

D. DANIN

kummalise maailma paratamatus

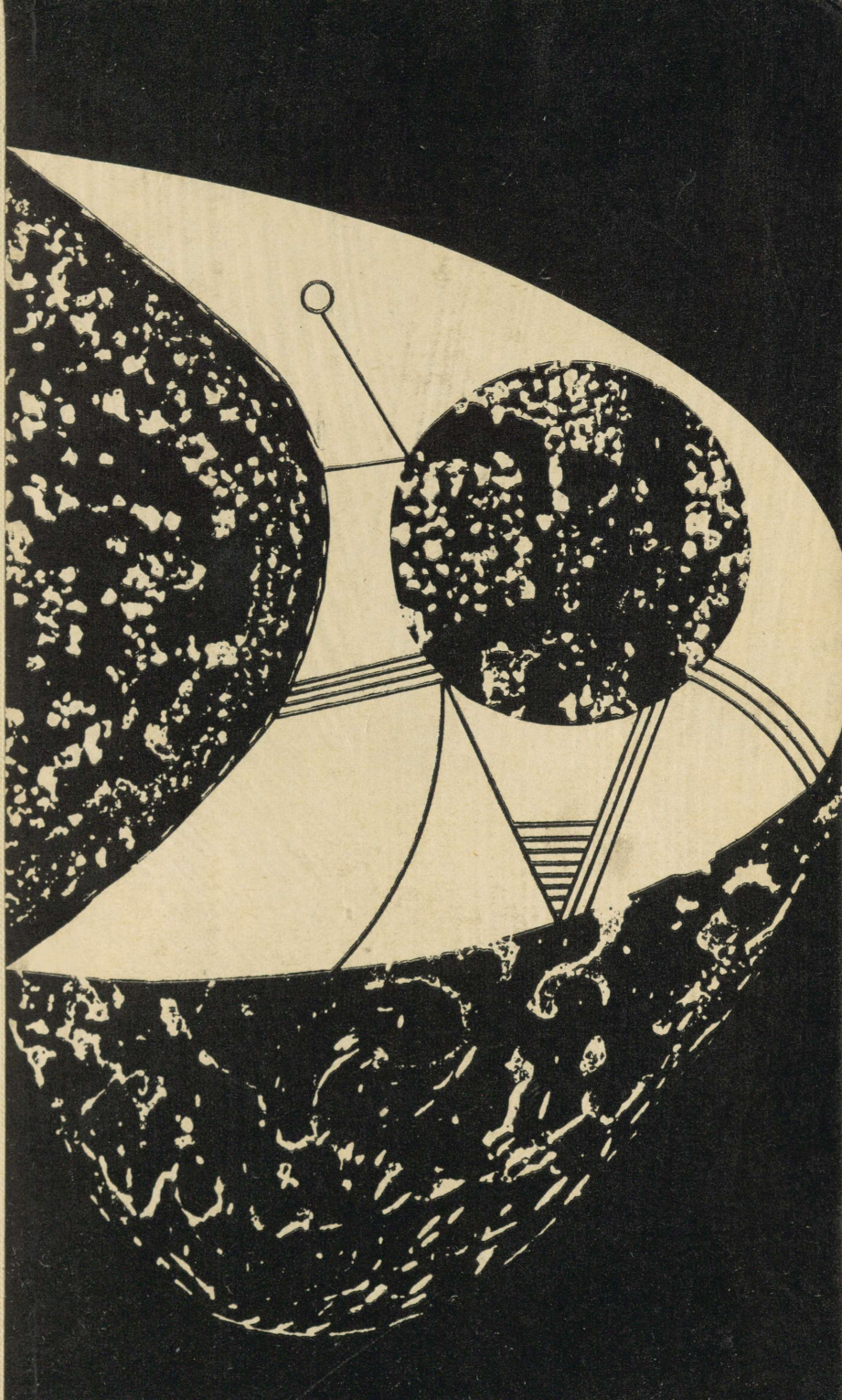
Igal aastakümnel on oma teaduslikud kired. Igal poisiklutide põlvkonnal on oma kõikeneelavad harrastused.

Jõudsid kätte 20-ndad aastad... kõikjal, kogu maailmas, hakkasid need kõrgelaubalised, pruntsuised, tähelepanelik-hajameelsete silmade ja nõtkete sõrmedega poisid miskipärast meisterdama raadiovastuvõtjaid, lugema raamatuid relatiivsusteooriast, vaidlema ruumi ja aja üle... Just nagu kokkulepitult! Just nagu oleks nägematu staap saatnud neile kõigile ühe ja sama käsu, kus on öeldud, mis on käesoleva aastakümne teaduses peamine, milliseid unistusi on praegu tarvis mängida, mille üle vaielda, millistele kodutehtud leiutistele pühendada vaba aeg ja säästetud kopikad, sendid, santiimid, pennid...

Siis tulid 30-ndad aastad... Kuulekaina oma suure vennaskonna tundmatu staabi kirjutamata käskudele hakkasid nad, s. t. mitte enam nemad, vaid nende vahepeal suureks sirgunud vennad, kiirlennukite mudeleid konstrueerima ja aine ehituse üle vaidlema. Aatomid ja lennundus olid nende kinnisideedeks...

Seejärel saabusid 40-ndad aastad ja Teine maailmasõda... Nemad, meie poisid, olid muidugi vandenõus fašismi vastu: nende ohjeldamatu kujutlus lõi enne teadlasi aatomipommi ja raadiolokatsiooni ning peale selle igasugused «surmakiired», ühesõnaga kõik, mis võiks silmapilkselt hävitada Hitleri armeed.

Pärast sõda aga leppisid rahvusvahelise kõiketeadva poisikeste vennaskonna uued, ellujäänud ja mehistunud liik-



2344

DANIIL DANIN

Kummalise maailma paratamatus

A-28262 III

DANIIL DANIN

Kummalise maailma paratamatus

P. Kand.
24.IV67.

Kirjastus «Valgus» * Tallinn 1966

53
D06

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
136978

Originaali tiitel:

Д. Данин
НЕИЗБЕЖНОСТЬ СТРАННОГО МИРА
Издание третье
Издательство ЦК ВЛКСМ
«Молодая гвардия» 1966

Tõlkinud: M. LIIDJA
Kujundus: J. ARRAK

Rändurid, kes on külastanud kaugeid maid, kirjutavad reisimärkmeid. Nad jutustavad sellest, mida nägid, sellest, mis köitis neid ebatavalisuse ja uudsusega. Kirjutavad nende jaoks, kes pole seal viibinud.

Tänapäeva teaduses on igaühe jaoks meist tundmatuid maid. See raamat on midagi ränduri märkmete taolist, kes on käinud hämmastavas mateeria elementaarosakeste riigis, kus talle avanes meie sajandi füüsika ootamatute ideede ja kujutluste kummaline maailm. Oma reisimärkmeis on autor jutustanudki sellest, mida nägi. Jutustanud nende jaoks, kel pole veel juhust olnud seda marsruuti läbida.

Esimene osa

ESIMENE PEATÜKK

- Tundmus, mis harva valdab inimest.
- Kas pole vara sellest jutustada?
- Juhtum orus.
- Lootuste ja pettumuste mägi.
- «Seiklusvaim» ja «kiirtepalavik».
- Lõputu avastuste seeria lähteallikas.
- Ei, need ei olnud katsevead!
- Elementaarosakeste looduskaitseala.
- Miks tõi uudishimu meid Aragatsile?

Me tõusime Aragatsile selleks, et näha, kuidas nähtamatu ja kuuldamatu muutub ilmseks. Polnud peadpööritavaid tõuse ja hingematvaid käänakuid, kuid polnud ka teed. Õieti oli see küll olemas, ainult lõppes liiga vara, seal, kus vajadus tema järele muutus kõige teravamaks: kevade ja talve piiril.

Me tõusime taeva suunas ja aastaajad vaheldusid vastupidises järjekorras. Ararati oru haljendavas avaruses hakkas kevad juba suveks üle minema. Bürakani observatooriumi paradiisiaias võis aga läbi vihma ja päikese aimata veel tema algust. Seejärel sõitsime aprilli algusse pruunikaks tõmbuva lume ja mulluse kulu mustendavate laikudega. Siis jäi kalender veel kuu aega taha: viimast asulat Kaši-Bulahhi ümbritses raske märtsilumi. Seal piidlesid suurelaubalised kivid inimesi süngelt oma valgete

kulmupuhmaste alt. Siis kadusid kõik värvid ja jäi ainult lume arktiline hääletus. Jäi valge helendus, mida siiski poleks saanud maalida valge värviga, sest muutlik pilvine taevas aeg-ajalt piiluva päikesega segas valgele kogu aeg juurde teisi toone.

Ja siin lõppeski tee.

Maastikuauto muutus võimetuks. Laadinud maha meid, toiduained ja posti, pöördus ta tagasi. Kõik panid ette tumedad prillid, millega end aegsasti oli varustatud. Võimas traktor laskus meile ülalt vastu. Ja jäi arusaamatuks, kust sattus siia, sellesse valgesse vaikusse, niisugune ebatõenäoline musta värvi ja mürina kontsentratsioon. «Tšeljabinets» võttis uustulnukad peale, kogenud mägielanikud asusid aga suuskadele ja haarasid kinni neile heidetud köieotstest. Mööda valget süvendit, mille buldooser oli ramminud kahe meetri paksusse lumeuudismaasse, liikus «Tšeljabinets» kentsakal raskepärasel tantsusammul. Traktor nihkus aegamööda järjest ülespoole üle alistumatute kivist lainete, pöörates meie südamed sees pahupidi. Jäi ainus lohutus: kõigi tundemärkide järgi polnud taevas siit enam kaugel.

Mai algus — kõige kaunim aeg lõunapoolsete laiuskraadide haljendavates orgudes: päike on veel armuline, tuuled toovad alles jahedust, jõed on veel vett täis ning roheluse tõepoolest roheline. Aga mägedes?

Mõni päev varem olime autos mööda lõbusalt rohetavat Diližani kuristikku tõusnud Sevani mäekurule, sinise mäestikumere juurde, mis lebab kaks kilomeetrit kõrgemal tavalistest meredest. Välejalgsed poisikesed Sevani ääres... Mustjashõbedased forellikimbud käes, jooksid nad valkjate murdlainete poolt halli asfaldijõe suunas, täites kevadist õhku läbilõikava kisaga: «Išhan, išhan!» Inimese jaoks, kes mööda õhtust inimkehva mägiteed esmakordselt tundmatule maale sõitis, elustas Sevani forellimüüjate kisa kohe tolle kivise hääletu maakoha, mida nii tihti ja nii õigustatult nimetatakse piiblimaastikuks.

Aga Aragatsil, samal kõrgusel ja samal aastaajal, teel kuulsa kosmilise kiirguse jaama poole, ei kaunistanud miski kaljude ja lume külma vaikust. Samal ajal jäi jaama endani tubli tuhat meetrit vertikaali mööda, ehk täpsemalt, tosin ebasõbralikku kilomeetrit mööda valgeid mäenõlvu.

Kõrgusmärk 3250. Ootamatu jäätunud järvesilm. Jaam asetseb sellises üksinduses, et peaaegu päris tee lõpuni, kuni lumekaeviku viimase käänakuni, ei ennustanud miski mäestikulaboratooriumi kivihoonete ootamatut ilmumist Aragatsi järskude mäeharjade vahele. Kogu tee aga, vähemalt sel aastaajal, vaevab uustulnukat rahutu ning ühtaegu kerge tunne, mida inimene harva tajub, — Maast äralõigatuse tunne.

