks vanaaegsetele, kes tegelesid ainult taevakehade järjestusega ja nende kujude ning kaugustega, jättes füüsiku hooleks uurida kõike, mis puutub taeva ja tähtede põhiollemusse. Eudoxos'e kerade süsteemi täiendasid hiljemini Kalippos ja Aristoteles, kes seostas mitmesuguste planeetide kerastikke kompensatsioonkerade abil.

Meie endine ametivend Pierre Duhem, kes omas suurt kalduvust näha igas füüsikalises teoorias ainult teatavat menetlust nähtuste *päästmiseks*, kirjutas Eudoxos'e kohta: „Füüsikaliste teaduste meetodi looja nime omistamine on põhjustanud nii mõningaidki pahandusi, ühed on tahtnud omistada seda Galilei'le, teised Descartes'ile ja kolmandad Francis Bacon'ile, kes suri, ilma et ta oleks kunagi saanud vähimatki aru sellest meetodist. Tõepoolest defineerisid füüsikaliste teaduste meetodi Platon ja temaaegsed pütaagorlased, ning seda tehti selgusega ja täpsusega, mida pole ületatud; seda meetodit rakendas esmakordselt Eudoxos Knidos'est, kui tema katsus päästa planeetide näilisi liikumisi, kombineerides ühis-keskmeliste kerade keerlemisi.“

Aristoteles'e töös on raske eraldada positiivset füüsikat materiaalse maailma metafüüsikast. Tema arvates füüsika uurib olemust, „mille substantis sisaldab endas liikumise või liikumise lakkamise allikat“, kusjuures on oluline eristada olemuse kaht viisi, olelut, mis *ilmneb* tegevuses, ning olelut, mis *võimeline ilmne*ma tegevuses. Neljale elemendile Aristoteles lisandab viienda, *kvintessentsi*, millest on moodustatud rikkematud ja igavesed taevakehad, mis käivad oma radasid jumalikest olendeist juhituna. Kuid, teisest küljest, stageiroslane loob enesele mõnikord üsna moodsa kujutelma füüsikalisest teooriast, ja tema ei näi omistavat tõelikkust kombinatsioonidele, millede abil astronoomid, seades eneste ülesandeks ainult näilikkuse *päästmist*, arvutavad planeetide asukohti.

Aristoteles'e dünaamika on valitsenud ligi kaks tuhat aastat. See dünaamika oli kõigepealt rajatud aksioomile, et ükski mitteloomulik liikumine ei või

kesta, kui seda ei säilita pidevalt mõjuv liikumistung, mis rakendatud otseselt ja vahenditult liikuvale kehale. Tihtipeale väljendatakse Aristoteles'e mehaanika põhilauset järgmisel kujul: jääv tung tekitab ühtlast liikumist, mille kiirus on proportsionaalne selle tungiga. Täielikum väljendus on, et iga liikuv keha allub möödapääsetamatult kahele tungile, edasiviivale tungile ja takistusele, ja et kiirus on proportsionaalne edasiviiva tungi ja takistuse suhtega. Teatavad jämedakoeliselt sooritatud ja puudulikult analüüsitud faktid näisid õigustavat selliseid sõnastusi: kahekordistades, näiteks, kanalikaldal sammuvate lodjavedajate arvu, arvati võivat kahekordistada lodja liikumise kiirust. Peripateetikute kool ei tunnustanud tühjust; lendavale noolele peale tema lahkumist vibust nad arvasid olevat leidnud edasiviiva tungi vapustatud õhust. See meile absurdsena näiv oletus leidis peaaegu üksmeelselt vastuvõtmist antiikajal. Aristoteles'e mehaanikas etendab olulist osa loomuliku asendi teooria, ja pole kerge tõlgendada õieti selle mõtet. Seepärast ongi väljendatud nii palju mitmesuguseid arvamusi tema töö selle osa kohta; kuid kindlasti on Aristoteles teadusmehena jätnud kõige sügavamaid jälgi. Tähtis on tema töö botaanikas ja zooloogias. Tema omas väga selget kujutlust bioloogia põhilistest probleemidest, esitades teooriaid sigitusest ja pärivusest, ja teda võib pidada võrdleva anatoomia rajajaks.

Praegu antud lühike ülevaade näitab meile, kuidas tekkis aegamööda teaduse kontseptsioon. Usundilist ning filosoofilist laadi mõtisklemised ühelt poolt ja puht-teaduslikku laadi mõtisklemised teiselt poolt on segunenud üksteisega õige tihti selles pikas arenemiskäigus. Imelikud hüpoteesid on esinenud kõrvuti positiivsete faktidega, ja igal

teadlasel oli oma maailmasüsteem. Kreekas leidis suurepäraseid vaatlejaid, nende seas Hippokrates ja Aristoteles; kuid on sageli kahetsetud, et katsetamine oli nii vähe arenenud sellel helleni teaduse nii hiilgaval ajajärgul. Näib siiski, et tolle aja teadlastel ei puudunud katsetamise projekte, kuid üldiselt nad ei osanud eristada katse olulisi tegureid. Pealegi oli nende tehnika puudulik ja on küllaltki teada, missugust osa on etendanud hiljemini teaduste arenemises tehnilised saavutised. Tuleks teha siiski erand keemiliste uuringute suhtes, kus vaatlust ja katsetamist teostati alates kõige kaugemast antiikajast, ja kus käsiraamatute kaudu anti edasi kõige mitmesugusemaid menetlusi.

Kuid peamiselt matemaatika oli teaduseks, mille kaudu võis hiilata Hellase geenius. See muutus temale ideaalseks teadustüübiks, kus kõik omab täiuslikku selgust. Tajutav tõelisus näis kreeka koolidele ebatäiusliku tõelisusena. Nemad tahtsid näha maailma püsivama tõelisusena, näha teda tõelisemana, kui tohiks seda öelda; näha teda arvude ja geomeetriliste mõistete tõelisusena, kuid kaotamata kontakti ruumilise intuitsiooniga, millest viimased olid tuletatud.

V.

KREEKA TEADUS KOLMEL VIIMASEL SAJANDIL E. KR. S.

Alates kolmandast sajandist e. Kr. s. teadlased näivad kaotavat huvi filosoofiliste süsteemide vastu. Tähtsate nimede sekka ajastus, milleni oleme jõudnud, kuuluvad Eukleides, Apollonios, Archimedes. Hipparchos'e isikuga astronoomia, lahutatuna kosmogooniast, püüab suurema täpsuse poole oma vaatlusis ja omandab ikka enam ja enam matemaatilist loomu.

Eukleides, kes elas 300 aastat e. Kr. s., oli esimeseks suureks matemaatikuks Aleksandria koolis. Pole täpsalt teada, milline osa tema „Elementidest“ kuulub isiklikult temale. Kahtlemata suurt osa mängivad neis pütaagorlaste koolide ja Eudoxos'e õpetused, kuid Eukleides'ele peab jätma au, et ta seadis kõik loogiliselt seostatud kogumisse, lähtudes definitsioonidest, postulaatidest ja aksioomidest. Leiame siin imesteldava katse aksioomaatilise teaduse alal, nagu seda nimetatakse tänapäev. Eukleides'e üheteistkümnes aksioom, mis etendab valitsevat osa paralleelide teoorias, on jäänud kuulsaimaks kõikide teiste seas, ja on möödunud vaevalt sajand sest ajast, kus näidati võimalust püstitada geomeetriat, mis oleks sellest sõltumatu. Aleksandria geomeetri isiklikkude avastiste seast võiks nimetada mõningaid avastisi stereoomeetriast, kui ka korrapäraste hulktahukate rüh-

mitamist ja nende servapikkuste määramist. Mitmed tema traktaadid on kahjuks läinud kaduma ja on vaid vaevaliselt rekonstrueeritud. Temale võlgname ka veel lauseid algarvude ja täiuslikkude arvude üle; ka tegeles ta geomeetrilise optika alal.

Teiseks suureks selle aja geomeetriks oli Apollonios Perga'st, kelle nimi jääb ühendusse kooniliste lõikude uuringutega, milledest ta kirjutas traktaadi, mida loetakse kreeka geomeetria kaunimate tööde hulka. Kõige kuulsamaks nimeks matemaatiliste teaduste alal antiikajal on Archimedes'e oma, kes rakendas oma geeniusi geomeetrias, mehaanikas, füüsikas ja insenerikunstis. Kuna Apollonios uuris peamiselt kujude vormi ja asendit, on Archimedes'e geomeetria mõõtude geomeetria. Tema teostab tasapindade ja kõverpindade kvadratuure, arendades tühistusmeetodi ja teostades sel kombel päris tõelisi integreerimisi. Tema meetodite esimesed rakendused käivad parabooli lõigu pindala kohta, samuti kui ka kera ruum- ja pindala kohta. Näib, et avastis, millele ta ise omistas kõige suurema tähtsuse, olid kera ja selle ümber joonestatud silindri pindalad, ning räägitakse, et tema hauale asetati silindrisse joonestatud kera, mille Cicero veel leidis säilinuna oma Sitsiilia kvestuuri ajal.

Archimedes't tuleb ka veel pidada ratsionaalse staatika rajajaks. Omas „Traktaadis tasakaalust“ ta talitab Eukleides'e moodi, nõuab mõnede postulaatide eeldamist ja tuletab siis neist kogu oma teooria. Peab märkima, ja see on punkt, mida rõhutas Duhem, kaht ajet, mida on saanud staatika juba oma algusest saadik. Üks neist on Archimedes'e oma, mis püüab luua dünaamikast täitsa

olenematut staatikat; teine, mis seotud Aristoteles'ega ja millest oli juba kõne, käsitab vastuoksa staatikat ainult dünaamika erijuhtumina. Archimedes on kasustanud mõnikord mehaanilisi kaalutlusi, et püstitada geomeetrilisi lauseid, nähes selles võttes avastamismeetodit, kuid mitte karmi tõenduse protsessi. Tähelepanuvääriv näide tema tööviisist, ühes temale omaste erinevate avastamise ja tõestamise meetoditega, annab meile 1906. a. ühes Jeruusalemma kloostriis leitud käsikiri, millel XIII sajandist pärit käsikiri kattis mitut Archimedes'e manuskripti, mis olid kirjutatud ümber kümenda sajandi ilusate väikeste tähtedega.

Hüdrostaatikas Archimedes'e nimi on seotud klassilise lausega vedelikku asetatud kehale avaldatud altrõhuga. Teoreetilise mehaanikaga tegeldes ta tegeles ka rakendusmehaanikaga; tema leiutised, nagu lõputu kruvi ja niinimetatud Archimedes'e kruvi, olid kuulsad. Sürakuusast pärit oleva matemaatikuga saavutavad matemaatilised teadused antiikajal oma tõusupunkti ja möödub sajandeid, enne kui teostub tõelisi edusamme nende teaduste teoreetilises osas.

Astronoomias viimastel sajanditel e. Kr. s. tuleks mainida Herakleides Pontikos't, Aristarchos't Samos'est ja Hipparchos't. Mõnedele on Kopernikus'e tõeliseks eelkäijaks heliotsentrilise süsteemi asjus Herakleides Pontikos (surnud 310), Aristoteles'e kaasaeglane; teiste väitlustel see täheteadlane jättis Maa liikumatuna Päikese tiirlemise keskmesse, teiste planeetide tiireldes Päikese ümber, mis sai hiljemini Tycho de Brahe süsteemiks. Igal juhul on kindel, et Aristarchos Samos'est (umbes 280. a. e. Kr.) toetas viiskümmend aastat peale Herakleides't heliotsentrilist süs-

teemi kogu selle täielikkuses, kuid see katse vaibus unustusse pika rea sajandite kestel.