● Too tundmus — seepärast hakkasingi sellest rääkima — on veidi suguluses ainega, millest siin juttu tuleb. Juttu tuleb aga mateeria elementaarosakestest, õigemini, neutriinosid ja elektrone, prootoneid ja neutroneid, mesoneid ja hüperone, antiosakesi ja palju muud uurivate teadlaste otsiva mõtte rõõmudest ning muredest. Need pole lihtsalt ahvatleva kõlaga terminid kavalast teaduslikust sõnastikust — need on kaheldamatult eksisteerivad realiteedid Niisama kaheldamatult eksisteerivad kui aatomid või molekulid, kui nähtav valguskiirgus või nähtamatud raadiolained.

Kust tuleb siis äralõigatuse tunne?

Kriidiga märgistatud ja riitadesse laotud palkidena kaotavad puud oma näo: nende ühetaolisuse taga ei paista enam elavat kohavat metsa. Ühesarnaste liivaterade järgi jõekäärus ei saa enam aimata jõe esialgseid kontuure: murenemine võtab kivilt iseloomuliku palge. Nii on ka elementaarosakeste maailmas: seal ei meenuta enam miski maapealse looduse mitmekesisust.

Elementaarosakesteks lahutatud mateeria kerkib meie ette ilma värvi ja lõhnata, nähtamatu ja kuuldamatuna, vabana igasugustest omadustest, mis võimaldavad meil igapäevases elus ühtesid esemeid teistest eraldada; seal pole ei kõvadust ega haprust, ei läbipaistvust ega kandilisust. Muide, kas on mõtet jätkata loetelu: niisuguseid igapäevases elus vajalikke omadusi pole juba aatomitegi maailmas. Aga sukeldudes veel sügavamale mateeria põue, aatomist väiksemasse, subatomaarsesse elementaarosakeste maailma, peame veel põhjalikumalt lahti ütlema igapäevastest kogemustest.

Seal on kõik ebatavaline.

Seal on valguse kiirusele lähedased kiirused harilikuks nähtuseks. Seal on osakesi, mis ei saagi eksisteerida teisiti kui valguse kiirusega lennates: nende liikumist ei saa

pidurdada, sest nad kaovad. Seal osutub miljondike sekunditega mõõdetav elukestus tihti suhteliselt pikaks eaks. Seal on ühtede osakeste peaaegu silmapilkne muundumine teisteks täiesti tavaline asi, ja sündi saadab seal surm, surma aga — sündimine. Seal tuli üht omadust nimetada nii ebateadusliku sõnaga kui «veidrus», seal tarvitavad teadlased niisugust ootamatut mõistet nagu «viirastuslik vastasmõju». Seal pole kujutlusel mitte millestki ehitada asjade ja protsesside tavalisi mehhaanilisi mudeleid ja teaduse sõnaraamatusse tungivad uued, poeetilise värvinguga terminid, milles nagu tarduks igaveseks füüsikute hämmeldus avastatud nähtuste ebatavalisuse üle.

Ja et juba lõplikult selgust tuua tollesse eraldatusetundesse, millest jutt algas, tuleb lisada paar sõna: avastustel elementaarosakeste maailmas ei ole seni otsest kokkupuudet inimelu praktiliste vajadustega.

Aatomireaktoreis möllavad mikroorkaanid muunduvad kasulikuks energiaks, mis paneb pöörlema masinavõlle ja valgustab maju. Mikrosündmused elementaarosakeste maailmas, mida uuritakse laboratooriumiseadmetel, pole veel kedagi soojendanud ega kellelegi kahju teinud. Nad pole ohustanud inimkonna olemasolu, kuid pole ka küünevõrd aidanud inimestel ühiskonna heaolu suurendada.

Võib-olla ei maksaks siis veel kõnelda neist abstraktseist otsinguist? Muidugi, nende uudsus on meelitav. Kuid kas füüsikas on vähe teisi ülihuvitavaid uudiseid ja pealegi selliseid, mis juba praegu on paljude tänapäeva tehnika suurepäraste saavutuste hingeks? Kas poleks siis parem viivitada seni, kuni teadus elementaarosakestestki jõuab rakendamistunnini?

Kuid võib-olla ei jõuagi ta rakendamiseni sõna otseses mõttes, nii et tema edusammude alusel konstrueeritaks uusi masinaid või kasvatataks ülisuuri saake. Ja ikkagi uurivad tuhanded teadlased kümnetes laboratooriumides elementaarosakeste käitumist, omadusi, vastasmõju. Osavad eksperimenteerijad ja läbinägelikud teoreetikud teevad ootamatuid avastusi, korraldavad leidlikke katseid, esitavad kõige ebatõenäolisemaid hüpoteese, vaidlevad üksteisega, otsides seadusi, mille järgi on korraldatud mateeria oma algalustes.

Oma algalustes! Selles ongi küsimus.

Väga toredasti ütles meie tuntud matemaatik, üks NSV Liidu Teaduste Akadeemia Siberi osakonna rajajaid aka-

deemik M. Lavrentjev: «Kasutuid avastusi pole olemas! Ei saa öelda teadlasele: katkesta oma otsingud, sest täna pole nad tööstusele vajalikud. Nad saavad vajalikuks. Heites üleolevalt kõrvale uurimused, mis täna näivad abstraktseina, kuid on suunatud looduse saladuste lahtimõtestamisele, tema nähtuste reprodutseerimisele, riskeerime liiga palju kaotada, sest tundmatute loodusjõudude tunnetamise kannul astub alati nende jõudude valitsemine.»

Kui niisuguse pilguga vaadata teadust elementaarosakestest, siis ei jää selle abstraktsusest jälgegi. Vastupidi, kohe saab selgeks, et tema edusammudest on huvitatud kogu loodusteadus, sellega koos aga kogu tehnika, kogu inimpraktika.

Seda pole vaja tõestada, nagu pole vaja tõestada, et kõik looduses toimuv sõltub lõppude lõpuks mateeria sisemisest korraldusest. Ja seepärast määrab tehnikamaailmas, inimese loodud teises looduses, lõppkokkuvõttes kõike esmase looduse salajasematesse saladustesse tungimise sügavus. Vähimagi liialduseta võib öelda, et elementaarosakeste teaduse käes on loodusteaduse ja tehnika kogu tulevik.

Kuid kas on üldse tarvis «kasu abil tõestada»? Kas teadlaste püüd mateeria algalustesse tungida vajabki selliseid tõestusi?

● Kui antiikaja materialistid esmakordselt laususid sõna «aatom», ilmutasid nad sügavaimat läbinägelikkust ja langesid samal ajal suurimasse eksitusse. Läks tarvis üle kahe aastatuhande, et teadusliku rangusega tõestada vanade natuurfilosoofide õigsust ja samal ajal nende seisukoht kohe ümber lükata.

«Aatom» — «jagamatu»! See sõna kätkes mitte ühe, vaid kaks ideed: mateeria jagatavuse, tema keerulise ehituse, ning tema algaluste jagamatuse.

Naljakas mõelda, kuid meie sajandil leidus teadlasi, kes jonnakalt keeldusid tunnistamast mateeria jagunemist atomaarse olekuni. Muidugi, tänapäeval selliseid uskmatuid enam ei kohta. Kuid lõplikult võitnuna andis esimene idee kohe löögi teisele. Niipea kui hakati uurima keemiliste elementide reaalseid aatomeid, nägid füüsikud, et nende jagamatus on müüt. Selgus, et aatomid pole üldse «aatomid».

Maailmahoone müürikivideks nimetati aatomeid veel XX sajandi algulgi. Kuid sellesse kõrgesse seisusse jääda ei õnnestunud neil kuigi kauaks. Osutus, et nad ise on terved lihtsamatest detailidest — prootoneist, neutroneist, elektronidest — ehitatud maailmad.

Nüüd ülendati, või kui soovite, alandati need kolm standarddetaili maailma algaluste auastmesse. Neid hakati nimetama «lihtsateks» ehk elementaarosakesteks.

Kolm on meelitav arv. Kord arvasid Pütagorase koolkondlased, et maailmakorra aluseks on arvude harmoonia. Elementaarosakeste kolmikust teada saades oleksid nad vist sügavamõtteliselt päid noogutanud: «Kolm algalust? See sarnaneb tõega.»

Kuid uurimised jätkusid. Vanad pütaagorlased füüsikutele ei meenunud. Kolmele elementaarosakesele hakkasid kohe lisanduma üha uued ja uued niisama lihtsad osakesed. Kakskümmend viis aastat on neid sadanud nagu küllusesarvest. Või nagu langevaid tähti augustikuus: nad jätsid helendavaid jooni meie teadmatuse pimedusse ja tõmbasid endale üldise tähelepanu. Kuid mõned neist põlesid tõepoolest ära nagu meteoorid: nende olemasolu fakt ei leidnud kinnitust või kutsub seniajani esile kahtlusi ja vaidlusi.

Te mõistate muidugi, et need levinud kujundid — «küllusesarv» ja «augustikuu tähed» — pole siin omal kohal: iga uue, senitundmatu elementaarosakese avastamine on ülimalt raske ülesanne. Iga kord kujutab see endast teaduse tõelist kangelastegu: teadlastelt nõuavad niisugused avastused äärmist läbinägelikkust, ülimat usku julgete oletuste mõistuspärasusse, eksperimentide filigraansust ja eksimatust töös. Jääb üle ainult hämmastuda, et meie sajandi kolmekümnendate aastate algusest tänaseni — ajaloo seisukohalt tühiselt väikese ajavahemiku kestel — on vaieldamatult avastatud elementaarosakeste arv järk-järgult kasvanud kaugelt üle kahekümne. Ja kus on «algallikate nimekirja» lõpp, isegi seda, kas lõppu on üldse olemas, ei oska seni veel keegi öelda.

Kuid tekib küsimus: kas teadlastel on üldse tegemist mateeria algalustega. Kas elementaarosakesed on üldse elementaarselt lihtsad? Kas nad etendavad looduses nende lõplike jagamatute aatomite osa, millest unistasid kord vanaaja natuurfilosoofid? Kas tõesti «saab kõik alguse»

nendest osakestest? Kui mitte, mis siis edasi? Kust nad ise tulevad? Millest nad on ehitatud ja milliste seaduste järgi tekivad? Üleüldse, mida nad endast kujutavad?

Kas pole aga siia liiga palju küsimusi kuhjunud?

Jällegi on kõik senioeldu lausutud vaid selleks, et õigustada vestlust elementaarosakestest. Jah, mootorit nende abil esialgu ei ehita. Ent kui jutt on looduse üldisest füüsikalisest pildist, mateeria algalustest, siis ei ole teadusel vaja otsida õigustust oma senisele abstraktsusele.

Ja siiski on esimeste aatomielektrijaamade, esimeste kuulendude kaasaeglastel raske uskuda, et tänapäeva füüsikud tegelevad praktikast kaugel seisvate ülesannetega. Aragatsil kuulsin juhuslikult huvitava loo.

... Ararati orus, kus suitsevad tehased ja vabrikud, kus töötavad geoloogid ja teedeehitajad, juhtus kord avarii: miski plahvatas. Avarii tehnilisi põhjusi ei õnnestunud kohe selgitada. Kuni neid otsiti, tuli ühele uurijaist pähe ootamatu mõte, mis täiesti sobiks fantastikajuttu. See mõte tõi ta Aragatsile, musta järve äärde inimtühjade mäeharjade vahele.

Raske teekond, külm, tundmatuse ärevus...

«Võib-olla juhtub teel minugagi midagi,» mõtles see mees, «kui need teadlased seal ülal oma hooletusega oskasid orus plahvatuse esile kutsuda?»

Aragatsi vaatlusjaama üksinduses on iga alt tulnuk oodatud külaliseks. Plahvatuse põhjuste selgitajat kostitati rikkalikult, pakuti talle kuuma dušši ja puhta pesuga voodit nagu parimas võõrastemajas. Ei, nagu tõelises kliinikus, sest mäestikulaboratooriumi arst, keda ajendas isiklik teaduslik huvi, mõõtis orust tulnud inimese vererõhku ja tegi tema kardiogrammi. Külaline silmitses hämmeldunult keskküttepatareisid, külluslikku elektrivalgustust, automaat-raadioseadmete mitmevärvilisi skeeme, füüsikaaparaatide kolosse. Teda täitsid sümpaatia ja usaldus mäeasukate vastu, kuid samal ajal tugevnes ka usk nende võimsusse.

Füüsikud näitasid ja selgitasid talle kõike. Nagu oskasid. Nemad naeratasid ja tema naeratas. Näis, et ta mõistis: siin tegeldakse lihtsalt «puhta teadusega», maailmaruumi sügavusest tulevate kosmiliste kiirtega; mingeid salajasi jõude, mis mõjuksid suure vahemaa taha, füüsikute käsutuses ei ole. Jõudis kätte lahkumistund. Külaline avas

juba ukse, kuid pöördus lävel äkki ringi, pilgutas mõistvalt silma ja sõnas:

«Hästi, seltsimehed. Kõik on selge! Ainult olge järgmine kord hoolikamad, muidu aga — näete, mis juhtub . . .»

Füüsikud naersid veel kaua tagantjärele. Ei, neil ei õnnestunud oruelanikku veenda oma praktilises abituses. Pole enam selline aeg!

Kuid ühes oli sel inimesel õigus, ehkki ta ise seda ei aimanud: füüsikud on tänapäeval juba võimsamad kui kunagi varem, nad tungivad sügavuti «mateeria algaluste» poole. Aga see on tõsisem kujuteldavaist või võimalikest plahvatustest ükskõik millise vahemaa taga.

● Niisiis, me tõusime Aragatsile, et vaadata, kuidas nähtamatu ja kuuldamatu ilmseks muutub.

Asjalikus keeles määratleti meie eesmärki igavate sõnadega: objekt, tutvumine. Traktoristil ja tema paarimehel, raadiotehnikainseneril ja jaama ülemal olid muidugi omad mured vastavalt igaühe kohustustele. Kuid mind, viiendat tõusust osavõtjat, valdas täiesti ebaasjalik meeleolu: ausalt öeldes oli lihtsalt suur tahtmine tõusta 3250 meetri kõrgusse, tundmatuse suunas.

Meeleolu oli ülev ja veidi pidulikki nagu ikka linnameestel mägedes. Pealegi veel Armeenia kevad — lõunamaa kevad! Aragatsi külmadele mäeharjadele eelnenult häälestas ta meid vajalikku meeleollu.

All Jerevanis, Teaduste Akadeemia Füüsika Instituudi lopsakalt haljendaval õuel, õitsesid kastanid ja paju, sirelid kas alustasid või lõpetasid õitsemist. Keegi ei otsinud veel varju päikese eest ja oli imehea kõndida mööda seda õue, kuulata füüsikute jutustusi Aragatsi laboratooriumi ajaloost, selle töödest, õnnestunuist ja ebaõnnestunuist, vanadest ja uutest. Ainult et nende juttudes polnud erilist entusiasmi. Mitte midagi kevadist.

Tavaline lugu! Neid kuulates meenutasin ma, kuidas esimeses aatomielektrijaamas Moskva lähedal, päevil, mil kogu maailm kõneles sellest, teadustas noor valges kitlis insener ekskursantidele väsinud häälega: «See kontuur on meil roostevabast terasest; turbiin on kehv, ei tasu vaadatagi — lapiti üks vana ära ja pandi paika.»

Teaduse tippudel on sama omadus mis mäetippudelgi: seal on raske hingata. Kuid teadlased ise, just nagu mägilased, tajuvad seda harva, märksa harvemini kui uudis-

himulikud kõrvaltvaatajad. Teadlaste jaoks on teadmiste kõrgused lihtsalt alaline töökoht, niisama nagu alpi aasad on mägilastele lihtsalt karjamaa. Nii ühtedele kui teistele on mõõtmatute kauguste naabrus teisejärguline asi. Kuid küsimus pole ainult selles.

Seal, kus meie diletantlikule vaimustusele näib kõik ilusa, harmoonilise, lõpetatuna, avaneb uurijate pilgule täiesti teistsugune pilt: üks probleem on üldse lahendamata, teine kutsub esile kahtlusi, kolmas pole küllaldaselt põhjendatud, neljas räägib vastu tuntud andmetele, viies ei lahendu aastate viisi... Igaühe elus on pühapäevi seitse korda vähem kui teisi nädalapäevi. Teadlase elus on pidupäevad sadu kordi haruldasemad visa töö raskustest.

Võrrelge looduseuurijaid luurajatega, teedeehitajatega, kaevanduse läbindajatega — võrdlus on seda täpsem, mida raskemat elukutset see märgib.

Väide on õige igal juhul, elementaarosakeste teaduses aga kahekordselt: subatomaarset füüsikat alles luuakse. Sarnases olukorras oli sada aastat tagasi iidne keemia, mis ootas Mendelejevi ilmumist.

«Tahad Alagezi külastada?» küsis mult Moskvas üks literaat, kes ammust aega tunneb Armeeniat (seepärast nimetas ta ka Aragatsi selle vana nimega Alagez). «Suurepärane! See on lootuste...»

«... ja pettumuste mägi!» lisas teine sõber, füüsik, minu kunagine ülikoolikaaslane. «Kuid seal pead sa ära käima. See on huvitav. Ja tähtis. Aga sinu eesmärgi jaoks isegi kohustuslik.»

Kuid mis on Aragatsi füüsikalaboratooriumil pistmist elementaarosakestega, kui ta tegeleb kosmiliste kiirtega? Lugu on aga selles, et just kosmilised kiired on osutunud nagu elementaarosakeste taimelavaks, kus paljud neist esmakordselt avastati. Ja võimalik, et need kiired pole teadlaste ees avanud veel kõiki oma koostise rikkusi.

● Kosmilised kiired jõuavad Maale pärast pikka ja ühetoonilist reisi läbi maailmaruumi hääletu kõrbe. Muidugi mõista pole Maa nende rännaku sihtpunkt (loodusel pole sihte!). Maa on ainult üks taevakehadest, mis asetseb nende teel. Nad künnavad maailmaruumi igas suunas ja oleks rumal mõelda, et neil on kuskil olemas ühtne lähteallikas.

Sõna «kiired» pole siin päris omal kohal: sellega seostub kujutlus millestki katkematust ja kindlasuunalisest, kosmilised kiired aga on mateeriaosakeste vood, mis tungivad Maa atmosfääri igast suunast. Päikesevalguse eest võib varju peituda, see vari on öö, mis alati haarab poolt maakera. Kosmiliste kiirte eest pole samas mõttes kuhugi varjuda, nii nagu ookeanis ei saa veest eemale hoida. Need kiired kujutavad endast seda hõrendatud aine maailmaookeani, mille tormidest ja tuulevaikustest meie väike Maa läbi purjetab.

Seal on tõepoolest tormid ja mitte ainult tuulevaikus, kuigi maailmasügaviku aine on nii hõredas olekus, et meie Galaktika tähtedevahelise ruumi iga kuupsentimeetri kohta tuleb keskmiselt üks mikroosake. (Galaktikatevahelises ruumis on ainet veel vähem.) Kui väike see kogus tegelikult on, võib kergesti mõista lihtsast võrdlusest: samasuguses õhukuubikus maakera pinna lähedal tuleb molekulide hulka mõõta arvuga, milles sisaldub üheksateist nulli.

Tundub, et lendavad külalised kosmosest peaksid lootusetult kaduma Maa atmosfääri. Nad peaksid Maa gaasiliste ainete osakeste kohutavalt suures kuhjumises alatiseks äratundmatuks jääma. Tõepoolest, teadlased isegi ei kahtlustanud nende olemasolu kuni käesoleva sajandi alguseni. Samal ajal polnud kosmiliste kiirte avastamiseks vaja mingeid erilisi aparaate ega imeteravat leidlikkust, kõiges aitas vana hea koolielektroskoop. Ja siiski ei võidud seda avastust varem teha. Selleni oli tarvis kasvada. Mitte niivõrd eksperimenditehnikal kui teadlaste uurivai vaimul endal.

Oli tarvis, et füüsikute mõte häälestuks vastavale lainele. «Seiklusvaimuks» nimetas niisugust mõttelaadi Pierre Auger, kelle nime võib leida iga aatomifüüsika kursuse lehekülgedel (Auger' efekt, Auger' elektronid, Auger' valingud). Ta pidas silmas seiklusi sõna otseses mõttes: lende õhupallidel, mäestikumatku, sügavates maaalustes koobastes ekslemist ja järvede põhja sukeldumist... Ja tõesti, ilma selliste seiklusteta oleks kosmiliste kiirte uurimine jäänud tõenäoliselt edutuks. Kuid valmis olek riskiks ja raskusteks iseloomustas looduseuurijaid juba varemgi. Seiklusvaim on neile alati omane olnud. Ent iga kord valdas see neid tõsiselt alles siis, kui nad

juba selgelt tunnetasid enda ette kerkinud ülesande käske ja mõisteid: ilma seiklusteta toime ei tule!

Nii oli ka kosmiliste kiirtega. Mägedesse ronima ja maapõue tungima sundis teadlasi kindel veendumus, et Maa atmosfääris on mingi kõikjale tungiv kiirgus. Oli tarvis see ainult kindlaks teha. Kuid kõigepealt pidi tekkima mõte niisuguse kiirguse võimalikkusest! Vaevalt oleks see füüsikuile pähe tulnud, kui veidi varem poleks avastatud röntgenikiired ja radioaktiivsus. Esimene avastus leidis aset aastal 1895, teine 1896.

Need avastused häälestasidki mõtted vajalikule lainepikkusele. Ning need äratasid seekord igavese «seiklusvaimu».

Wilhelm Röntgeni avastatud nähtamatud kiired, mille suhtes tavalised läbipaistmatud kehad läbipaistvaks osutusid, avaldasid kaasaegseile mitte millegagi võrreldavat muljet. Keegi ei teadnud veel, et need kiired on täiesti sarnased valguslainetega, ainult märksa lühema lainepikkusega. Keegi ei aimanud veel, et nad tekivad kiirete elektronide pidurdumisel aatomituumade läheduses. Varsti pärast seda avastas Henri Becquerel radioaktiivse kiirguse, ja ka selle päritolu ei mõistnud veel keegi. Ei teatud midagi aatomite ehitusest, nende elektronkihtidest ja tuumadest. Kuid kõigile oli selge üks: mikromaailm annab enesest teateid! Algas uus ajastu füüsika arengus.