Hipparchos, kelle kuulsusaeg oli a. 150—127 e. Kr. s., on antiikaja kõige suurem täheteadlane. Tema mõõtmiste täpsus ületas kõikide tema eelkäijate omi ja tema leiutas või täiendas mitmeid astronoomilisi riistu. Tema kriitiline etüüd vanaaegsete Kreeka ja Kaldea vaatlustest võimaldas temale avastada pööripäevade pretsessiooni, mille tema hindab kolmekümne kuue sekundi peale (viiekümne asemel). Õnnetuseks Hipparchos lükkas tagasi heliotsentrilise süsteemi. Sellel arglikkusel oli tõsisemid tagajärgi, kuid sellegi pärast ei pea jätma imetlemata seda võrratut vaatlejat, kes pealegi rajas või täiendas tasapinnalist ja sfäärilist trigonomeetriat. Hipparchos kujutas variatsioone päikese liikumises, kasustades ekstsentrisust, see tähendab, laskis Päikest liikuda ringjoonel, mille kese on väljaspool Maad. Ta teadis pealegi, et epitsükli hüpotees ja ekstsentrisuse hüpotees on ühtviisi sobivad planeedi liikumise *päästmiseks*. Hipparchos'e poolt antud planeetide liikumise geomeetriline kirjeldis oli küllaldane vaatluste seisukohast, mida võimaldas tolle aja tehnika. Ka võlgname Hipparchos'ele mõningaid edusamme Kuu teooria alal.

Meie pole veel sugugi kõnelnud peamiselt tehnilise loomusega koolidest; on ka sageli raske tõmmata piiri teaduse ja tehnika vahel. Aleksandrias arenes ja tõusis peale Archimedes'e surma õitsevale järjele eksperimentaalse mehaanika kool. Selle kooli õpetajate seast olgu nimetatud Ktesibios, kelle nimi ühendatakse teatavat tüüpi pumpadega, ja eriti Heron, kes saavutas kuulsuse 130-ndate aastate paiku e. Kr. s. Heron kasus-

tas omas „Pneumaatikas“ töö saavutamiseks õhu paisumist soojuse mõjul, mille kaudu ta pani liikuma kehi, ning temale omistatakse ka sooja õhu turbiini leiutamine. Heron'i traktaat „Mehaanikast“ algab lausega: „Katse on parimaks kasvatajaks“, mis kõlas üsna uudsenä. Itaalia ajaloolane Vailati arvab leidvat Heron'i traktaadis mehaanika võimalikkude nihutuste meetodi esimesi algmeid, mida näib olevat aimanud enne seda Aristoteles.

Eelnenud leheküljed on andnud võib-olla teatava kujutelma teaduste seisukorrast Kristuse sündimisele eelnenud sajanditel, vähemalt Vahe-meremaade idaosades. Selgusse armunud vaimu mõjustusel, mis lihtsustas kõike, et saada aru kõigest, helleni teadus siirdus omandama ikka enam ja enam matemaatilist vormi. Ei või küllaldaselt imetella helleni vaimu püüdeid ses suhtes, kuid siiski tuleks lisada, et nõrgaks kohaks kreeklaste matemaatikas oli nende umbusaldus lõpmatuse vastu, mis takistas neid minna oma spekulatsioonides veelgi kaugemale. Sest neile lõpmatus oli arusaamatus ise ja Aristoteles'e järgi „lõpmatus pole püsiv olek, vaid ta on juurdekasv“. Võib öelda paradoksita, et kreeka matemaatikud olid teataval määral selle täiusliku vormi ohvrid, mida nad püüdsid anda oma arutlustele. Eudoxos ja Archimedes tunnevad endid lõpmatuse puhul ebakindlal pinnal olevat. Nad julgevad küll astuda sellelegi, ja selles avaldub nende hiilgus, kuid väga suure ettevaatusega, nähes selles peamiselt mingit leiutamismenetlust. Ja Archimedes otsib siis kohe karmimaid tõestusi. Möödub pikem aeg enne kui täiuslikkusse vähem armunud, kuid julgemad vaimud võtavad teaduses tarvitusele infinitesi-

maalseid meetodeid raskuste kiuste, mida veel XVII sajandil Chevalier de Méré sõnastas ühes kirjas Pascal'ile järgmiselt: „Niipea kui mingisse küsimusse poetub vähegi lõpmatust, muutub küsimus seletatamatuks, sest mõistus muutub segaseks ja jahmub.“

VI.

KRISTLIKU AJASTU ESIMESED SAJANDID, KESKAEG JA RENESSANSS.

Esimestest sajanditest p. Kr. s. üldine ajalugu mäletab vaid mõningaid üksikuid nimesid nende teadlaste seast, kes on aidanud meie teadmisi suurendada teaduslikkudel aladel.

Ptolemaios, astronoom ja geograaf, on üldiselt tuntud. Tema suur „Astronoomia matemaatiline sari“, mida araablased nimetasid „Al Majesti“, jäi veel kauaks ajaks Almagest'i nime all astronoomia koodeksiks. See on laiaulatuslik kompilatsioon, millel ei puudu algupäraseid osi ja mis esindab seda, mida tunti astronoomia alal Antoniidide ajal. Ptolemaios'ele, nagu Hipparchos'elegi, Maa on liikumiseta, kuid sel on vähe tähtsust, niikaua kui ainult soovitakse seletada ebatasasusi planeetide näivas liikumises, jättes kõrvale nende kaugusi. Ptolemaios'e peamisi teeneid on Kuu ebavõrdsuse avastus, mida tunneme evektsiooni nime all. Ka pühendas ta mitu uurimistööd õhkkonna refraktsioonile.

Ei tohiks unustada Diophantos't (200. aasta paiku p. Kr. s.), kelle töö aritmeetika alal ilmutab suurt omapärasust. Matemaatika ajaloolased on olnud mõnigi kord mitmesuguses arvamuses kreeklaste võimete kohta aritmeetilistes uurimistes, kuigi nad üksmeelselt peavad neid harukordselt andekaiks geomeetrias. Pythagoras ja Eukleides oma töö ühes osas siiski annavad tunnistust

kreeklaste huvist arvuteooria kohta. Kuid Diophantos on jätnud selles teadusharus sügava jälje, otsides ratsionaalseid lahendeid teatavaile võrrandele. Ta ei tarvita, ja see on oluline punkt, mida tuleb ära märkida, geomeetrilisi kujutusi, nagu tegi seda näiteks Eukleides, käsitledes teise järgu võrrandeid. Diophantos'e viis on algebralisem; tema tööde kaudu Fermat's tekkis huvi aritmeetiliste uurimiste vastu.

Loodusteaduste alal selles ajastus peab nime-tama Galien'i (sündinud a. 119 p. Kr. Pergamos'es), kes oli antiikaja suurim arst Hippokrates'e ajast saadik. Olles tähelepanuvääriv anatoom, Galien tegi ka füsioloogilisi katseid, püüdes määrata hingamise mehhanismi ning nimmete (*regio lumbalis*), peaaaju ja seljaaju funktsioone mitmesugustel kohtadel. Ta näitas, et tuiksooned sisaldavad ja toimetavad edasi verd, ja ta polnud kaugel vereringvoolu avastamisest. Galien'i autori-teet, kes süstematiseeris kõiki oma aja anatoomilisi ja arstiteaduslikke teadmisi, oli tohutu XVI sajandini; arst-filosooфина ta oli Aristoteles'e vitalistlikkude ideede pooldajaks.

Ma pole öelnud midagi India osast matemaatika arenemises. Kreeka mõju tähistub siin tugevasti. India osa on tähtis eriti numbrilises arvutamises; India teadlastele omistatakse *null*i tarvituselevõtmist IV või V sajandil p. Kr. Mitte omades, nagu kreeklased, kahtlusi rakendada irratsionaalsetele arvudele ratsionaalsete arvude arvutusreegleid, nad võisid toimetada avaramalt ja osutasid tõelist omapära paljudes küsimustes arvuteooria alal.

Järgnevatel sajanditel mehaanika ajalugu pakub ainult siin-seal mõnd nime, mida teaduse ajaloolased on püüdnud varjust esile tõsta. Nii

leiame V sajandil Aleksandrias kristlase Joannes Philoponos'e, kes astub välja peripateetilise õpetuse vastu viskkehade liikumisest; nool tema arvates jätkab oma liikumist, ilma et mingi liikuma-panev tung oleks temale rakendatud, sest vibunöör, mis teda heidab, on varustanud teda kineetilise energiaga (selle olles ekvivalentne Philoponos'e poolt tarvitatud väljendusega), mis etendab liikuma paneva jõu osa. On ka tähelepanu ärritanud XIII sajandil osa, mis omane koolile, mille asutajaks keegi Jordanus, sündinud arvata-vasti Nemi's, Itaalias. Jordanus ja tema järglased postuleerivad, et „see, mis võib tõsta mingi raskuse teatavale kõrgusele, võib tõsta ka n korda suurema raskuse n korda väiksemale kõrgusele“. Nagu oleme juba eespool näinud, oli seda vähem selgel kujul aimanud Heron Aleksandriast. On väga tähelepanuvääriv leida keskajalises koolis vihjeid, olgugi väga kahvatuid, printsiibile, mille Descartes võtab staatika aluseks, ja milline Lagrange'i kaudu saab tasakaaluõpetuse põhiliseks lauseks. Milliseid raskusi ka pakub vanade tekstide tõlgendus, pole siiski kahtlust, et juba aegsasti kerkib opositsioon Aristoteles'e kooli mehaanika vastu.

XIV sajandil Duhem'i arvates omandab võitlus Aristoteles'e mehaanika vastu suurema ulatuse Pariisi ülikooli õpetaja Jean Buridan'i isikus, kes sündinud 1300. a. paiku Béthune'is. Buridan, võttes üles Philoponos'e mõtteid, nimetab *impetus*'eks noolele antud energiat, ja *impetus*'e teooria võtab ta aluseks uuele mehaanikale. Duhem'i arvates, tõlgendades moodsasse keelde Buridan'i mõtteid, viimane peab *impetus*'t korru-tiseks massist funktsiooniga, mis kasvab ühes kiirusega. On teada, et Galilei ja Descartes oletä-

vad ekslikult selle funktsiooni proportsionaalsust kiirusega, kuna Leibnitz peab teda võrdseks kiiruse ruuduga. *Impetus*'e mõistest Duhem järeldab, et Buridan'il oli aimus inertsii printsiibist; kuid näib, et see on liiga kiiresti otsustatud. Béthune'i filosoof ei kavatsenud piirduda oma dünaamika rakendamisega ainult maapealsete kehade liikumisele, ta püüab rakendada seda ka taevakehadetele. Olgugi et tol ajal oli suureks hulljulguseks oletada, et taevakehade liikumised ja nn. kuu-aluste, s. o. maapealsete kehade liikumised olenevad samast mehaanikast, on sellest veel tükk maad kinnituseni, et Buridan'i *impetus* on võimeline asendama Aristoteles'e ja peripateetilise füüsika poolt abiks võetud taevalaotuse orbiite korraldavaid vaime.