Tekkis «kiirtepalavik». Katsed avastada veel mingeid kiiri järgnesid üksteisele. Teadlased elasid lootuses püüda uusi šifreeritud teateid aine sügavusest. Gretzi kiired, Blondleau' kiired, F-kiired ... «Pärast pikemat või lühemat perioodi selgus siiski, et need kiired olid arusaamatuse või vaatlusvigade vili,» kirjutas Röntgeni õpilane nõukogude akadeemik Abram Fjodorovitš Joffe.

Samal ajal, 19. ja 20. sajandi vahetusel, pöörasid füüsikud tähelepanu ühele kummalisele asjaolule, mis vääris tähelepanu ainult seetõttu, et seda oli võimatu mõistlikult seletada: laetud elektroskoop kaotas aja jooksul iseenesest laengu!

Vaevalt on tarvis meenutada, et elektroskoop kujutab endast kaht õhukest metall-lehte isoleeritud pulgakese otsas; kui lähendada metall-lehtedele elektrilaeng, tõukuvad nad teineteisest eemale. Keskkonnas, mis voolu ei juhi, laialitõukunud lehed alla ei lange: keegi nende laenguid ära ei võta ja tõukejõud ei vähene.

Laetud elektroskoop jäeti neutraalsete gaasidega täidetud hermeetiliselt suletud nõusse. Elektroskoobi isolatsioon ja anuma hermeetilisus olid absoluutselt kindlad. Ja siiski täheldati iga kord, et lehed vajuvad vähehaaval allapoole. Ainuke seletus: suletud nõusse ilmuvad kusagilt voolukandjad, laetud osakesed. Kuid kust võisid nad sattuda neutraalsesse gaasi ja pealegi suhteliselt suurel hulgal?

Nagu tavaliselt, sai kõik alguse lihtsatest küsimustest.

● On füüsikalisi mõisteid, mida dešifreerimata on elementaarosakestest jutustades niisama võimatu läbi saada nagu näiteks jutustada näitlejaist ilma sõnata «lava». Üks sääraseist on ioniseerimine. See on tõepoolest too laboratoorne lava, kuhu elementaarosakesed kulisside tagant ilmuvad ja kus nad oma võimeid demonstreerivad. Kui ei esineks i o n i s a t s i o o n i, vaevalt oleksid teadlased siis elementaarosakestest midagi teada saanud.

Klõpsuvad loendajad aatomifüüsika instituutides... Uduste jälgede pildid Wilsoni kambrist... Tehiskaaslaste füüsikaaparaatide raadiosignaalid... Kõik see on i o n i s a t s i o o n i «kätetöö».

Meie möödaminnes tehtud oletus, et ioniseerimisprotsess võiks mitte esineda, on haruldaselt mõttetu. See oleks niisama hea, kui minutiks oletada, nagu poleks olemas ei meid ümbritsevat loodust ega meid endidki. Maailm ilma ionisatsioonita on jäädavalt pitseeritud aatomite maailm, kus on peaaegu võimatu aatomite vastastikune mõju, maailm ilma rõhuva enamiku keemiliste muundumisteta, ilma elu jaoks vajaliku keeruliste ainete mitmekesise valikuta. Viljatu, kujuteldamatu maailm.

Juba väga ammu märgati, et neutraalsed aatomid muutuvad kergesti laetud iooniideks. Füüsikud ainult ei mõistnud, kuidas see toimub. Faradayl, kes tõi möödunud sajandi kolmekümnendatel aastatel teadusse kreekakeelse sõna «iõn» — «rändaja» või «minev», ei olnud mingeid andmeid aatomite ehitusest. Aga nende ehituses küsimus just oligi. Nad on neutraalsed, ehkki ehitatud laetud osakestest, sest miinuslaengute, tuuma ümber tiirlevate elektronide arv võrdub täpselt plusslaengute, tuumas endas asuvate prootonite arvuga.

Vaja on ainult rikkuda seda tasakaalu, et aatom otsekohe muutuks laetud iooniks. Esimesel pilgul on selleks

tervelt neli viisi: esimesed kaks — suurendada või vähendada prootonite arvu tuumas, teised — suurendada või vähendada väliselektronide arvu.

Kuid esimesed kaks viisi ei kõlba! Mitte põrmugi ei kõlba! Ja mitte seepärast, et tuumast prootoneid välja tuua või sinna uusi suruda oleks väga raske ülesanne, vaid seepärast, et niisugune operatsioon on võrdväärne selle aatomi kaotamisega, mida me iooniks tahtsime muuta.

Keemiliste elementide aatomid erinevadki üksteisest eeskätt selle poolest, et nende tuumad sisaldavad erineval hulgal prootoneid. On olemas kolm vesinikku. tavaline — prootium, raske — deuteerium, üliraske — triitium. Kuid kõik need on ühe ja sama keemilise elemendi teisendid (isotoobid), sest nende tuumadel, mis sisaldavad kõik üheainsa prootoni, on kõikidel üks ja sama laeng: +1.

Muuta prootonite arvu tuumas tähendab tegelikult ühe elemendi teiseks muutmist.

Aga ioniseerimine on märksa tagasihoidlikum ja märksa kergem protsess: ioniseeritud vesinik jääb vesinikuks kõigi oma põhiliste omadustega, heelium heeliumiks, uraan aga uraaniks. Ent kui aatomituumadega ei juhtu ioniseerimisel absoluutselt mitte midagi, siis, tähendab, peab midagi juhtuma aatomite väliselektronidega?

Nii jääb järele ainult kaks viimast meetodit aatomile laengu andmiseks: kas kiskuda tema väliselektronkattest ära üks või mitu elektroni, või vastupidi, liita sinna uusi. Teiste sõnadega, kas või pisutki hajutada või tihendada elektronpilve.

● Pange tähele, milliseid pöördsõnu tuleb tarvitada ioniseerimisest rääkides: ära kiskuda, eemaldada, ühendada, tihendada... Need on kõik aktiivsed tegevused. Nende sooritamisel toimub kas energia neeldumine või selle eraldumine.

Kui ioniseerimine õnnestuks ilma energiakulutusteta, siis oleks sellest niisama vähe kasu, kui et seda üldse ei toimukski.

Tõepoolest, see tähendaks ju, et kõik aatomi elektronide seosed tuumadega ei loe midagi, et neid pole lihtsalt olemas. Siis avaneks maailm meie pilgule kui paljaste tuumade, või vastupidi, tihedast elektronpilvest ümbritsetud

tuumade kuhjumine. Kõik sõltuks puhtast juhusest, osakeste mehhaaniliste kokkupõrgete kapriisidest. Ootamatult tekiksid totraimad elementide ühendused, tekiksid ja laguneksid sealsamas. Lõppude lõpuks muutuks maailm ühetaoliseks tuumade ja elektronide segapudruks, vormituks elektroni-tuumagaasiks. Kurb vaatepilt maailmast, kus poleks kedagi kurvastamas.

Aga ioniseerimise võimatus tähendaks, et tuumade seosed elektronidega on kord ja alatiseks muutumatud. Niisugune perspektiiv poleks sugugi rõõmustavam. Aatomid oleksid siis tõepoolest igaveseks lukustatud, tugevasti pitseeritud, muutumatud. Nad hakkaksid lõpuks õigustama oma esialgset hüüdnime «jagamatud». Kuid loodusel poleks nendega midagi teha. Maailm muutuks postkastiks täis kirju, mida ei saa avada ega lugeda.

Ionisatsioonienergia ei saa olla nullväärtusega — seoseid poleks olemas. Ja ei saa olla lõpmatu — seosed oleksid purunematud. Kõik protsessid looduse elus on lõplikud peale elu enda, millel pole ajas ja ruumis ei algust ega lõppu.

Vajadus kulutada aatomite ioniseerimiseks energiat (kes, kus ja kuidas seda kulutab või juurde saab, pole meile praegu üldse tähtis) teeb selle sündmuse ühtedel juhtudel võimalikuks, teistel mitte. Ja et energiabilanss on igal juhul täisti kindel, et igal juhul osutuvad purustatavad või loodavad seosed täiesti kindlateks, siis on teadlastel käes usaldatav vahend looduse raamatupidamises kaasalöömiseks. Nad märgivad sellesse raamatusse, kuidas paljud mikromaailma nähtused oma bilansi tasakaalus hoiavad.

Nii muutuvad nähtamatud ja kuuldamatud sündmused, millele, nagu paistis, täpsete mõõtmistega ligi ei saa, järsku range arvestuse objektideks. Aga siis pole ka imeks panna, et ilmub võimalus neid «näha ja kuulda».

Siin peitub elementaarosakeste maailma puutuvate avastuste lõputu rea allikas. Siin on ka nende osakeste avastamise lähteallikas — tõeline taimelava, kosmilised kiired.

● Elektroskoobi lehekesed vajusid aja jooksul ise alla. Keegi laadis nad tühjaks, või nagu füüsikud ütlevad, neutraliseeris nad. Seda võisid teha ainult laetud ioonid.

Järelikult tungis keegi nõu hermeetilisusest hoolimata

sinna sisse ja muutis neutraalsed gaasiaatomid Faraday rändureiks.

Elektroskoobi kambri seintest suutsid läbi tungida röntgenikiired ja radioaktiivsete elementide kiired. Nende energiat jätkuks ka kambri sisse tungimiseks ja gaasi ioniseerimiseks.

Võib-olla, mõtlesid füüsikud, asuvad kambri lähedal iga kord tõepoolest mõned nende kiirte tundmatud allikad? Selle asemel et neid otsida ja kõrvaldada, oli lihtsam ümbritseda kamber paksude pliiekraanidega, küllalt paksudega, et niisuguseid kiiri neelata.

Kujutlege jooksjat, kes liigub üle tühja väljaku: tema jooksu ei takista keegi. Nii liiguvad kiired vaakuumis: nende teele võivad sattuda ainult juhuslikud vastutulijad, üksikud aineosakesed. Aga kui väljak on rahvast täis, on jooksja sunnitud läbi rahvahulga tungima, tõugates vastutulijaid ja kaotades jõudu. Lõpuks jääb ta hingetuks ja takerdub rahvahulka. See juhtub seda varem, mida tihedam on rahvahulk. Niisamuti liiguvad kiired läbi aine. Sealjuures on nad seotud silmadega jooksjad: suunda valida nad ei saa. Mida tihedam on aine, seda lühem on tee, millel nad kogu oma energia jõuavad ära kulutada. Kuid tee on ikkagi seda pikem, mida suurem on osakeste esialgne energia.

Pliikiht neelas röntgeni- ja radioaktiivsed kiired. Aga elektroskoop tühjenes ikkagi! Oli, mille kallal pead murda.

Esialgu lõid füüsikud käega — eksperimendivead. Kuid need nn. vead kordusid nii korrapäraselt ja ühetaoliselt, et füüsikute pahameel aparaatide ebatäiuslikkuse üle asendus palava uudishimuga. Tekkis tolle aja kohta kõige loomulikum mõte: on olemas veel mingid kõikjale tungivad ülienergilised kiired, millele isegi paks pliikiht pole takistuseks.

Mida nad siis endast kujutavad, need saatanlikud kiired? Kui suur on nende koletu energia? Kust nad tulevad? Lihtsad küsimused asendusid keerukatega.

Esialgu ei peetud uusi oletatavaid kiiri üldse kosmilisteks. Neile omistati maine päritolu — pinnasest. Kuid sellele järgnes lihtne ja kergesti kontrollitav järeldus: maakoores sündides ja altpoolt läbi tiheda atmosfäärikihi tungides pidid nad kõrgusega energiat kaotama ning elektroskoobi suletud kambris olevat gaasi ikka nõrgemini ioniseerima. «Seiklusvaim» kihutas teadlasi mäge-

desse — jala, ratsa, autodel. Ja teisele poole pilvigi — õhupallide haprais gondleis.

Ja selguski, et kõik toimub nii, nagu oleksid maa ja taevas kohad ära vahetanud: mida kõrgemal, seda kiiremini tühjenes elektroskoop, just nagu poleks ta eemaldunud kiirte algallikast, vaid lähenenud sellele! 1910. a. väljendas austria füüsik Hess pärast viie kilomeetri kõrgusel viibimist esimesena põhjendatud mõtte, et need pole uldse «maa»-, vaid «kõrguse»-kiired. Hiljem, juba pärast Esimese maailmasõja raskete aastate sunnitud viljatust, mil suurem osa füüsikuid ei tegelnud oma erialal, tõusis sakslane Kohlherster aerostaadil 12 km kõrgusele ja tegi kindlaks, et seal, pilvede taga, on ionisatsioon 30 korda tugevam kui merepinnal.

Enam ei kaheldud, et kõikjale tungivad kiired tulevad meieni kustki maailmasügavusest. Teadmata veel midagi kiirte koostisest või käitumisest peale selle, et nende energia on meie maiste mastaapidega võrreldes hiiglasuur, nimetasid füüsikud neid täie õigusega kosmilisteks kiirteks. Nii algas nende kiirte igakülgse uurimise neljakümneaastane ajalugu. See jätkub ka tänapäeval. Ning jätkub hommegi, sest mitte kunagi ja mitte millestki ei saa teada kõike või vähemalt küllalt palju.

Jätkub seepärast, et kosmilised kiired huvitavad kõiki.

Astrofüüsikud ja raadioastronoomid uurivad nende lähteallikaid. Raadiotehnikuile ja meteoroloogidele on tähtis nende osa Maa atmosfääri ioniseerimisel. Bioloogidel ja arstidel on vaja teada nende mõju elusloodusele ja inimesele. Piiramatu küsimuste ring on seotud kosmiliste kiirtega, alates nende kõrvalekaldumisest Maa magnetväljas ja lõpetades vähihaiguste statistikaga.

Kuid meil on tarvis neid vaadata ainult tuumafüüsiku pilguga. Isegi veel kitsamalt, elementaarosakeste füüsiku pilguga (tõsi, säärast sõna pole veel kasutatud, kuid varem või hiljem see tõenäoliselt ilmub, niisama nagu sõna «aatomifüüsik» kannul on ilmunud sõna «tuumafüüsik»).

● Maa-alustele ja kõrgmäestikulaboratooriumidele on tänapäeval lisandunud kosmoselaboratooriumid tehiskaaslastel. Seal on aparaatidel tegemist kosmiliste kiirtega niiöelda «puhtal kujul», need kiired pole veel üle elanud mingeid halbu seiklusi teel läbi Maad ümbritseva õhuookeani.

Selles kosmilises primaarkiirguses avastati peaaegu kõigi püsivate elementide aatomituumad. Ja võib rääkida lihtsalt primaarkiirguse keemilisest koostisest. See kajastab ainult ligikaudselt mitmesuguste elementide suhtelist levikut maailmaruumi kogu nähtavas osas meie ümber. Mida raskemad tuumad, seda harvemini neid kohtab. Tavalise vesiniku tuumad, prootonid, on rõhuvas ülekaalus. Märksa vähem on alfaosakesi, s. t. järgmise kerge elemendi, heeliumi tuumi. Veel vähem on süsiniku, lämmastiku, hapniku, raua tuumi. «Normist» kõrvalekaldumised, näiteks «liiga suur» protsent liitiumi, berülliumi, boori, ajendavad füüsikuid huvitavatele mõtisklustele tuumareaktsioonidest maailmaruumis, mille tagajärjel tekib nähtavasti nende elementide «üliküllus». Sellised kõrvalekaldumised oodatavast aitavad teadlastel püstitada hüpoteese kosmilise kiirguse päritolu kohta.

Kuid jätame primaarkiirguse, jätame aatomituumad. Tõeliseks elementaarosakeste kaitsealaks, kus paljud neist esmakordselt avastati, osutus kosmiline sekundaarkiirgus, mis moodustub Maa atmosfääris, kui läbi atmosfääriaine tolmuterakeste teed rajav primaarkiirgus lõpetab rännaku.

Õieti ei tohiks sekundaarkiirgust enam kosmiliseks nimetada. See on täiesti maise päritoluga. Kui poleks atmosfääri, poleks ka neid kiiri: esmastel kosmosest tulnud osakestel poleks kellegagi teel kokku põrgata. Aga teisest küljest, kui poleks primaarkiirgust, kui see ei tungiks maailmaruumi sügavusest meieni, kust tuleksid Maa atmosfääri kolossaalse energiaga osakesed? Aga just sellised hiiglasuurte kiirusteni kihutatud osakesed suudavad lihtsa kokkupõrkeakti muuta uute osakeste sündimise imeks. Sekundaarkiirgusel oleks nagu kaks kodakondsust: kosmiline ja maine. Kosmos annab vasara, Maa — alasi, sädemed on sekundaarsed kiired.

Meie päevil on füüsikud kosmose osa enda peale võtnud, luues laetud osakeste kunstlikud, maised kiirendajad. On tähelepanuväärne, et nad julgesid seda teha, teadmata, kuidas kiirendatakse prootoneid ja teisi tuumi kosmoses: lõplikku vastust sellele küsimusele pole seniajani.

Kosmiline primaarkiirgus sarnaneb tugeva, kuid hõreda vihmaga. Sekundaarkiirgus on nagu vihmavaling. Selle sõna võttis teaduses kasutusele Patrick Blackett kolmekümnendate aastate algul. Kuid sekundaarkiirguse risti-

isaks oleks veel varem võinud saada meie akadeemik D. N. Skobeltsõn. Neli aastat enne Blackettit pildistas ta esmakordselt sekundaarkiirte jälgi Wilsoni udukambris. Skobeltsõn töötas tookord koos Pierre Auger'ga, kes hiljem oma raamatus teravmeelselt tähendas, et nimetuses «valing» kajastus termini inglise päritolu — «see sobib väga vihmase Inglismaaga». «Päikesepaistelisel Prantsusmaal,» lisas Auger, «nimetame üheaegselt ilmuvate osakeste kimpe vihkudeks.» Vene füüsik oleks võinud neid nimetada nii valinguteks, vihkudeks, tuisuks kui ka langevateks tähtedeks: ääretul Venemaal jätkuks tavalisi loodusnähtusi igale maitsele.

Nõukogude füüsikud uurivad kosmilisi kiiri väsimatult juba üle kolmekümne aasta. Laboratoorium Aragatsil on üks selle suure teadusliku töö keskusi. Me võiksime igaühte neist ekskursioonile minna. Miks tõi siis uudishimu meid Aragatsile?

Mäed... 3250 meetrit... Pilved... Metsikud kaljud... Asustamata paigad... Ühesõnaga, «seiklusvaim». Kuid siiski pole see peamine.

Leiame ju kosmiliste kiirte jaamadest Gruusias ja Pamiiris samuti mägesid, pilvi ja seiklusvaimu... Ja kindlaid edusamme — ilma eriliste ebaõnnestumisteta. Aragatsi jaam on ainuke omataoline: pikki aastaid tegeles ta vahetpidamata just kosmiliste kiirte koostise uurimisega. Seal kõitsid need kiired füüsikute tähelepanu ja lootusi eelkõige kui looduslik laboratoorium, kus võis avastada palju mateeria elementaarosakesi. Aragatsiga, lootuste ja pettumuste mäega, on seotud dramaatiline peatükk niisuguste avastuste ajaloos. Seda teaduslike otsingute dramatismi tasub mõista ja hinnata.

Lootustest ja pettumustest on tulvil iga teaduse ajalugu. Miks oleks pidanud või saanud neid vältida teadus, mis õpib tundma kõige väiksemat ja kättesaamatumat kõigest, mida looduses tuntakse?

TEINE PEATÜKK

- **Teekond minevikuta linna.**
- **Kust on pärit see üleüldine huvi?**
- **Õigete võrdluste otsingud.**
- **Kummaline tühjus.**
- **Aine ja väljad.**
- **«Te peate selle kindlasti meelde tuletama!»**
- **Laskevaimis tuumaling.**
- **Ohtliku välkude taltsutamise asemel.**
- **Keskendatuse linnas.**
- **Niisugune on juba kord inimese loomus.**
- **Dubnas luuakse «mateeria algaluseid».**

Aga veel varem, talve lõpupoole, oli mul õnn sõita Moskva-lähedasse Dubna linna ikka sellesama vastupandamatu tungi rahuldamiseks: vaatama, kuidas nähtamatu ja kuuldamatu muutub ilmseks.

Auto lendas edasi mööda laitmatut asfalti. Maantee lõikus läbi igipõliste Vene maa-alade: kaheksasaja-aastasest Moskvast sõitsime mööda ammuaegset teed Dmitrovi suunas, mis on pealinnast veel vanem.

Valge tasase maa kohal puhkas valkjashall taevalagendik. Põlde kattis alles lumi: aprilli algus on Moskva ümbruses veel täiesti talvine aeg. Kuid selle argliku, lõunamaisest erineva aprilli maastikus oli tumedat värvi niisama palju kui heledat: nii täis ehitatud on Moskva ümbruskond. Tumedad ei olnud mitte ainult metsad põldude taga ja külad põldude vahel. Mustendasid vabrikukorstnate

kauged siluetid ja vanaaegsete kloostrite ähmased kontuurid. Mustade tornidena kõrgusid lagendiku kohal Moskva kanali lüüsiehitused. Muinasaeg kippus vägisi tänapäeva varju kaduma. Aga nii selles, mis kuulus minevikku, kui ka selles, mis kajastas kaasaega, oli kõik maine, silmale tavaline.

Ka asfalti ümbritsev loodus ei hämmastanud oma hiiglaslikkusega ega hirmutanud ligipääsmatusega. Vastupidi, see oli rahulik, kodune, ammust ajast ja alatiseks sisse elatud.

Siin peaks ka meeleolu olema igapäevane ja taltsas. Kuid ei, siingi osutus see veidi pidulikuks ja tiivustatuks. Mispärast? Ikka samal põhjusel: eelaimusest, et ees ootab kohtumine kõrgustega, kus hing jääb kinni.

Põline tee viis nüüd ühte maailma noorimasse linna. Juba kodus uurisin ma Moskva ümbruse kaarti. Sinna polnud seda linna märgitud. Kuid metsast saart, mida ümbritsevad Volga, Sestra, Dubna ja kanali veed, polnud raske leida. Ja ma nägin, et ida pool sellest saarest asub Taldom, lõuna pool Verbilki ja Dmitrov, läänes Konakovo ja Jurjevo-Devitšje, põhja pool Kimrõ. Kõigil neil paikadel on tähelepanuväärne minevik, ähmaselt meeles veel ajaloost, või nad on ammust ajast tuntud oma osavate meistrite poolest. Neist hoovas vanade aegade raamatulikku hõngu. Ja kuidagi ebateadlikult tegi lõbu mõte, et muististe ringi keskpunktis, muinasjutulises männimetsas ja pealegi saarel, elab linn, millel sisuliselt pole olemas minevikku ning on ainult tulevik.