Mehaanika ajaloos on kohane tuletada veel meelde Buridan'i õpilaste nimesid, nagu Albertus de Saxonia, Nicole Oresme ja mitmeid teisi, kes ise ka on mänginud eelkäijate osa, kuid jõudkem välja renessansini ja Galilei'ni. Ei või kahelda, et viimane poleks tundnud oma eelkäijate tööd. Duhem'i poolt tsiteeritud tekstidest järeldub, et ta oli uurinud Buridan'i kooli dünaamikat ja Oxford'i kooli kinemaatikat, viimasele omase mõistega ühtlaselt kiirendatud liikumisest. Et aga eelmiste sajandite õpetajad olid kõigepealt palju tegelnud hüpoteeside uurimisega loogiliselt ja filosoofiliselt seisukohalt, rahuldudes üldloomuliste vaatlustega, nägi Galilei intuiitiivselt, et raske keha liikumise loomus peaks olema sama vabal langemisel kui ka langemisel kaldpinnal, ja Galilei tegi katseid selle pinna ja pendliga, mis temale lubasid tõestada kehade langemisseadusi. Samuti on tema uurimised viskekehade liikumisest, mida ta vaatles kahest teineteisest sõltumatust liikumi-

sest koosnevana, etendanud olulist osa dūnaamika edaspidises arenemises. Meie tuleme veel tagasi Descartes'i osale selles küsimuses, kuid peab juba nüüd tuletama meelde, et Descartes väljendas esimesena enam-vähem selgesti inerts'i seadust ja püstitas põhimõtte, et liikumise põhjus tekitab kiirendust. Tõepoolest saigi peale Galilei ja Descartes'i rajatud materiaalse täpi dūnaamika jääva tungi väljas.

Näeme, et moodsa dūnaamika esimene ajajärk kestis mitu sajandit. Miski ei näita paremini kui see lugu, kuivõrra teaduse edusammud järelduvad enamikus üksteisele järgnevate uurijate töist. Natuke hiljemini püstitasidki Huygens ja Newton klassilise mehaanika üldised printsiibid lõplikult.

Kuid läheme natuke tagasi. 1542. aastal ilmus Kopernikus'e teos: „De revolutionibus orbium coelestium“. Peab aga tunnustama, et Kopernikus'e poolt siin esiletoodud põhjenditel relatiivsete liikumiste küsimuse kohta polnud mingit väärtust. Nii näis Kopernikus'ele loomulikuna, et Maakera omas pöörlevat liikumist, selle asemel, et tohutu taevalaotus oleks omanud seda. Viimane eeldas endastmõistetavalt, et taevakehad on sama loomuga kui maapealsed ehk kuualused kehad. Aga just peripateetikud eitasid seda, ja alles alates Galilei vaatlustest, kes nägi oma pikk-silmas Päikese plekke ja Veenuse faase, polnud enam võimalik kõnelda põhiolemuse vahest taevalaotuse ja maapealsete kehade puhul. Ühtki huvitavat küsimust ei kerkinud seni, kuni tehti vahet ainult kahe poole vahel: Maa omaette ja kõik muu tervikuna omaette. Asi muutus teissuguseks, kui hakati vaatlama Päikese ja teiste planeetide relatiivseid liikumisi. Kopernikus'e kuulsuseks ongi,

et tema võttis lähtesüsteemiks Päikest läbiva teljestiku, mille teljed ei muuda oma sihte tähtede kogumi suhtes, tähed olles oletatud liikumatuna. Võttes Päikese planetaarse süsteemi keskmeks, Kopernikus muutis sootuks Ptolemaios'e ajast saadik muutumatuks jäänud astronoomia, tuues esile päikesesüsteemi harmoonilise külje. Planeetide suhteliste kauguste määramine Päikesest vaatluste najal opositsiooni vahemikkudest moodustas uute mõistete esimese rakenduse. Ometi pidi Kopernikus, kes veel pidas kinni ühtlase liikumise vajadusest vastavalt vanaaegsetele kujutelmadele taevakehade täiuslikkusest, kasustama samu kunstlikke võtteid, mis Ptolemaios'ki. Polnud pealegi võimalik jõuda kaugeemale tolleaegsete vaatluste najal. Alles natuke hiljemini sundisid Tycho Brahe vaatlused (täpsad peaaegu ühe minutini) Kepler'it loobuma ringjoonelistest radade hüpoteesist ja viisid tema kuulsatele seadustele planeetide liikumisest.

Oleme juba kõnelnud natuke osast, mida etendasid Galilei ja Descartes mehaanika rajamisel. Galilei'd eristab tõeline hoolsus katsetamisel, nagu seda tunnistavad tema katsed kaldpinnaga. Descartes armastab enne kõike püstitada *a priori* printsiipe, näiteks arvab ta võivat järeldada teatavaid looduseadusi faktist, et Jumal ei allu muutumistele. On teada, et mõned tema tõestustest on ebatäpsad, nagu tõestus liikumishulga suhtes ja tõestus kehade kokkupõrke kohta, mille puhul ta kirjutas järgmise Laplace'i šokeeriva lause: „Kõik sellesse puutuvad tõestused on nii kindlad, et kuigi katse meile näivalt näitab vastupidist, oleksime siiski kohustatud usaldama rohkem oma mõistust kui oma silmi.“ Sellest tsitaadist on suur tükk maad Pascal'i väiteni, kes

kinnitab oma „Traité de l'équilibre des liqueurs'is“: „Katsed on need tõelised õpetajad, keda tuleb jälgida füüsikas.“ Leidub ju ka kindlasti mõningaid kohti Descartes'il, kus ta näitab katsetamise vajadusele teaduse edu saavutamiseks, kuid see suur filosoof omistas enam tähtsust deduktsioonile, nähes maailmkonnas universaalset matemaatikat. Pealegi ei jõua küllaldaselt imetella geniaalseid intuitsioone, milleid kohtame tema teaduslikes teoseis; tema kõige suuremaks teeneks mehaanikas on, et ta on näinud *töös* dünaamika põhilist mõistet ja on kinnitanud vajadust rakendada staatikas võimalikude nihete printsiipi lõpmata väikeste nihete puhul.

Leiame Descartes'il sama kalduvust üldiste ideede poole ka tema kuulsas geomeetrias. Seegi on heaks näiteks tema meetodist ja just kontseptsiooni üldsus ongi see, mis moodustab tema omapära. Koordinaate kasustati juba vanal ja keskajal ja Fermat oli täielikumalt sõnastanud analüütilise geomeetria printsiipe, kuid Descartes *a priori* väljub võrranditest koordinaatide vahel ja muudab otsast otsani kreeka geomeetrite kõverjoonte eristamisaluseid.

VII.

HUYGENS JA NEWTON.

Jõuame ajastule, milles mehaanika kujuneb lõplikult. Huygens'i ja Newton'i nimed domineerivad selles ajastus. Aastal 1673 ilmus „Horologium oscillatorium“, imeteldav raamat, kus peale pendli rakendamise kellade käigu reguleerimiseks Huygens oma teooriaga tsentrifugaaltungist läheb üle Galilei jäävast väljast muutlikkudele tungidele ja esmakordselt käsitleb süsteemide dünaamika probleemi. On tähelepanuvääriv, et telje ümber pöörleva raske keha uurimiseks Huygens kasustab instinktiivselt üht postulaati täppide süsteemi raskuskeskme liikumise kohta, postulaati, mis tagasiviidav elavate jõudude lausele.

Newton'i „Philosophiae naturalis principia mathematica“, ilmunud 1687, osutub peaaegu ainulaadseks teaduse ajaloos. Selle raamatu kaks esimest osa käsitlevad liikumise üldisi põhimõisteid, millede püstitamisele, nagu oleme juba öelnud, on aidanud kaasa Galilei, Descartes ja Huygens, kui piirduda ainult üksikute nimede nimetamisega. Newton'i seletuse didaktiline külg on jäänud kuulsaks ja koguni sel määral, et, unustades silmapaistvaid eelkäijaid, harilikult nimetatakse klassilist mehaanikat Newton'i mehaanikaks; tung esineb siin massi ja kiirenduse korrutisena ja staatiline ning dünaamiline seisukoht tungide mõõtmiseks on esitatud samaväärilistena. Samas „Printsiipide raamatus“ Newton tutvustab meid esma-

kordselt oma fluksioonide meetodiga, mida ta omas juba ammugi; kuid ta ei tahtnud uue arvutuse reegleid lahutada nende rakendustest, mis põhjustas tüli Leibniz'i ja tema vahel, kurvastava tüli, kui poleks teada, nagu seda on öelnud Pascal, et „suured inimesed, kui kõrgel teiste üle nad ka asuksid, sarnanevad kõige väiksematega mõnes asjas“. Fermat' prioriteedi õigused selles asjas pole samuti vähesed ja ka Pascal on näidanud lõpmata väikeste suuruste arvutuse õigustust. Kolmas osa „Printsiipide raamatust“ on selle kuulsa teose tõusupunktiks. Lähtudes Kepleri seadustest planeetide liikumise kohta, Newton tõestab iga planeedi kohta, et planeeti oma teerajal hoides tung on sihitud Päikese suunas, tungi suuruse olles vastuproportsionaalne kauguse ruuduga ja et kauguste võrdsuste puhul Päikesest see tõmbetung on üksikute planeetide puhul proportsionaalne vastava planeedi massiga. Nendest väga erilistest faktidest Newton haruldaselt julge induktsiooniga sööstab printsiibile ülemaailmisest gravitatsioonist, mille kohaselt kaks materiaalselt täppi tõmbavad teineteist tungiga, mis proportsionaalne nende massidega ja vastuproportsionaalne nende kauguste ruuduga. Selles talitusviisis peitub terve teadusefilosoofia: teatavad arvutusresultaadid, mis saadud mõnede planeetide kohta käivatest vaatlusist, on ülendatud, kui tohiksin seda öelda, looduse üldiste seaduste ausse, mida peab õigustama kokkukõla katsega või nendest seadustest saadud järelduste konstateerimine.

Küsimus, kas Newton püstitas või ei püstitanud hüpoteese oma gravitatsiooni teoorias, on saanud lõpmatute arutluste aineks. Teda süüdistati „Printsiipide raamatu“ ilmunisest saadik skolastika

okultsete omaduste taaselustamises, millele suhtes kartesiaanlased tundsid jubedust. Isegi Huygens kirjutas Leibniz'ile meretõusude puhul: „Mis puutub härra Newton'i poolt antud tõusude ja mõõnade põhjustesse, siis nad ei rahulda mind mitte sugugi, ega ka tema teised teooriad, mis ta ehitab oma tõmbetungi printsiibile, mis näib minule absurdsena.“ Mida tahtis öelda Newton, kui ta kirjutas oma „Printsiipide raamatu“ lõpul: „Hypotheses non fingo: ma ei tee hüpoteese“? Aegade jooksul sõnast „hüpotees“ on saadud aru mitmel viisil. Nii, katsudes *päästa* nähtusi, püstitati hüpoteese. Sellised olid Eudoxos'e ühiskeskmeliste kerade ja Ptolemaios'e epitsüklite hüpoteesid. Hüpoteesidel selles mõttes pole mingit nõudlust olla tõelikkuse ligenduseks; võiks öelda, et nad on vaid mugavad, kasustades ütlust, mida armastas tarvitada Henri Poincaré. Vastandlikult, peripateetikute kool, uskudes leida noole liikumise tungi vapustatud õhus, avaldas seletava hüpoteesi, põhjusliku hüpoteesi, esitades, nagu seda arvati, „näivuste tõelisi põhjusi“. Mis puutub Newton'isse, siis ta ei nimetanud hüpoteesiks üldistust sellest, mida tema oma tungi mõiste alusel pidas teatavatel erilistel juhtumitel faktideks, ja vähemalt „Printsiipide raamatu“ esimeses väljaandes ei hooli ta anda mingit võimalikku põhjust gravitatsioonile. Põhjuse otsimine, kas ta viib eesmärgile või mitte, oleks võinud Newton öelda, ei muudaks diferentsiaalvõrrandite kuju taevamehaanikas, ning meie jõuame selliselt füüsikalise teooria põhilisele mõistele, avalduda teatavate analüütiliste kujutluste kaudu. See on punkt, millele meil tuleb tulla tagasi.