Meie päevil, mil inimesed asustavad isegi Maa poolusi, on küllalt raske teha maateaduses nime uudsuse ja noorusega. Aga noorel Dubnal see õnnestus. Huvi tolle tuumafüüsika linna vastu on praegu juba üldine.

Millest see siis tuleb?

● Maailma suurima laetud osakeste kiirendaja fotod on ilmunud mõlema poolkera kõigi ajalehtede ja ajakirjade külgedel. Masin, mis ei tooda grammigi materiaalseid väärtusi, on saanud kuulsamaks kui kõige suurema toodanguga tehased. Pealegi juhtus nii veel enne seda, kui masin tegelikult tööd alustas. Kas tõesti on kõik tingitud suurusjärgust — ülivõrdest «suurim kiirendaja»?

Muidugi on meie loomuses imetleda kõike kõige suuremat või kõige väiksemat, kõige vanemat või kõige uuemat,

üldse kõike, mille ees käib sõna «kõige»!... Võrdlemisi hiljuti ilmutas üks Iirimaa õllefirma, mis agentuuride ulatuselt maailmamastaapi kuulub, haruldast leidlikkust reklaami alal: nende jaoks, kes on valmis õllekruusi taga tundide kaupa igasugusest tühjast-tähjast lobisema, andis firma välja soliidse teatmiku «Ülivõrre». Kellel on kõige pikem habe? (Ühel Kanada metsaraiujal — üle kolme meetri.) Kõige lühem perekonnanimi... Kõige võimsam hüdroelektrijaam... Ükskõik mis, peaasi et «kõige»!

Raamat on põnev. Ja hakkad tahtmatult mõtlema, et siin on mõistetud üht inimese tõelist vajadust. Igaühe elu on piiratud ajas, aga keha ruumis. Ja meie füüsiline olelus kulgeb kindlate keskmiste normide maailmas. Kuid teadvus, mis teeb inimese inimeseks, rebib end lahti neist piiratuse kütkeist. Muinasjuttude ja müütide nimetud autorid tajusid seda salajas. Looming on keerukam imetlusest, kuid imetlus on nähtavasti üks selle algeist. Imetlus on kõige lihtsam ja kergem väljapääs tavalisest, keskmisest, seiskunust. Ja nagu naeratuski, on ta nähtavasti omane ainult inimesele.

Teatmikus «Ülivõrre» on nimetatud ka maailma suurim kiirendaja, Dubna 10-miljardine sünkrofasotron. Muidugi ka kanadalase kolmemeetrine habe on imetlusväärne asi: 36 aasta vältel sooritas inimene kannatlikkuse ja kasimatuse kangelasteo. Kuid teadusliku mõtte paindlikkus ja insenerikavatsuse hiiglasuurus on kuidagi lugupidamisväärsemad, eks ole?

Ja vaat mis veel pähe tuli. Reklaamil on tarvis vallutada kogu maailma lihtsate inimeste südamed. Tähendab, vaidlejate etteütleja väljaandjad olid kindlad, et tänapäeval võib igas maailma nurgas, sadamakõrtsis või maanteeäärses joogimajas väga lihtsalt tekkida vaidlus: «Aga missugune on kõige suurem kiirendaja maa peal?»*

See on juba tõepoolest tähelepanuväärne!

Dubna masin sai ühekorraga kuulsaks mitte ainult seepärast, et ta on suurim, vaid seepärast, et ta on aatomiosakeste kiirendaja. Kui kehvasti ka paljud inimesed

* Viiekümnendate aastate teisel poolel oli Dubna sünkrofasotron tõepoolest suurim maailmas. 1959. aasta lõpul hakkas Šveitsis tööle 28 miljardi elektronvoldine kiirendaja, mis on ehitatud paljude riikide summadega. Veel hiljem — 33 miljardi elektronvoldine Brookhavenis. Meil aga lastakse lähemas tulevikus käiku kiirendaja, mille võimsus on 70 miljardit elektronvolti (Serpuhhovos).

ei kujutle, mis asi on kiirendaja ja milleks ta on vajalik, teavad kõik — eranditult! —, et see on masin, millega aatomiuurijad teevad midagi tähtsat. Aga nende tööga on seotud ka meie sajandi sügavaim «aatomipessimism» ja tänapäeva tehnilise progressi kõige ohjeldamatum «aatomioptimism». Selle pessimismi ja selle optimismi vahel käib praegu ajalooline vaidlus.

Üldine huvi Dubna vastu kajastab üldinimlikku huvi selle teaduse tuleviku vastu, mis on muutunud nii reaalseks — ohtlikuks ja lootustäratavaks! — ajaloojõuks. Selles ongi kogu asi.

● Mille kõigega pole küll kiirendajaid võrreldud, et teha nende konstruktsiooni põhimõte igaühele arusaadavaks! Karusselliga, grammofoniplaadiga, tsirkuseareeniga ja linguga.

Ameerika füüsik Ralph Lapp tegi lugejale ettepaneku kujutleda karussellil kihutavat poisikest, kes ikka ja jälle pealtvaatajast möödudes tõmbab iga kord väljasirutatud käega oma ohvri taskust sajadollarise paberraha, kuni saab miljonäriks. «Täiesti uskumatu juhus!» tähendab Lapp sulgudes. «Võrdlus, mis vaevalt midagi selgitab,» võiks lisada. Kuid võrdluste ülesanne polegi selgitada. Lappi väike vargapoiss ja aega surnuks lööv rikas pealtvaataja pole tõsine pilt, vaid naljatlev illustratsioon. Nii võiksid kaks nukku Obraztsovi teatris etendada stseeni «Kiirendajal».

Esimesel Genfi konverentsil aatomienergia rahuotstarbelise kasutamise küsimuses, kui kõigi maade inimesed nii väga tahtsid teada, millest teadlased seal räägivad, otsis üks peamisi Dubna masina loojaid akadeemik V. I. Veksler koos kirjanik V. Orloviga mõnd eluliselt mõistetavat võrdlust kiirendaja jaoks. Tookord, 1955. aastal, tehti andmed Dubna gigandi kohta esmakordselt üldteatavaks: kiirendatud osakeste energia — 10 miljardit elektronvolti, teeraja diameeter — 60 meetrit, magneti kaal — 36 000 tonni. Kuid Veksler ja tema vestluskaaslane ei otsinud võrdlust sünkrofasotroni mastaabi või tema konstruktsiooni põhimõtteliste iseärasuste jaoks, vaid ainult niisuguste masinate ehituse üldidee, kõige üldisema põhimõtte tarvis.

Nad jäid peatuma võrdlusel tsirkuseareeni või maneežiga. Mööda ringteed jookseb hobune, keskel aga seisab

treener piitsaga. Piitsalöök — ja hobune sööstab kiiremini edasi. Ring on läbi, uus piitsalöök — ja jälle kasvab kiirus. See kordub uuesti ja uuesti, kuni hobune hakkab jooksma vajaliku kiirusega.

Muidugi on õnnetu hobune ja armutu treenergi ainult illustratsioon, kuid loomulikum Lappi väljamõeldisest.

Kõige selgem peaks aga olema võrdlus linguga. Seda algelist relva kasutavad seniajani jahimehed Aasia, Aafrika ja Austraalia kaugetes nurkades. Pikk, tugev, keskelt laiem nahkrihm. Laiemasse ossa paigutatakse kivi, rihm painutatakse kahekorra ja jahimees võtab mõlemad otsad pihku. Siis hakkab ta seda pea kohal keerutama, iga ringiga üha kiiremini. Kivi püüab minema lennata, kuid rihm hoiab teda kinni ja lingu kiirus kasvab üha. Lõpuks saabub hetk, mil jahimees laseb rihma ühe otsa lahti ning kivi sööstab ringteelt välja, et mööda sirgjoont liikudes kohutava jõuga eemal asuvat sihtmärki tabada.

Kõigis neis võrdlustes on kerge märgata vähemalt kolme ühist joont. Esiteks, miski liigub mööda ringjoont: poiss, hobune, kivi. Teiseks, see miski saab liikudes midagi juurde: poiss raha, hobune ja kivi kiirust. Kolmandaks ei saa nad seda juurde mitte pidevalt, vaid teatud momentidel, suhteliselt väikestes kogustes: poiss näppab pealtvaatajast möödudes saja dollari kaupa ja et miljonäriks saada, tuleb tal vähemalt kümme tuhat korda sel kombel talitada; hobune kiirendab jooksu piitsaplaksude peale; kivi hakkab kiiremini tiirlema järjestikuste käetõmmete mõjul.

Ja nüüd — kiirendaja.

● Kiirendajas tiirlevad elektriliselt laetud osakesed. Need võivad olla negatiivsed elektronid või positiivsed prootonid, ioonid või aatomituumad. Kuid nad ei saa olla aatomid — viimased on neutraalsed.

Niisiis, laetud osakesed etendavad kiirendajas karussellil sõitva poisi, maneežis jooksva hobuse või lingukivi osa. Aga see, mille võrra nad oma ringteel rikkamaks saavad, on liikumisenergia. Ja loomulikult peab olema allikas, mis neid sellega varustab.

Dubna gigandi tüüpi kiirendajates lendavad osakesed ringikujulises kambris, mida võrreldakse mõnikord rõngassaiaga, kuid see on võrdluseks liiga jäme. Niisugune kamber meenutab märksa rohkem suurt jalgrattakummi.

Tõsi, sellisel jalgrattal võiks sõita ainult hiiglasekasvu poiss, Šabolovo masti kõrgune, aga ka nii suure rõngassaia tarvis peaks olema Eiffeli torni suuruse isuga sööja, kui sel kombel tohib väljenduda.

Kiirendaja kambri külge on end imenud palju täiuslikke pumpasid. Need pumpavad sealt välja kõik gaasid: osakeste teelt koristatakse võimalikult kõik takistused. Osakesed lendavad tühjuses.

Aga kui järele mõelda, siis on sel tühjusel päris kummalised omadused. Sest seal, kus midagi pole, ei tohiks ka mitte midagi juhtuda. Aga samal ajal juhtub kiirendaja tühjas kambris lendavate osakestega vähemalt kaks asja: miski nähtamatu piitsutab neid korrapäraste vaheaegadega tagant, sundides liikuma üha kiiremini, ja miski, samuti nähtamatu, hoiab neid kogu aeg kammitsas, sundides osakesi lendama mööda ringjoont ja takistades neid kambri seintesse tungimast.

Tuleb välja, et kamber ei olegi päris tühi? Kahtlemata. Õige küll, seal pole või peaaegu pole kõrvalisi ainekübemeid — see sõltub neid välja imevate pumpade täiuslikkusest. Kuid kambris on miski, mida ei saa mingite mehhaaniliste pumpadega välja imeda. Veel enam, seda miskit «pumbatakse» kogu aeg juurde, kuid samuti mitte mehhaaniliste vahenditega.