Olles suur matemaatik, Newton oli samuti ka suur füüsik. Oma teoses „The Optics“, mis ilmu-

nud 1704, Newton, Fontenelle'i ütluse järgi, lahkab valgust. Tõestanud, et mitmesugused värvid, milledest koosneb valge valgus, murduvad eriviisiliselt, toimetab Newton mitmesuguste värviliste kiirte sünteese. Hoolsus, millega on toimetatud need katsed, järjestus, milles nad on esitatud, teevad sellest kogumist õiglaselt klassilise töö, mida võib vaadelda eeskujuna katsetamiskunstis. Kogu see töö on jällegi näiteks Newton'i induktiivsest meetodist ja selles oma teoses ta oleks samuti võinud korrata: „Hypotheses non fingo.“

VIII.

VALGUSTECORIAD XVII SAJANDIL.

Pole võib-olla teaduste ajaloos õpetlikumaid teooriaid kui valguse oma. Galilei näis olevat küsinud esimesena endalt, kas valgus vajab lõplikku aega selleks, et jõuda ühest paigast teise; tema koguni viitab katsele, kuid tolle aja menetlused ei lubanud jõuda eesmärgile. Descartes püüab eeskätt võrdluste abil luua kujutelma valgusest; tema võrdleb selle toimet kepi omaga, mille vahendusel pime annab enesele aru kehade liikumisest või vastupanust. Kepi olles eeldatud kokkusuurumatuna, toime kepis levib silmapilkselt ühest otsast teiseni ja toime kiirus peab siis olema lõpmata suur. Hiljemini, oma teoses meteooride üle, Descartes, otsides seletust värvidele, kõneleb peene aine väikestest kuulidest, mis veerevad mitmesugusel viisil maiste kehade poorides, tekitades sel kombel erinevusi meie värvide aistingutes. Ta rõhutab pealegi, et pole vajalik, et mingi aineoline ollus levib esemeist silmani; selle alusel võib teda asetada lainetuse teooria eelkäijate hulka, olgugi et tema ei käsitle valgust liikumisena, mis levib üksteisele järgnevate lainetena, vaid vastuoksa silmapilkselt edasiantava survena. Kuid mujal, oma essees murdumisseaduste tõestamise üle Descartes sarnastab valguse toimet kera liikumisega, asetudes sel kombel vastuollu oma vaadetega valguse silmapilksest levimisest.

Ühel ajal Descartes'iga tegeles optikaga Fermat, kes väljendas sellel alal sügavale ulatuvaid vaateid. Hüpotees, mille Fermat esitas valguse murdumise kohta, pole põhjusliku loomuse hüpotees. Fermat püstitas valguse kohta miinimumprintsibi, kinnitades, et valgus vajab vähimat aega selleks, et levida ühest täpist teise, täppide asetsedes kahes külgnevas keskkonnas, kus valguse kiirus on erisugune. Meil on siin tegemist seda tüüpi hüpoteesiga, mis *päästab* nähtusi. See hüpotees omab analüütilist kuju, mis sobivalt üldistatuna esineb igal pool meie aja matemaatilises füüsikas. Teda tõlgendati XVIII sajandil harilikku keelde, öeldes, et loodus teotseb kõige lühemate ja kõige kergemate teede kaudu.

XVII sajandi teine pool näeb arenevat kaht väga erinevat õpetust valguse loomusest. Oma imesteldavas teoses „*Traité de la Lumière*“, mille Huygens kirjutanud Prantsusmaal viibimise ajal, ta esitas lainetuste teooria, mis tahab seletada valguse levimise põhjust. Valgus levib lainetena eeterlikus keskkonnas, mis moodustatud väikestest elastsetest kuulidest ja mis erineb häält levitavast õhust. Huygens koguni tuletas meelde Torricelli katset tõestuseks, et baromeetriline tühjus, võimaldades valguse läbimist, peab sisaldama mingi uut laadi ainet. Sellest levimisest elastses *eetris* Huygens tuletab valguse murdumise seadusi, leides siinuste suhtele väärtuse, mille Fermat oli saanud oma miinimum-printsibist, ning minnes veel palju kaugemale, ta rajab kaksikmurdumise teooria üheteljelistele kristallidele. Huygens'i töö on äärmiselt omapärane, nagu seda juba alguses meelde tuletasin. See suur füüsik oli samuti juurelnud teaduse kahese sihi üle, nähes esiti teaduse praktilist kasulikkust inimkonnale ja kõigile tule-

vatele sajanditele, ja siis fakti, et teaduses „peitub kindlustatud alus looduslikkudele ja loomulikkudele nähtustele toetuva filosoofia ülesehitamiseks, mille menetluseks on paratamatult toimete tundmisest jõuda põhjuste tundmisele“.

Ometi jäi Huygens'i lainete teooria kauaks ajaks unustusse. Newton'i suure nime kaitse all, kes mõnede kõhklemiste järel oli uuesti võtnud tarvitusele antiikaja atomistide idee, pääses XVIII sajandil võidule valguse emissiooni teooria. Emissiooni teooria järgi põhjustavad nägemise väikesed, helendavatest kehakest väljuvad kehakesed, tabades meie võrkkiilet. Newton tunnistas pealegi vastuvõetavaks keskkonna olelu, milles esinevad väga kiired võnkumised ja milles liiguvad kõnealused kehakesed, tekitades mitmeid nähtusi; et seletada peegeldamist ja murdumist, tuli temal omistada perioodilist struktuuri valguse kiirele, kiirel olles külgi, mis kergendavad *peegeldamist*, ja külgi, mis kergendavad *murdumist*. Kõige sellega oleme kaugel „Printsiipide raamatu“ ja „Optika“ esimese osa Newton'ist, nii tagasihoidlikust hüpoteeside suhtes, kes isegi kinnitas mitte tundvat nende vajadust, sest kuna tema avastatud omadused on füüsikalised faktid, siis nende kindeloleku seisukohast pole mingit tähtsust, kas nad on või pole seletatavad selle või teise hüpoteeside süsteemi abil. Võib-olla oleks ta nüüd kirjutanud teatava skepsisega: „Et ma olen arvanud nägevat paljusid suuri teadlasi kõvasti taga ajamas hüpoteese, siis ma avaldaksin selle, mida ma peaksin kõige tõelisemaks, kui peaksin olema sunnitud omama ühte“. Selliselt seisukohalt Newton seletabki värviliste rõngaste tekkimist interferentsides valguse kehakeste ühtlase nihkumise ja pöörlemise abil. Mis puutub eetrisse,

siis ta küsib ühes märkuses, mis lisandatud tema puht-katselisele traktaadile optikast, kas ei piisaks eetrist ülemaailmalise gravitatsiooni tekitamiseks. Kuid jätame kõrvale „Printsiipide raamatu“ autori selle teise ja hilisema menetluse.



IX.

NEWTON'IST FRESNEL'INI JA MAXWELL'INI.

Newton'i mõtted tungisid mandrile õige aeglaselt. Meie oleme juba esitanud Huygens'i arvamus ülemaailmalisest gravitatsioonist. Newton'il oli Leibniz'iga kibedaid tülisid, milledes kumbki neist ei ilmutanud erilist tagasihoidlikkust. „Printsiipide raamatu“ teises väljaandes Newton, loobudes, nagu nägime, filosoofilisest tagasihoidlikkusest, mille ta oli seni säilitanud, näeb päikese ja planeetide imetlemisväärses korralduses aruka ja kõikvõimsa olendi tööd, kuid ta arvab, et häirete tagajärjel, mis tingitud nende taevakehade vastastikustest toimetest, see korraldus ei võiks säilida, ja ta usub, et päikesesüsteemile tekib kord vajadus saada uuesti kohendatud oma looja poolt. Seda jumala vahelesegamist kritiseeris Leibniz hoogsalt, leides, et see on liiga kitsarinnaline arusaamine jumalikust tarkusest, millele Newton vastas, koheldes Leibniz'i poolt oletatud harmooniat igavese imena.

Prantsusmaal omas XVIII sajandi alguses suurt poolehoidu kartesianism. Väheste eranditega tundsid akadeemia matemaatikud Newton'it halvasti. Fontenelle, abstraktsete teaduste osav populariseerija, polnud Newton'i suhtes sugugi heatahtlik. Ometi on ta iseloomustanud õige õnnestunult Descartes'i ja Newton'i meetodeid. Ta kirjutab: „Üks, võttes julge lennu, on tahtnud asetuda kõige allikale, on tahtnud saada isandaks esimeste print-

siipide üle üksikute selgete ja põhiliste ideede kaudu, et siis sealt laskuda looduse nähtustele kui vajalikkudele järeldustele. Teine, kartlikum või tagasihoidlikum, alustas oma käiku nähtustele tuginedes, et jõuda välja tundmatuile printsiipidele, olles otsustanud tunnistada neid õigeteks, mille-dena nad ka kujuneksid järelduste ahelikus.“ Voltaire andis aastal 1736 oma teoses „Eléments de la philosophie de Newton“ õige ülevaate Newtoni süsteemist, ja aitas sel kombel kaasa tema tutvustamiseks Prantsusmaal. Sest ajast saadik on Prantsusmaa see maa, kus XVIII sajandil asuvad kõik silmapaistvamad Newton'i järglased, välja arvatud Euler. Matemaatilise analüüsi edusammud viiekümne aasta jooksul lubasid süvendada tööd, mille alused üksnes olid püstitatud „Printsiipide raamatus“. Clairaut, d'Alembert, Lagrange ja Laplace on õigustatult kuulsad. Laplace'i kavatsuseks, kangekaelselt sooritatud, oli näidata, et tõmbetungi seadusest jätkub, et seletada kõikide päikesesüsteemi kuuluvate planeetide liikumiste iseärasusi; kuid tema filosoofiline vaim läheb palju kaugemale, ja ta kirjutab oma teoses „Exposition du Système du Monde“: „Newton'i töö taevamehaanika alal ühendas avastiste väärtusega veel selle, et ta on parim eeskuju, mida võiks endale seada teadustes; newtonilise meetodi sisu olles arvurikaste üksikfaktide omavaheline seostamine selleks, et induktsioonide rea kaudu küündida väga üldisele faktile.“ Viimase sajandi alguses viidi see induktsioon äärmuseni ja hakati vaatlama maailma materiaalsete täppide kogumina, mis allub newtonilistele või molekulaarsetele tõmbetungidele. Need ideed osutusid pika aja jooksul äärmiselt viljakateks. Laplace, Poisson, Cauchy ja paljud teised tegid neist rohkearvulisi, suurt tähtsust

omavaid järeldusi ja ratsionaalne mehaanika võtab neid juhtideks. Koguni kineetilised teooriad, millede algus on Bernoulli' töödes gaaside üle, pole jäänud puutumatuiks seda liiki ideedest, võttes kasustamisele peale selle tõenäosuse kaalutlusi, milledele tuleme tagasi ja mis on omandanud ikka suurema ja suurema tähtsuse nüüdses teaduses.

Oleme juba näinud optikas emissiooni ja lainetuste teooriat vastamisi. Nad annavad kausaalseid seletusi, nagu ütlesime eespool, s. o. neis väidetakse ainete olelut, kas valguseosakeste või eetri oma, mis põhjustavad nähtusi. Kaua aega unustatud, Huygens'i ideed võeti uuesti üles XIX sajandil Young'i ja eriti Fresnel'i poolt. Viimane andis lõpliku tõestuse interferentsi printsiibile oma kuulsa kaksikpeegli katsega ja kirjutas mälestusväärse töö difraktsiooni üle. Fresnel'ile eeter on elastne tahke keha, kuid sel ajal ei omatud veel ühtki elastsuse üldist teooriat. Analoogiad helilainete liikumisega olid petlikud, ja Fresnel'i päralt on kuulsus, et ta jaatas kindlasti valguse eetri ristvõnkumiste vajadust; just ristvõnkumised olid hädatarvilikud nähtuste seletamiseks, milledes ilmneb polarisatsioon. Selle suure füüsiku geniaalsed intuitsioonid lubasid temale selliselt luua õpetuse valguse lainetest, mida hiljemini täiustati ja täiendati pika rea matemaatiliste füüsikute analüütiliste töödega, kelle seas peaksimine vähemalt mainima Cauchy'd ja Lamé'd. Kui küsitakse, millele taandub tänapäev Fresnel'i lainete teooria, siis tuleb vastata — ja sellega puudutame tähtsat küsimust teaduse filosoofias — *diferentsiaalvõrrandite* süsteemile. Kuid, ja seda on mõnikord unustatud, võrrandite süsteemi poleks võidud moodustada, väljudes ainult eeterliku keskkonna molekulaarsest kon-

tseptsioonist, ilma et oleks võetud abiks rohkearvulisi hüpoteese eetri suhetest tavalise ainega; ilma et oleks mindud üle katkevusest pidevusele, et saada diferentsiaalvõrrandeid; viimaseid pealegi, nagu nii paljudeski matemaatilise füüsika küsimustes, taandades lineaarsele kujule, et hoiduda keerulisist analüütilisist raskusist. Enamvähem analoogilisi olukordi esineb mujalgi ja neis oludes saadakse aru, kui raske on mõista lõplikult hukka mingi teooria algkonseptiooni. Kõige silmapaistvamad füüsikud on pidanud pika aja jooksul, olgu seda tuletatud meelde, eetri olemut absoluutselt kindlaks. „Eeter,“ kuulutas lord Kelvin, „pole spekulatiivse filosoofi imaginaarne looming; ta on meile niisama oluline nagu õhk, mida sisse hingame.“ Ja kuulus inglise füüsik, kasustades päikese kiirguse tõenäost väärust õhkkonna välisel piiril, järeldab sellest, et suhe eetri tihedusest vee omaga asetseb viieteistkümnenda ja kahekümnenda kümnendkoha vahel.

Elektrilised nähtused pakkusid samal ajal laialdast teotsemisala füüsikalistele teooriatele. Coulomb'i seaduste avastuste tagajärjel võrsus elektrostaatikast Laplace'i, Poisson'i, Green'i ja nende järglaste tegevusel matemaatilise füüsika ilusamaid teooriaid, kuna Ampère, keda võiks nimetada elektri Newton'iks, kandis elektrodünaamikasse newtonilise meetodi, otsides voolu kahe elemendi elementaarset toimet. Kuid varsti, inglise füüsiku Faraday tööde tõttu, võtab teooria teise kuju. Kuna prantsuse kool arvestas ainult mõjusid kaugusse, sundis Faraday kujutlusvõime teda nägema tungjooni igas dielektrikus, s. o. elektrit mittejuhtivas kehas. Faraday polnud matemaatik; Maxwell oli see, kes süvendas erilise loomusega keskkonna uurimist, mille esinemist oletati igas dielektrikus.

Võttes tarvitusele mõiste nihkevoolust ja rakedades sellele elektromagnetismi tuntud seadusi, Maxwell püstitab põhilisi võrrandeid elektriliste ja magnetiliste tungide vahel dielektrikus. Need võrrandid viisid Maxwell'i mõttele elektromagnetilisest lainest, mis levib valguse kiirusega. See geniaalne kujutelm jäi hüpoteetiliseks, kuni saksa füüsik Hertz teostas aastal 1888 oma mälestusväärsed katsed, mida traadita telegraaf on tutvustanud kõigile.

Näis siis loomulikuna käsitleda samastena eetrit ja keskkonda, milles kulgevad elektromagnetilised toimed; seda tegigi Maxwell oma valguse elektromagnetilises teoorias. Pealegi esineb lihtsaid seoseid mõlema teooria vastavate suuruste vahel; nii, näiteks, isotroopsete kehade juhul Fresnel'i eeterliku molekuli kiirus omab sama suunda, mis elektrilinegi tung. Kuid vahe oli siiski suur Fresnel'i eetri ja Maxwell'i keskkonna vahel. Esmese puhul usuti olevat tegemist ainega, mis sarnaneb enam-vähem kehadega, mida meie käsitleme, ja arvati, et on saadud aru valguse levimise põhjusestki. Teissugune oli lugu teisega, kuid vastandina on jällegi Maxwell'i võrrandites esinevad elektriline ja magnetiline tung otseselt mõõdetavad suurused; Maxwell'i võrrandid kuuluvad tõeliselt seletuste liiki, mis *päästavad* nähtusi. Sellega pole öeldud, et suur füüsik poleks püüdnud seletada oma keskkonna mõjuavaldusi pingete või survetega, mis toimuvad dielektrikutes või juhtmetel, kuid neist kujutlusist loobuti varsti.

X.

ENERGEETILINE VAATEKOHT.

Puutusime praegu kokku teooriatega, milles ilmnes huvi haarata asjade sisemist mehhanismi. Teaduse teistes harudes kavatseti ainult otsida üldisi arvulisi seoseid suuruste vahel, millede loomus, vähemalt antud hetkeks, jäeti arutlemata. Selliseks oli pikaks ajaks moodne keemia enda rajamisest saadik Lavoisier' poolt, kasustades ainult oma arengu teataval silmapilgul üht atomistlikku hüpoteesi puhtgeomeetrilisel kujul. See osutus äärmiselt viljakaks. Energeetika ehk teadus energiast, mille rajamine ulatub tagasi Sadi Carnot' kuulsa memuaarini tule liikumapanevast jõust, kuulub siia raamistikku. Vaadeldud faktide üldistamiste teel tuletatakse teatavaid printsiipe, millede sihiks on püstitada arvulisi vahekordi otsest mõõdetavate suuruste vahel. Seejuures peab igal üksikul juhtumil defineerima, mida mõistetakse energia all. Sedaviisi eristati energia-ilminguid, sise-energiat, mehaanilisi energiasid, soojus-energiat, elektrilist, magnetilist, keemilist energiat ja sedaviisi püstitati ilmingute samaväärsuse seadused. Mis andis energia jäävuse põhiprintsiibile suurt tähtsust, oli aga see, et vajalikuks osutus võtta tarvitusele ainult küllalt piiratud arv energia-ilminguid. Hiljemini tuli küll suurendada nende arvu, mille näiteks on kiirgavad energiad. On aga selge, et kui tuleks arvestada liiga suurt

energiailmingute arvu, poleks jäävuse printsiipmuud, kui ainult definitsioon, ja temast poleks mingit kasu.

Oli aeg, mil energreetika puhastverd pooldajad süstemaatiliselt keeldusid tarvitamast teaduses kausaalseid hüpoteese, seda liiki nagu need, milledest oli eespool juttu optika puhul. Nad kirjutasid täielikult alla Pascal'i lausele: „Üldiselt peaks ütlema: see toimub kuju ja liikumise tõttu, sest see on õige; kuid öelda milliselt ja koostada seadeldist, on naeruväärne, sest see on tarbetu, ja ebakindel, ja raske.“ Sel ajal eristati kaht kooli, mida nimetati barbaarsete nimetustega *mehhanistlik* ja *energeetiline*. Energeetikutel oli nähtavasti vähem uudishimu kui teistel; neil polnud tahtmist masinat lahti võtta. Puhta energreetika süstemaatilisemaid esindajaid oli Pierre Duhem, kes tõrjus tagasi iga seletavat hüpoteesi. On võimalik, et parimaks viisiks seletada teaduse peenusteni väljatöötatud osi oleks menetlus, mis ülistatud energreetika poolt, kus alustatakse püstitades lõplikult omandatud printsiipe, vähemalt seevõrra, kuivõrra leidub teaduses midagi lõplikku ja milledest siis võib tuletada pika rea deduktsioone. Kuid küsimuste puhul, mis pole veel nii kaugele arenenud, on sageli juhtunud, et selgitavad hüpoteesid on enam ergutanud uurimist, tehes teadust elavamaks ja vastavamaks meie uudishimule. Kuid need koolide tülid näivad nüüd kaugetena ning teadlaste tõis segunevad tänapäeval kummaliselt mõlemad vaatekohad.

Pealegi on tänapäev peaaegu kõik tunnistanud õigeks, et energia pole ainult abstraktne mõiste. Energiale omistatakse, nagu ainele, objektiivset olulut. Teda ei saa ei luua ega hävitada, iga

ilmingu olles võimeline teisenduma mitmesugustesse samaväärsetesse vormidesse; viimaste sekka tuleks tänapäev arvata ka relatiivsusteooria poolt püstitatud samaväärsus massi ja energia vahel.

XI.

VALGUSTEOORIA MOONDAMISTEST.

Tulgem tagasi elektriika ja optika juurde. Vaatamata teatavatele analoogiatele, elekter ühes Maxwell'i võrranditega ei muutunud eetriks, nagu see juhtus valgusega ühes lainetuse teooriaga. Vahepeal elektrolüüsi nähtused ja need nähtused, mida paneme tähele elektriliste laengute tühjenemisel hõrendatud gaasides, olid viinud mingi negatiivse elektri aatomi ehk *elektroni* olelu oletamisele. Teda pole iial nähtud, kuid fakt, et rohkearvulised katsed, tõlgendatud tema olelu oletamisega, annavad alati sama elektrilaengu, on olnud küllaldane, et nõustuda tema oleluga ja võtta teda teatava teooria aluseks. Meie kuulus välismaalasest kaaslane Lorentz täiendas Maxwell'i võrrandeid, võttes tarvitusele liikmeid, milles esinevad liikumas olevate elektriliste masside kiirus ja tihedus. Lorentz'i arvates elektromagnetiline väli, millele säilitatakse veel eetri nimetus, on liikumatu. Ta mõjub elektronidele, kuid elektronid ei avalda temale mingit mehaanilist toimet, ja mateeria liikudes läbi eetri avaldab elektromagnetilist toimet ainult elektriliste laengute kaudu, mis sisalduvad temas endas. Nii näeme, kuivõrra Maxwell-Lorentz'i keskkond erineb Fresnel'i eestrist. See pole enam aine ja kõneldes elektromagnetilisest ehk Hertz'i lainest, kasutame metafoori, tundes vajalikkust mingi aine järgi, milles leviksid võnkumised. Maxwell'i ja

Lorentz'i eetris, ühes selles liikuvate elektronidega, segunesid juba teataval määral emissiooni ja lainetuse õpetused; kuid see oli alles dualiteedi algus, mis ikka enam ja enam süvenes.