● Kõiksust moodustav mateeria eksisteerib ka muul kujul kui ainena. Valgus või raadiolaine pole ainelised, kuid nad on materiaalsed. Kui nad oleksid eimiski, kas oleks siis vaja kulutada midagi nende loomiseks? Miks neelaksid siis elektrijaamad sütt, vanaaegsed lambid aga õli?

Sukeldudes elementaarosakeste maailma, näed, kuidas seal toimuvad lihtsalt imed: ainekübemed muutuvad jäägitult kiirguseks. Muidugi näivad sellised sündmused hämmastavana, kuid mis on neis imelist? Kaob aine, kuid mitte mateeria! Mateeria üks vorm muundub ainult teiseks, sellistes muundumistes pole aga mitte midagi võimatut, üleloomulikku ega saatanlikku. Tõepoolest, pole midagi tavalisemat: igavesed muundumised on looduse elu ise.

Peale aine, või õieti öelda, koos ainega täidavad ruumi jõuväljad. Gravitatsiooniväli, elektromagnetiline väli, tuumajõudude väli... Miks jõu? Miks väljad?

Aga miks — aine? Nähtavasti seepärast, et sellest mateeria vormist voolib loodus e s e m e i d, kehi, mis on ruumis enam või vähem piiratud. Loodust edukalt jäljendades valmistab neid ainest ka inimene. Mateeria oma teises kujus selleks ei kõlba: raadiolainetest või gravitatsioonivälјadest asju valmistada ei saa, neil nagu ruumilgi pole omaenda piire.

Muidugi ei räägi füüsikud ainest ja väljadest nii vabades ja ebarangetes väljendustes. Kuid enamike teaduslike mõistete päritolu on niisama vaba ja ebatõsine. Meie tähesaart maailmaruumi ookeanis nimetavad astronoomid Galaktikaks. Kui teaduslik sõna! Aga kreeka keeles tähendab «galaktikos» kõigest «piimane». Need polnud üldse astronoomid, kes nimetasid öösiti meie kohal helendava tähistee Piimateeks.* Kuid teadlased võtsid selle nimetuse oma spetsiaalsesse sõnavarra. Põhjuseks oli lihtsalt sarnasus, suur sarnasus. Ja kosmiliste osakeste «valingud» või «vihud» kirjeldavad nähtust ka suurepäraselt. Nii on tulnud nimetus «väljad» — samuti väga sarnane! Poeetilise metafoori muutumine teaduslikuks terminiks pole erand, vaid reegel. Ja selles ilmnevadki luule ja teaduse sugulusjooned, see ühine omadus, et nad mõlemad on reaalsuse inimliku tunnetamise eri vormid.

Ruum Maa, tähtede, kõigi ainekübemete ümber on nagu viljakas põld, mida on harinud loodus ja täis külvanud gravitatsioon. Ja sellel piiritul väljal pole põllupeenraid, ajutiselt tühjaks jäetud sööte ega uudismaad — kõik on üles haritud: aine ise on külvanud seda materiaalset o'emust, mida ladina keeles nimetatakse gravitatsiooniks ja meie keeles külgetõmbejõuks.

Tühja ruumi ei ole. Pole ka tühja aega. Materiaalne maailm täidab oma eksistentsiga niihästi aja kui ruumi. Ja kas on üldse õige öelda — täidab? Võib mõelda, et keegi ehitas kunagi mateeria'e maja, riputas kella seinale ja kutsus ta sellesse majja alatiseks elama. Tänapäeval ei rõõmustaks see idee isegi Rooma paavsti. Koguni koolipoisid otsustaksid, et see on tühi loba, igav muinasjutt titade jaoks.

Oma maja, maailmaruumi, ehitavad aine ja väljad ise. Ruum ja aeg pole sugugi mateeriavälised o'emisvormid. Mateeria dikteerib nende omadused, Einstein avastas

---

* Linnutee rahvusvaheline nimetus.

selle, näidates, et ei leidu ühtset aegruumi, mis oleks ühine k o g u maailmaruumile.

Nagu kõik materiaalne, nii võivad väljad sisaldada rohkem või vähem mateeriat; nagu ainegi, võivad nad olla eri kohtades erineva tihedusega ja see tihedus võib aja jooksul muutuda. Kuid kõigil juhtudel osutavad väljad ainekübemekestele suurima teene: nad hävitavad tühjuse nende vahel, seovad neid kübemekesi üksteisega, võimaldavad neil vastastikust mõju avaldada. Seepärast nimetatigi neid j õ u v ä l j a d e k s.

Kui üksikud ja abitud oleksid aineosakesed, kui maailmas poleks jõuvälju! Nende olemasolu muutuks võimatuks, aga neist koosnevat maailma ei saaks isegi kujutleda. Ilma gravitatsiooniväljadeta ei seoks miski tähti galaktikateks, ainet ennast aga tähtedeks. Ei oleks päikesesüsteemi, Päikest ennast, planeete ega ka meie väikest ja tublit Maad. Kõik kehad lakkaksid üldse olemast, sest ilma elektri- ja magnetväljadeta ei seoks miski aatomeid molekulideks ning elektrone ja tuumi aatomeiks. Ei oleks ka aatomituumi: tuumajõudude välja puudumine muudaks kõik prootonid ja neutronid täiesti vabadeks. Kuid see vabadus oleks sisutu: tuumaosakesed ei saaks seda kasutada millekski muuks kui ühetooniliseks lennuks inertsi mõjul. Kui aga juba tõsiselt rääkida, siis lakkaks niihästi tuumaosakeste kui elektronide iseseisev eksisteerimine; seisab ju see, millest nad on ehitatud, koos samuti tänu mingitele jõuväljadele. Ja kui poleks m i t t e m i n g e i d jõuvälju, siis poleks ka seda seost.

Selliseid arutlusi jätkates jõuaksime ainsale võimalikule järeldusele: ilma väljadeta oleks mõeldamatu üks-kõik milliste, isegi kõige väiksemate ainekübemekeste olemasolu, sest miski ei seoks mateeriat nendeks moodustisteks, mida me nimetame füüsikalisteks kehadeks, kübemeteks või osakesteks. Mis siis välja tuleb? Oletades, et pole välju, jõuame järeldusele, et pole ka ainet. Aga kui pole ainet ja pole välju, siis pole mateeriat ennastki, mitte midagi ei ole: pole kõiksust, pole aega ega ruumi.

Isegi paadunuim filosoof-solipsist ei riskeeriks niisuguse asjaga nõustuda, sest see tähendaks, et ka teda ennast ei ole, l i h t s a l t e i o l e! Kuid kuna maailm ikkagi o n o l e m a s, siis o n o l e m a s ka need, kes eitavad tema kõikjale küündivat materiaalset olemust, see tähendab välju, kui mateeria hädavajalikku olemisvormi.

Aga selgeid ja kindlaid piire väljade ning aine vahel tõepoolest ei ole. Nad lähevad teineteiseks üle. Ja võib-olla on aineosakesed ainult väljade k o n t s e n t r a a t? Ehk võib-olla... Kuid peatugem.

On kahju lahkuda sellest füüsikas võib-olla peamisest teemast, kuid tuleb kiirendaja juurde tagasi pöörduda ja pilk tema kambri tühjusse heita. Sellest näilisest tühjusest saigi kogu jutt alguse.

● Inimene on õppinud allutama endale niihästi ainet kui ka välju. Võim aine üle on silmanähtav. Kõik inimkätega tehtu, kivikirvest alates ja tehiskaaslastega lõpetades, on selle võimu väljendus. Aga võim väljade üle? Kas see ilmneb niisama selgelt ja vaieldamatult?

Jah, ja see pole noorem. Esimene lingukivi, mis osavalt kaugel asuva uluki pihta lennutati, andis tunnistust, et inimene on Maa gravitatsioonivälja oma teenistusse rakendanud. Esimene lõke, mis süüdati koopas, selleks et valgustada ta soppe või soojendada seda kui ööbimispaika, ilmutas inimese samasugust teadmatut võimu valgus- ja soojuskiirguse elektromagnetilise välja üle.

Muidugi oli see võim esialgu niisama illusoorne nagu inimese võim merestiihia üle, siis, kui ta, vaevu ujuma õppinud, ei upu, vaid hoiab end vee peal. Tänapäevalgi on see võim väljade üle kaugel fantastide unistustest.

Poola kirjanik Stanislaw Lem kujutas masinat, mis loob nii võimsa gravitatsioonivälja, et valguskiired painduvad selles ja inimene muutub masina välja piirkonda sattudes nähtamatuks: temalt peegeldunud kiired ei jõua paindumise tõttu isegi lähedase vaatlejani. Huvitav kujutlus. Lem aga ei suudaks isegi vihjata, kuidas mõtet teoks teha.

Kuid masinaid, kus on loodud ja töötavad elektromagnetilised väljad, ehitab inimene juba praegu vaimustava leidlikkuse ja suure täiuslikkusega. Dubna sünkrofasotron on üks niisuguseid suurepäraseid kaasaegseid masinaid.

Kiirendaja kambrist pumbatakse aine välja, et kiirendatavate osakeste energiat ei läheks kokkupõrkeis kõrvaliste osakestega asjatult kaotsi. Kambrisse «pumbatakse sisse» aga välju: kahele väikesele lõigule elektrivälja, laetud voo kogu ülejäänud ringteele aga magnetvälja.

Kui jätkata võrdlust jalgrattakummiga, siis võiks öelda, et elektrivälja alad sarnanevad väliselt teist värvi

kummist rõngastega, mida lapsed kleebivad läbitorgatud kohtadele. Neid vööte nimetatakse elektrotehnika keeles kiirendavateks kontuurideks. Nad paiknevad mingi diameetri vastasotstes, nii et iga poole ringi tagant saavad osakesed täiendava annuse energiat. Elektrivälja lõigud etendavadki kiirendajas rikka, dollareid läbilööva logardi, tagantkihutava piitsa või tõmbava käe osa.

Just seepärast, et kiirendatavaile osakestele annab energiat elektriväli, peavad need osakesed tingimata olema laetud. Kuid mis tähendab olla laetud?

Kas mäletate anekdooti üliõpilasest, kelle käest professor küsis, mis on elekter? «Ah, pagan võtaks, unustasin! Alles hommikul oli meeles,» vastas üliõpilane. «Te peate selle kindlasti meelde tuletama,» sõnas professor. «Muidu oli maailmas üks inimene, kes teadis, mis on elekter, ja seegi unustas ära!»

See vana anekdoot ei vanane. Tänapäeva teadus elektrinähtustest — see on paksud raamatutäied ülitarkust, kaasaja tehnika närvisüsteem. Kuid lihtne küsimus — mis on elektrilaeng? — jääb vastuseta. Kuidas ta «välja näeb», seda ei tea keegi.

«Ma palun teid ära kuulata eksperimentaatori vastus põhilisele ja sageli esitatavale küsimusele: mis on elekter? Vastus on naiivne, kuid samal ajal lihtne ja kindlapiiriline. Eksperimentaator konstateerib kõigepealt, et elektri lõplikust olemusest ei tea ta midagi,» nii ütles Nobeli preemia saamise puhul peetud kõnes kuulus Robert Millikan, kes kaalus ära elektroni. Aga teoreetik Hermann Weill lausus kord: «Erinevus mõlema elektriliigi vahel kujutab endast veel sügavamat loodusesaladust kui erinevus mineviku ja tuleviku vahel.»