Füüsikud on juba ammu küsinud, kas maakera pinnal esinevad optilised nähtused võivad ilmutada maakera translatoorset liikumist. Selleks otstarbeks enne toimetatud katsed, millede toime oli esimest järku suurus aberratsiooni suhtes, s. o. maakera kiiruse ja valguse kiiruse jagatise suhtes, olid alati negatiivsed. Hiljemini andis Michelson'i kuulus katse, võimeline avaldama teise järgu suurusi, ikka veel negatiivse resultaadi. Sel ajal aga oletati peaaegu üksmeelselt, et lainete teooria liikumatus eetris tõestas teise järgu suuruste olelu; sellest tekkis vastuolu katsega. Võib-olla unustati, et eetri mehaaniline teooria täpsalt võetuna, niisugusena, nagu ta oli välja töötatud, ei või ulatuda kaugemale esimese järgu suurustest. Olgu kuidas on, Huygens'i ja Fresnel'i eeter mõisteti hukka, ning kerkis küsimus liikumata keskkonna teooria abil seletada võimatust tõestada süsteemi ühtlast translatoorset liikumist temas toimetatud elektromagnetilise (eriti optilise) katse abil. Lorentz'i võrrandid aga jäävad muutumatuks, kui tarvitada *koordinaatide* ja *aja* suhtes teatavaid lineaarseid asendusi ja kui teisendada samal ajal sobivalt elektrilist ja magnetilist tungi, samuti kui ka tihedust. Vaatamata neile pikkuste ja aja samaaegseile muutusile, elektromagnetiliste nähtuste seadused jäävad ometi samadeks, ja kuulus hollandi füüsik oli sunnitud järeldama, et keha, võttes osa ühtlasest translatoorsest liikumisest, tõmbub kokku liikumise suunas, selle lubades seletada Michelson'i katse negatiivset tagajärge. Meil aga oleks võimatu konstateerida seda kokkutõm-

bumist, sest kõik meie mõõdupuud tõmbuksid samuti kokku. Pole olemas teisi pikkusi, kui ainult need, mis muutuvad vastavalt ülalmainitud teisen-
duste valemitele; pikkused ja aeg, *mis seostatud süsteemis esineva perioodilise loomuga füüsikalise nähtusega*, ei väljendu samades arvudes süsteemi paigalolekul ja liikumisel. Tekivad samaaegsed muutused *pikkustes* ja *ajas*; muutumatuks jääb ainult valguse kiirus.

Näib eeskätt, et viimast väidet võiks kontrol-
lida otseselt, mõõtes valguse kiirust mitmesugus-
tes suundades, kuid on peaaegu võimatu saada
valguse levimisaegu sellises ligenduses, mis vas-
taks aberratsioonile ruudule. Pealegi, ja see on täht-
tis teooria seisukohalt, ei mõõdetaks otseselt kiirust,
mis vastaks valguse kulgemisele ühest täpist teise,
vaid kiirust, mis vastab minekule ja tagasitulekule.

Selline oli arutluste seis Einstein'i tulekul.
Tema pööras teatavas mõttes pahupidi Lorentz'i
teooria, võttes lähteks järgmise postulaadi: *Val-
guse kiirus vaatlajale, kes asub mingis süsteemis,
mis liigub sirgjooneliselt ja ühtlaselt mingi teise
süsteemi suhtes, on universaalne, jääv, sõltumatu
mainitud sirgjoonelisest ja ühtlasest liikumisest.*
Sellest printsiibist järeldatakse võimalust mõõta
pikkusi ja aega mõõtmisseadiste ümberpaigutamise-
ga, ning nn. piiratud relatiivsusteooria areneb
sellest raskusteta. Pole siin enam tegemist kehade
kokkutõmbumisega, mis esines Lorentz'il. Võib
öelda, et teooria füüsikaline alus peitub pikkuste
ja aja mõõtmises; kuid peab omistama valgusele
ainulaadset eesõigustatud osa teiste loodusnähtuste
seas ja oletama postulaati tema kiiruse jäävusest.

Viis, kuidas Einstein, teisendades Lorentz'i
vaatekohta, oli käsitelnud piiratud relatiivsusteo-
riat, viis teda äärmiselt laiaulatuslikkudele üldistus-

tele. Oluliseks ideeks on, et *maailmkond* on nelja mõõtmega kogum, ja et selle kogumi omadused sõltuvad ruutvormi teguritest, ruutvormi olles moodustatud nelja koordinaatide diferentsiaalidest ja koordinaatide vastates antud sündmusele. Relatiivsuse üldine põhimõte seisab selles, et iga füüsikaline seadus peab väljenduma seoste kaudu, mis säilitaksid selle ruutvormi suhtes muutumatu kuju koordinaatide mingi teisendamise puhul. Esimesi ja tähtsamaid rakendusi oli ruutvormi avastamine, mis vastas täpi gravitatsiooniväljale. Sellises maailmkonnas vaba täpi teeraja otsimine toimub rakendades teatavat miinimum-printsiipi integraalile, mis tuletatud ülalmainitud ruutvormist. Siin ei räägita enam tungist ja tõmbe- tung ilmneb ruumi omadusena; mis puutub ainesse endasse, siis ilmneb see selles füüsika *geomeetris- tamises*, kui julgeksin nii väljenduda, teatavate deformatsioonide järelalusena ruumis, mis käsitel- dud neljamõõtmesena. Näib, nagu oleks teostunud Descartes'i unistus, kes kinnitas, et ulatus on materiaalseste esemete põhiloomus, füüsika olles taandatud geomeetriaale, pealegi iseäralikult üldis- tatud geomeetriaale.

Võib-olla arvatakse, et kõik eelnev on kaunis abstraktne. See on kahtlemata nii ja ma olen imetelnud alati neid, kes katsuvad pealiskaudselt populariseerida relativistlikke teooriaid, samuti ka daame, kes vestlesid mõni aasta tagasi relatiivsu- sest salongides. Küsitakse, mis saab valguskiirest ja eetrist selles füüsikas. Valguskiir vastab geo- deetilistele joontele pikkusega null põhilise ruut- vormi suhtes. Mis puutub eetrisse — kas võiks see olla midagi muud kui ruum ise, vähemalt kui on tegemist gravitatsiooniväljaga. On siiski õige raske, Einstein'i enda ütluse järgi, teha otsust

mitte säilitada mõistet „keskkonnast, millelt võetud ära kõik mehaanilised ja kinemaatilised omadused, kuid milline põhjustaks mehaanilisi ja elektromagnetilisi nähtusi“. Asjad muutuvad veelgi keerulisemaks, kui vaatleme maailmkonda, milles esinevad samaaegselt gravitatsiooniväli ja elektromagnetiline väli, kuid ma ei saa siin sellel peatuda. Eelmisest seletusest ehk aitab, et näidata, et nüüdisaegse füüsika teatavais teooriais Loodus näib meile matemaatiliste sümbolite ulatusliku võrguna. Kas võikski olla teisiti, kui meil tuleb vaadelda nelja- ja viiemõõtmese ruume, millede puhul peame loobuma, vähemalt üldistel juhtumitel, kujutlustest, milledega oleme harjunud.

XII.

PIDEVUS JA PIDETUS.

Looduslikkude ja loomulikkude nähtustega seotud filosoofilised probleemid esinevad meile tänapäev väga erinevatelt vaatekohtadelt. Üks neist, mis osutus väga viljakaks, on tõenäosuste vaatekoht. Kõik kombinatsioonid, mida pakuvad meile süsteemis määratu suurel arvul esinevad elemendid, pole ühevõrra tõenäosed, ja sellest jõutakse tunnustamisele, et nähtused kulgevad kõige suurema tõenäosuse suunas, kaldudes teostama kõige tõenäosemat sündmust. Füüsika seadused ilmnevad siin suurima tõenäosuse seadustena ja seetõttu muutuvad vajaliselt meie kujutelmad nähtuste pööratamatuselt.

Nagu juba nägime, on vastuolu pidevuse ja pidetuse ideede vahel õige vana; ta sai alguse Kreeka antiikajal. Enamik mehaanika ja füüsika teooriaid on pahtunud analüütilistesse tüüpi-desse, mis eeldasid pidevust, oletades seda kas algusest saadik või tuues selle sisse arvutuste jaoks vajalise ligendusena; viimase juhu kohta oleme maininud näitena eetri mehaanika võrrandite moodustamist. Näited sellistest kompromissidest on rohkearvulised; üht neist pakub meile keemia, milline, olgugi nii mitmes suhtes teadus pidetusest, kasustab oma staatikas pidevuse sümboleid. Nüüdse aja füüsika teatavates osades näib meile pidetuse mõiste olevat esikohal; sõnad aatomid, ioonid, elektronid tulevad ühtepuhku tagasi füüsi-

kute huultele, ja meie tunneme tähtsat osa, mida etendanud radioaktiivsed kehad, millede igavesti mälestusväärne avastus Henri Becquerel'i ja häraring proua Curie poolt omas nii suurt mõju teaduse arengule.

Uus ajajärk avanes Planck'iga, kui tema, uurides hõõgivate kehade soojuskiirgust, käsitles seda sünnitatuna väikeste resonaatorite poolt. Tema arvutas ühe Maxwell'i võrrandi najal võnkuvate resonaatorite arvu, kuid seda oletusel, et nende resonaatorite energiad kasvavad astmeti, mitte aga pidevalt, nagu eeldas lord Rayleigh, ja ta jõudis selliselt energia spektraalsele jaotusele, mis vastas katsele ja mida ei andnud seni klassilised teooriad. Pole aga seetõttu põhjust kõnelda energia aatomist, sest see on energia ja võnkumissageduse jagatis, mis on teatava universaalse konstandi kordne ja mida nimetatakse *mõju kvantumiks*.

Sama seisukohta üldistati hiljemini tunduvalt. Kui ultraviolet-valgus langeb tühjuses olevale metallile, siis omavad metallist väljuvad elektronid kiirust, mis sõltub ainult valguslaine pikkusest, kuna oleks võinud loota, et kiirus sõltuks samuti valguse kiirgumise tugevusest. Seda on seletatud oletades, et valguse energia ei levi ühtlaselt kõigides suundades, vaid just vastuoksa jääb koondatuna määratud annustesse, *kvantumitesse*, sõltudes ainult, nagu ülalgi, laine pikkusest; see ongi *valguskvantide* ehk *footonite* teooria, mille esimesena esitas Einstein. Igaüks neist valguse annustest metalli tabades annab üle ühele elektronidest, mis asuvad metallis, oma energia kineetilise energia kujul, vähendatult ainult töö võrra, mis tuleb elektronil sooritada, et lahkuda metallist. Valguse tugevus, mis tekitab selle nähtuse, ei mõjusta lah-

kunud elektronide energiat, vaid ainult elektronide arvu.

Oleme siis jällegi jõudnud tagasi emissiooni-teooriale. Footonite teooria on osutunud väga viljakaks arvukates aine koostisse puutuvates küsimustes; *elektronide* ja *footonite* kokkupõrgete uurimine on eriti seletanud Compton'i ilusa katse X-kiirte hajutamisest teatavate ainete poolt, hajutamist, mis suurendab X-kiirte lainepikkust; analoogilisi kaalutlusi kohtame ka Raman'i tähelepanuväärse nähtuse seletusel.

Kuid raskused pole viivitanud esiletulekuga. Kuidas seletada footonite abil nähtusi interferent-side alal, mis ilmutavad oluliselt lainetuslikku loomust? See küsimus kasvas varsti väljapoole optika piire. Nüüd püütakse rajada päris uut mehaanikat, ja kõneldaksegi harilikult tänapäeval uuest lainetuse mehaanikast. Ühes uut ajajärku tähistavas teoses Louis de Broglie näitas a. 1924 teed, mida võiks käia. Elektroni, ehk üldisemalt osakese liikumisega seostas tema kaastoimuva lainetusnähtuse, mida väljendavad analüütilised seosed, kus lainete diferentsiaalvõrrand mängib olulist osa. Vaadeldes siis osakestest moodustatud pilve, de Broglie näitab, et nende osakeste teerajad kord koonduvad ja kord hajuvad, millel põhinebki pilve muutuv tihedus; ta näitab edasi, et sellest võibki footonite juhtumil, oletades valguse energia sõmerlikku struktuuri, tuletada interferentside teooriat: palju footoneid liigub seal, kus vana teooria nägi ette valguse maksimumi, ja vähe footoneid seal, kus oli miinimum. Siin ei või meie öelda, niisama vähe kui ennegi, mis lainetab; de Broglie teooria ja sellele järgnenud Schrödinger'i ja Heisenberg'i ilusate uurimiste puhul võib korrata juba tehtud märkust meie paljude seletuste skemaatilisest ise-

loomust. Ühed küsivad, kas elektroni olelu pole puht-analüütiline, olles ainult võnkumise keskmeks lainete süsteemis, millede päralt on tõesti tõelisus. Teiste arvates õn lained need, millede olelu on ainult analüütiline, ümbritseva pidetu välja olles matemaatiliselt asendatud pideva fiktiivse väljaga. See on alati sama antitees pideva ja pidetu vahel. Pealegi peaks olema olulisi vahesid lainete vahel, mis käivad kaasas elektroniga, ja lainete vahel, mis saadavad valguse osakest.

Olgu kuidas on selle aatomilise ja lainetusliku vaatekoha seguga, ta sobib siiski hästi faktidega; sest tähelepanuväärivates katsetes, kus hajutati elektrone mitmesuguste ainete pindadelt, on G. P. Thomson, Davisson ja Germer kui ka veel teisedki saanud nende osakeste jugadega inter-ferentsinähtusi.

Filosoofiliselt vaatekohalt, kvantideteooria viitab häirivatele küsimustele meie arusaamises füüsikalistest nähtustest. Kaks selle teooria haritumat eestvõitlejat, Born ja Heisenberg, kirjutavad sel puhul: „Kvantide mehaanika annab täpsaid keskmisi väärtusi, kuid ei või ennustada üksiku sündmuse teostumist. Determinism, mida seni peeti looduse täppisteaduste aluseks, näib mitte enam olevat suuteline säilitada vastuvaidlematult seda osa.“ See märkus viib kaugele. Tõepoolest, tänapäev eraldatakse meie mõõtkavas olevaid asju neist, mis pole meie mõõtkavas. Viimaste puhul on tegemist teatava anarhiaga; vastandina on aga esimeste puhul mängus suurte arvude seadus ja siis on tegemist teatavat liiki statistilise *determinismiga*.

Sageli on tuletatud meelde Henri Poincaré järgmist lauset: „See, mida uued uurimised kvantide üle näivad tegevast küsitavaks, pole mitte

ainult mehaanika põhilisi printsiipe, vaid miski, mis siamaani näis olevat lahutamatu looduse seaduse mõistest endast. Kas meie võime veel avaldada neid seadusi diferentsiaalvõrrandite kujul?“ Matemaatikud, kes harrastavad diferentsiaalvõrrandeid ja keda võiks häirida see Poincaré lause, võivad rahustuda. Tõis uue lainetuse mehaanika üle diferentsiaalvõrrandid ja isegi integraalvõrrandid etendavad peamist osa; *pidetus* ja *pidevus* on siin seltsinud heanaaberlikult. Mis puutub relatiivsusteooriasse, puutugu asi kas üldistatud relatiivsusse oma algkujul või püüetesse sünteesi teel ühendada elektrivälja gravitatsiooniväljaga, kõigist neist tuleb ilus matemaatiline kogum. Meie nüüdses kujutluses maailmast on ometi matemaatiline analüüs hädatarvilikuks riistaks füüsikaliste teooriate edule. Sellest vaatekohast vaadatuna pole matemaatiline analüüs imelikuks ja salapäraseks teaduseks, millisena teda kujutlevad nii paljud inimesed, vaid ta on oluliseks palaks loodusfilosoofia ehituses.

XIII.

MITMESUGUSEID ARVAMUSI TEADUSLIKKUDE TEOORiate SIHIST. JÄRELDUSI.

Teaduste arengu kokkuvõtlik ajalugu on tutvustanud meid juba mitmesuguste arvamustega, mis väljendatud sajandite jooksul nende sihi ja väärtuse kohta. Loodusteadustele pühendunud teadlased ei kahtle esemete olemus, mis asuvad väljaspool nende teadvust. Teadus näib neile loomuliku mõistuse täiendusena, mida ta parandab vajaduse korral. Pealegi, minemata filosoofia libedale pinnale, paljud nõustuksid sellega, et teatavad algmõisted, mis tingivad meie teadmist, on metafüüsilist laadi, ja et terve mõistuse endagi puhul meie liigume ontoloogilisel pinnal.

Arvamused, mis nüüdisajal teaduse kohta avaldatud, on väga mitmekesised; mitmetes neist leidub uuesti vanaaegseid vaatekohti, kuid täiendusega, mis teevad neist sageli algupäraseid õpetusi. Ühtedele, kes väljuvad radikaalsest empirismist, moonduv vahenditu empiiriline reaalsus järjekindlalt praktiliste motiivide mõjustusel ja nende silmis teadusel pole mingit teoreetilist väärtust omaette, teadusel olles ainult niipalju väärtust, kui palju ta on kasustatav tegelemisel; selle pragmaatilise kontseptsiooni äärmisi tendentse iseloomustas Bergson ühel päeval vaimukalt järgmiselt: „Kuna teistele õpetustele uus tõde on *avastiseks*, on ta pragmatismile *leiutiseks*.“ Teatavate filo-

soofide arvates jääb alati püsima teatav kindluse-
tus looduse seadustes ja selle väite arendas põh-
jalikkusega Emile Boutroux raamatus, mis leidnud
suurt vastukaja. Teiste arvates teadus oma kujut-
luste abil ei või haarata asjade muutuvat loomust.
Seda vana filosoofiat saamisest ja muutuvusest on
täielikult uuendanud Bergson, ilustades selle oma
piltliku ja poeetilise stiiliga, koos oma kõige silma-
paistvama jätkaja Edouard Le Roy'ga, kes veel
vastset oma ilusates töödes avaldas algupärase
märkme intelligentsuse arenemisest.

Laialdaselt levinud arvamuseks on ka, et tea-
duse väärtus seisab selles, et ta viib mõtte kokku-
hoiule, õpetus, mida eriti suure jõuga kaitses
Mach. Teiste kriitikute arvates teadus oma teo-
reetilistes osades põhineb voliliste, kuid muga-
vate konventsioonide süsteemil. On teada, et enne
iseloomustati Henri Poincaré filosoofiat, öeldes, et
see on mugavuse filosoofia. Mõnedes tema töödes
esineb tõepoolest sageli sõna *mugav* ja see näib
olevat tema seletussõnaks. Kuid meie kuulus ameti-
vend polnud iialgi mingi arvamuse orjaks, isegi ka
mitte selle omaks, mida ta oli varemini väljenda-
nud, ja tema nominalism pehmendus ühes aasta-
tega. Mugavuse mõiste, samuti kui ka mõnikord
abiks võetud lihtsuse mõiste, on tõepoolest väga
ebamäärane; evolutsiooni ideest juhitud bioloog
näeks mugavuses pikaaegse kohastumise resul-
taati, ja selliselt vaadelduna mugavus võib saada
tõelisuse ja *tõe* tunnuseks. Mina ei usu pealegi,
et Poincaré oleks sageli asunud sellele seisukohale.
Tema pidas üldiselt inimese mõistust täiesti välja-
kujunenuks ja selle funktsiooniks mõtet, millest
ta kirjutab: „Kõik, mis pole mõte, on puhas ole-
matus“, ja oma etüüdides geomeetria printsiipidest
ta vaatleb *rühma* mõistet olemasolevana meie

mõistuses ning ennast meile arusaamise vormina pealesurutuna.

Meie oleme juba kohanud Pierre Duhem'i nime. Tema omas kindlasti väljakujunenud ideed selle kohta, mida tuleks mõista füüsikalise teooria all. Selle sihiks pole, tema arvates, käristada lõhki tajutavate näivuste loori ja näidata tõelisust näost näkku. Kas on tegemist atomistidega, kes kujutlevad ainet kujundatuna väikestest tahketest ja jäikadest kehadest, või kartesiaanlastega, kellede maailm on kujundatud pidevast keskkonnast keerisliikumises olevate osadega; nii ühed kui teised, Duhem'i arvates, on seadnud oma teooriad sõltuvusse metafüüsikast. Temal oli tõesti kerge näidata näpuga seostumatustele ja võimetustele, mis esinesid aegade jooksul arvukates seletuste püüdeis, ja kui ta oleks elanud tänapäev, oleks ta neile veelgi lisandanud vastseid valgusteooriaid. Kas see pilt, mille oli saanud Duhem ja mis hoidis teda eemal õpetustest nagu atomistide ja kartesiaanlaste omad, viis teda empirismini, mis näeb teaduses ainult retseptide kogu ja täppisvaatluste kollektsiooni, või skeptitsismini, millest ei pääsenud alati Henri Poincaré? Ei; Duhem arvab, et füüsikalise teooriata pole füüsikat ja temale „*füüsikaline teooria pole seletus; see on matemaatiliste lausete süsteem, millede sihiks on kujutada nii lihtsalt, nii täielikult, nii täpsalt kui võimalik eksperimentaalsete seaduste kogumit*“. Füüsikaline teooria pole pealegi ainult nende seaduste kokkuvõtte esitamine, vaid samuti ka *klassifikatsioon*. Duhem arvas ühes paljude teistega, et kokkukõla katsega on füüsikalisele teooriale ainsaks tõelikkuse kriteeriumiks, kuid et tõelisel teoorial ei peaks olema pretensiooni anda füüsikalistest näivustest reaalsusele vastavat seletust. Nii näiteks

peeti enne Fresnel'i eetrit reaalsuseks; eeter on Duhem'ile kujutluseks ja mitte seletuseks, kuid see kujutlus viib valgusnähtuste seostatud klassifikatsioonile. Võib-olla pole silmapaistev kriitik pannud küllalt rõhku sellele, et teooria on tihti võimaldanud uute faktide ennustamist, ja sellega oleme juba ületanud antiikaegse „*σώζειν τὰ φαινόμενα*“. Võiks eeskätt tunda kiusatust paigutada Duhem'i ühe või teise liiki pragmatistide hulka, kuid temale pole kõik kujutelmad ja klassifikatsioonid üheväärsed. Täiustudes füüsikaline teooria, arvab Duhem, omandab aegamööda loomuliku klassifikatsiooni loomu, ja ta kirjutab: „Mida enam teooria täiustub, seda enam meie aimame, et loomulik kord, millesse tema reastab eksperimentaalseid seadusi, on ontoloogilise korra peegelduseks“. See on kahtlemata niisama hea kui öelda, et ilma et oleks võimalik haarata nähtuste all peituvad reaalsust, on meie mõistus siiski võimeline püstitama abstraktsete mõistete vahel suhteid, mis vastavad tõelistele suhetele esemete vahel, ja see on arvamus, mida jagab ammu ajast peale hulk teadlasi.

Oleme kõnelnud ülalpool Newton'i puhul induktiivsest meetodist. See meetod sai Duhem'i arvustuste objektiks ja nähtavasti vähe õigustatud arvustuste objektiks, sest induksioon ja üldistamine on etendanud ja etendavad tähtsat osa teaduses. Neist arvustustest peame mees ainselt seda, et katse ei või iialgi mõista hukka üksiseisvat hüpoteesi, vaid ainult tervet teoreetilist kogumit, — ja vastupidiselt arvamus, mida kaua aega harrastasid füüsikud, pole olemas *experimentum crucis*'t.

Auguste Comte'iga liituva positivistliku kooli arvates on kogemus meile muutnud igapäevasteks

teatavaid seoseid ja on viinud meid oletusele, et looduses on seadusi; teaduse sihiks aga on nende seaduste leidmine. Teadlased pole iialgi võtnud omaks Comte'i poolt püstitatud staatilist mõistet seadusest, millega käisid kaasas õnnetud vaated, mis piiritlesid mitmesuguseid uurimisalasid; kuid enamik teadlastest, eriti neist, kes eksperimentaatoritena umbusaldasid teooriat, koondus läinud sajandi teataval ajal positivistlikkude ideede ümber teaduslikust seletusest ja sellest, mida võiks nimetada nähtuse mõistlikkuseks. Seistes uue fakti ees, võiks öelda ühes nende teadlastega, et uuest faktist saadakse aru siis, kui, arvestades enne omandatud mõisteid, oleks võinud seda ennustada; seletus ongi selle ennustamise võimaluse arendamine.

Positivistid, nagu tihtipeale korraldatakse, otsivad taga küsimust *kuidas*. Oleme kõnelnud eespool *kausaalsetest seletustest*. Aga mida mõistetakse kausaalsuse printsiibi all? On küllalt levinud arvamus, et jättes kõrvale püsivust, millega toimuvad teatavad muutused, meie üldiselt ei või omistada täpsat tähendust sõnale *põhjus*, kõrvale jättes vabu põhjusi, milledest meie „mina“ annab meile ebamäärase kujutluse. Võib vaielda selle üle lõputa ja küsida ühes Meyerson'iga, kas kujundades mõisteid välisesemetest, ehk selle silmapaistva filosoofi ütluses hüpostaasides oma aistinguid, meie mõistus ei allu kausaalsuse mingile sisemisele printsiibile, mis erineb seaduse mõistest. Tõepoolest, teaduse ajalugu on meile näidanud rohkesti seletuste püüdeid, mis avaldusid mitte ainult seaduse, vaid ka põhjuse otsimises. Oleme tsiteerinud alul Huygens'i arvamust vajadusest asuda toimete tundmaõppimisest põhjuste tundmaõppimisele; seda tema arvaski tegevat, kujutelles eeterlikku keskkonda, mille olelu näis temale järgnevat

valguse levimisest baromeetrilises tühjuses. Valguse muutlikud nähtused olid siin seletatud jääva elemendi oleku moenduste kaudu; sellest on ka tingitud seisukoht, mida pooldanud mitmed filosoofid, nagu Lalande ja eriti Meyerson oma kaunis raamatus „Identité et réalité“, seisukoht, et aru saada tähendab samastada. Füüsikud ja keemikud, kes otsivad kausaalseid seletusi, peavad leidma elemente, ja neid nii vähesel arvul kui võimalik, mis oleksid sobivad seletuste alustena. Sellised olid, näiteks, Huygens'i eeter ja Maxwell'i keskkond; seda on tänapäev elektron või negatiivse elektri aatom, prooton või positiivse elektri aatom, valguse kvant või footon. Neist teatavail elementidel võib-olla pole esiteks muud kui ainult matemaatiline olelu, nagu seda näeme relatiivsusteoorias või nüüdisaegses lainetuse mehaanikas, kus analüütilised väljendused on tekkinud *a priori*, samal ajal kui tekkis küsimus looduslike nähtuste determinismist endast.

Millal oleksime valmis omistama *tõelisust* elementidele, mis esinevad füüsikalistes teooriates? See sünniks siis, kui nende teooriate järelalusena kogemus oleks meid viinud omistama kindlaid arvusid nende elementide omadustele. Kuigi võib-olla väljendatud natuke liiga absoluutsel kujul, jääb siiski õigeks, jättes kõrvale igat müstitsismi, ühe pütaagorlase vana põhimõtte, et „kõik meie teadvusele kättesaadavad esemed omavad arvu, sest selleta ei või meie midagi mõista ega teada“. On tõetruu, et mida enam areneb mõni teadus, seda suuremaks näib temas kasvavat arvu osa. Kas sellega on öeldud, et see tõelisus, mida püstitas teataval silmapilgul teadlane, kuuluks samasse järku kui tõelisus, mida tunneb kõige sagedamini terve mõistus? Nii paljude teooriate

moondumistest, eriti aga müstilise eeterliku keskkonna omast, mida säilitavad puht analüütilise kuju all ja täpsustamata uuemad mehaanikad, jätkub näitamiseks, et asi pole nii. Meil on ju tõesti võimalik öelda, et teatavad asjad ei ole meie mõõtkavas, kuid on kahtlane, et seadused, mis rakendatavad süsteemidele meie mõõtkavas, rakenduksid süsteemidele, mida nimetatakse *mikrosüsteemideks*. Peale selle kaotavad mõnikord iga mõtte vaidlused eelistusest, mida tuleks anda ühele või teisele teaduslikule hüpoteesile; kaks erinevat süsteemi on samaväärsed, kui on võimalik seada vastavusse ühe süsteemi elemendiga teise süsteemi elementi.

Vajadus teisendada, täiendada, muuta oma teaduslikke teooriaid viib ütlemisele, et meie elame üle tõelisuse kriisi. Kuid niisugused kriisid on olnud sagedad teaduste ajaloos. Ühel või teisel kujul oleme kohanud analoogilisi juhtumeid ja juba Voltaire ütles: „Teooriad on nagu hiired; nad läbivad üheksa auku, kuid jäävad kinni kümnendas.“ Kui palju on teooriaid, mis leidnud oma kümnenda augu! Jõuab alati kätte silmapilk, mil uus fakt nõuab mõnd teisendust teoreetilistes vaadetes. On sageli rõhutatud, et uus teooria säilitab siiski midagi sellest teooriast, mille ta asendab. Kosmoloogilisest seisukohast see kinnitus võib olla ebatäppis; nii tunnistatakse või ei tunnistata vastuvõetavaks eeter-substantsi olemus. Kuid on sage nähtus, et ühe teooria mingi element leidub uuesti teoorias, mis esimesele järgneb: selline on perioodsuse idee optikas, kuid see on siis pigemini matemaatiline kuju, mis on säilinud.

Mõnikord satutakse samuti kiusatusse oletada, et väga väike muutus lähtekohtades muudab ka ainult väga vähe teooria edaspidist arengut. Ometi

võib olla ka teisiti ja on juhtumeid, kus teooriad ei näita järk-järguliste ligenduste loomust, mida katsutakse neile omistada. Neis konstateerimistes pole midagi häirivat neile, kes ei taha haarata tõelisust füüsikalise teooriaga, vaid näevad teoorias kõigepealt mudelit, kas analüütilist või geomeetrilist, kasulikku ja viljakat nähtuste ajutiseks kujutuseks. Meie ei usu enam, et teopria kokkukõla katsega tõendaks, et ta väljendab asjade tõelisust.

Kuulus matemaatik Galois kirjutas mõni tund enne oma varajast lõppu: „Teadus on inimese vaimu töö, kes on pigemini määratud uurima kui teadma, otsima kui leidma tõe.“ Selles võib-olla ongi inimkonna saatus ja juba Aristoteles kirjutas oma „Metafüüsikas“: „Otsida tõe, kas pole see joosta linnu järele, kes lendab ära.“ Kuid näib, et sellest vaatekohast teadus paistab veel suuremana, tunnistades ei iialgi väsivast uudishimust, mis on meie õnn ja meie piin. Kas ei võiks ometi järgneda teatav julgusetus faktist, et teaduste ajalugu meile on näidanud ajajärgkude jooksul nii palju loovutatud süsteeme? Täitsa vastupidi, vastaksin mina, vaatamata sellele, et see näib paradoksina. Peaks pigemini imestuma, et inimese vaim on suutnud selgitada kaost nii paljude nähtuste puhul, ja seda esemetest kaugete ja värvitute kujutiste abil ning saavutanud mõisteid ilust ja harmooniast. Meie ametivennal Termier'l oli vägagi õigus, kõneldes meile siinsamas mõne aasta eest *teadmise rõõmust*; ainult oleks võib-olla samuti põhjust kirjutada peatükki mitteteadmise *kurbusest*.

Kui suur ka oleks meie huvi puhta spekulatsiooni vastu, on siiski võimatu üldises ülevaates teadusest eraldada täielikult mõlemad vaate-

kohad, millele all teadus end meile esitab. Võimukamaid põhjusi uskuda teadusse on kindlasti teaduse kasulikkus. Descartes isegi, kes polnud vähem huvitatud rakendustest kui teooriast endast, soovis, et teadus „teeks meid looduse meistreiks ja omanikeks“. Buffon omalt poolt armastas korrata: „Kogugem fakte, et omada ideid.“ Mina lisandaksin: „Kogutud ideedega katsugem püstitada teooriaid, mis lubaksid meile ennustada uusi fakte; selles avaldubki kokkuvõttes teaduslikkude taotluste ring.“ Kaunis ja kasulik ühinevad sedaviisi ja lõpetades meie tuleme tagasi Montaigne'i ütlusele, millega alustasin käesolevat ettekannet: „Teadus on suureks kaunistiseks ja imeväärseks tööriistaks.“

SISU.

	Lk.
Saateks	5
Emile Picard	7
Sissejuhatus	11
I. Egiptus ja Kaldea	13
II. Joonia füüsikud	17
III. Pütaagorlaste kool	20
IV. Platon, Eudoxos ja Aristoteles	24
V. Kreeka teadus kolmel viimasel sajandil e. Kr. s.	30
VI. Kristliku ajastu esimesed sajandid, kesk- aeg ja renessanss	36
VII. Huygens ja Newton	43
VIII. Valgusteoriad XVII sajandil	47
IX. Newton'ist Fresnel'ini ja Maxwell'ini	51
X. Energeetiline vaatekoht	56
XI. Valgusteooria moondamistest	59
XII. Pidevus ja pidetus	64
XIII. Mitmesuguseid arvamusi teaduslike teoo- riate sihist. Järeldusi	69