Täiesti eksimatult võib öelda ainult üht: olla laetud tähendab luua enda ümber ja kanda ruumis endaga kaasas elektrivälja.

Kõik vastasmõjud looduses teostuvad nähtavasti väljade abil. Laetud osakestel on omaenda elektriväli ja nähtavasti seepärast saabki neile mõjuda väline väli. Kahes kohas pumbatakse seda kiirendaja kambrisse omapäraste pumpadega, masinatega, mis toodavad kõrge sagedusega vahelduvvoolu. Vool toobki endaga kiirendusvööndite juurde kaasa vajaliku elektrivälja, sellega koos aga ka vajaliku energia.

Mis siis juhtub osakestega kiirenduslõikudel? Umbes

sama mis kivikestega mäevaringul: allapoole langedes omandavad nad seda suurema kiiruse, mida kõrgem on mägi. «Langemiskõrgust» elektriväljas saab mõõta mitmesugustes ühikutes, kuid kõige lihtsam on seda mõõta voltides. 127 või 220 voldi kõrguselt langemise lõpuks on iga elektron saanud 127 või 220 elektronvoldi suuruse energia. Selle energia arvel sooritavadki meie majades juhtmeid mööda jooksvad elektronid kasulikku tööd: kuumutavad hõõgniiti lambipirnides või elektripliitide spiraale, toidavad raadioaparaate või külmutuskappide mootoreid.

Kiirendaja kambris on elektrimäed (see kujund kuulub teadlasele ja kirjanikule, kadunud G. I. Babatile) märksa kõrgemad kui meie elektrivõrgus. Kaks korda ühe tiiru jooksul satuvad osakesed järskudele elektrilangustele, iga «langemine» suurendab osakeste energiat tuhande elektronvoldi võrra. Täistiiruga — 2000, miljoni tiiruga — 2 000 000 000 elektronvolti. Ja lõpuks, pärast seda kui nad on kambri ringteel kihutanud 5 000 000 korda ning sooritanud 10 000 000 langust, on osakeste energia paisunud 10 000 000 000 elektronvoldini.

Selle tee pikkus on ligikaudu 200 m. 5 000 000 tiiruga lendavad osakesed läbi peaaegu miljon kilomeetrit — 25 ümbermaailmareisi mööda ekvaatorit. Pikk tee. Kui palju aega see siis osakestelt võtab? Kui kaua on füüsikud sunnitud ootama hetke, mil kambrisse surutud osakesed lõpuks vajaliku energia omandavad?

Tehiskaaslaste kiirus tundub maiste mastaapide järgi hiiglasuurena — 8 kilomeetrit sekundis. Kui osakestel kiirendajas oleks niisugune kiirus, siis kuluks neil miljoni kilomeetri läbimiseks 125 000 sekundit — üle 2000 minuti — 34 tundi. Kiirendaja oleks ling, mis laseks üks kord poolteise ööpäeva kestel. Sellise linguga ei tasuks edukast jahist mõeldagi. Kuid kiirused, mis suurte kehade maailmas tunduvad kolossaalsetena, näiksid elementaarosakeste maailmas täiesti tühistena.

Kaheksa kilomeetrit sekundis? Tühi asi!

Kui tehiskaaslane lennutatakse orbiidile selle meie kujutlust rabava kiirusega, tuleb iga tema aine grammi kohta tõepoolest grandioosne suurus — 10 kahekümne nelja nulliga ehk triljon triljonit elektronvolti energiat. Kuid igas grammis on ligikaudu niisama palju, triljon triljonit tuumaosakest — prootonit ja neutronit. Ja tuleb välja, et isegi tehiskaaslase kosmilise kiirusega lend annab

igale tuumaosakesele umbkaudu ühe elektronvoldi energiat. Mikromaailma vaatepunktist kerjuslik portsjon.

Dubna kiirendajast väljuvad prootonid kambrist tõeliste miljardäridena ja seepärast lendavad nad, erinevalt sputnikuist, valguse kiirusele väga lähedase kiirusega, läbides ligikaudu 300 000 kilomeetrit sekundis. Niisuguse energiaga startinud kosmoselaev lakkaks kohe olemast Maa tehiskaaslane: sekundist veidi pikema aja vältel mööduks ta Kuust, pisut rohkem kui kaheksa minutiga väljuks päikesesüsteemist, nelja aasta pärast aga läheneks juba alfale Kentauri tähekujus, meie lähimale tähele, saades esimeseks galaktikalaevaks. Kuid unistusi sellistest kiirustest saab seni realiseerida vaid pisimate ainekübemete vallas, kus kosmoselaevukesed on nii väikesed, nii kerged, et ühegrammisesse tuutusse võiks neid puistata triljoneid ja triljoneid. Sellepärast et nad nii kaalutud on, õnnestubki neid kihutada peaaegu valguse kiiruseni, kõige suuremani looduses võimalikest füüsikalistest kiirustest.

Kaduvväiksed mõõtmed ja massid koos kujuteldamatult suurte kiirustega muudavad elementaarosakeste maailma hoopis erinevaks maiste asjade raskepärasest ja aeglasest maailmast, milles elame ja liigume meie, inimesed.

Kogu miljon kilomeetri pikkuse teekonna, kõik 25 ümbermaailmareisi kiirendaja kambris, sooritavad prootonid mitte 34 tunniga, vaid kolme ja ühe kolmandiku sekundiga. Dubna sünkrofasotron on alaliselt laskevalmis ling.

● Siin võiks esialgu peatuda, kuid tuleb täita veel üks haigutav tühik: pole öeldud sõnagi magnetväljast, mis koos elektriväljaga täidab kiirendaja kambrit. Saavad ju osakesed ainult kahel lühikesel lõigul — elektrimäest alla kukkudes — kiirust juurde, kogu nende ülejäänud tee kambris kulgeb aga magnetväljas. Milleks seda vaja on? Milleks on tarvis ringmagnetit kaaluga 36 000 tonni, mis nagu raskekaalulise isekallutaja kärniline rattakumm ümbritseb tihedalt kiirendaja õhukest jalgrattakummitaolist kambrit?

Magnetväli etendab karusselli osa, millel tiirutab dollareid näppav siivutu poisiklutt; areeni ringikujulise tara osa, mis sunnib hobust mööda ringi jooksma; lingu osa, mis kivi kõvasti kinni hoiab, laskmata teda enneaegu ring-

teelt välja lennata. Magnetväli hoiab laetud osakesi kütkes; elektriväli kihutab neid edasi, magnetväli aga kallutab kogu aeg kõrvale. Ilma selleta tungiksid osakesed otsekohe kambri seintesse ja siis läheksid kõik jõupingutused kaotsi: osakesed kaoksid jäljetult! Magnetväli ei rikasta prootoneid energiaga, kuid ta sunnib neid iga poolringi järel kiirendusallikate, elektrivälja vööndite juurde tagasi pöörduma. Ilma magnetita on ringkiirendaja mõeldamatu.

Kui esmakordselt kuuled Dubna unikaalse hiiglamagneti tagasihoidlikust ülesandest, kerkib tahtmatult küsimus: aga miks ajada osakesi mööda ringjoont? Kas ei saaks korraldada nii, et nad lihtsalt langeksid mööda sirget elektrimäest alla ja sellise sirgjoonelise langemise lõpuks saavutaksid vajaliku kiirenduse?

Füüsik on kohe nõus: täiesti õige idee. Kogu raskus peitub selles, et siis oleks vaja luua 10 000 000 000 voldi kõrgune mägi. Teiste sõnadega, oleks vaja luua tuhat korda võimsam elektriväli kui väljad äikesepilvedes, mis kutsuvad esile äikeselahendusi. See oleks mäng ülikoletislike välkudega. Kuid pole just raske ära arvata, et füüsikud, keda miski ega kunagi pole suutnud kohutada, on ka selle tee ära proovinud. «Seiklusvaim»!

Kolmkümmend aastat vanades ajakirjades võib leida teateid teadlaste katseist taltsutada atmosfääri elektrivälju mägedes prootonite kiirendamiseks. Traagiline on teaduse ajaloos alati kõrvu heroilisega. Ühel sellisel katsel sai Alpides surma füüsik Kurt Urban.

Kuid asi pole hädaohtudes, vaid selles, et teine suure energiaga osakeste, maapealsete kosmiliste osakeste loomise tee osutus perspektiivsemaks. See tee on meile juba tuttav: suurendada osakeste energiat mitte korraga, vaid portsjonite kaupa. Võib teha nii, et nad ei langeks otse nagu järsust elektrimäest, vaid mööda treppi, astmeliselt, pikal teel oma energiat vähehaaval suurendades. Selliseid, tõsi küll, mitte väga võimsaid lineaarkiirendajaid on paljudes laboratooriumides. Ka Dubnas kiirendatakse prootonid algul sirges torus 8 000 000 elektronvoldini ning alles seejärel pritsitakse ringkambrisse. Kuid nüüd hakatakse juba ka niisugustel lineaarkiirendajatel saama osakesi-miljardäre. Tuntud füüsik Panofsky ehitab Ameerikas seesugust masinat elektronide kiirendamiseks, seadme pikkuseks tuleb ligemale kaks miili.

Võib toimida ka teisiti: kiirendada osakesi mitte kohutavalt pika trepi abil, vaid neid sadu, tuhandeid, miljoneid kordi tagasi tuues tagasihoidliku vooluallika, suhteliselt väikese pingega elektrivälja juurde. Aga osakesi ühte ja samasse kohta tagasi tuua on kõige loomulikum ringliikumise teel. Siin kulusidki magnetvälja omadused marjaks ära.

Nimelt erinevad liikuvad laetud osakesed paigalseisvaist. Ja nad erinevad väga tähtsa omaduse poolest: liikuvad laengud loovad endi ümber mitte ainult elektri-, vaid ka magnetvälja. Kui see aga nii on, siis võib neil olla vastasmõju magnetiga. Magnetväli on selliste osakeste lõks: ta püüab neid oma piirest mitte välja lasta.

Ringmagneti väli sunnib osakesi mööda ringjoont lendama. Kuid mida kiiremini nad lendavad, seda raskem on magnetväljal nendega toime tulla, seda tugevam peab ta olema. Seepärast ongi Dubna magnet nii suur. Seepärast on tema ehitus niisugune, et vastavalt osakeste kiiruse kasvule kasvab ka magnetväli. Seda nagu tõepoolest pumbataks kustki kiirendaja kambri tühjusse. Omapäraseks pumbaks on aga magnet kaaluga 36 000 tonni.

● Mööda laitmatut asfalti Dubna poole kihutavas autos õõtsudes vestlesime ees ootavast hästi informeeritud inimeste toonil. See on esmakordselt kuulsatesse paikadesse sõitvate uustulnukate tavaline patt. Just seepärast, et ees ootavad kuulsad kohad, on igaüks neist juba midagi kuulnud, midagi lugenud, kuskil mingeid fotosid näinud. Kõige raskem on tunnistada, et sõidad sinna esmakordselt. Väike enesearmastus. Ainus lohutus on, et see ei puudu ka sinu kaaslastel. Ja algab jutuvada.

«See on nagu tempel! Teate, niisugune ehtne, ümmargune, hiiglasuur tempel.»

«Mitte sinnapoolegi! See on just nagu tsirkus, teate, niisugune ehtne, ümmargune!»

«Ah, mis jama see on! Vähemalt seestpoolt meenutab ta kõige rohkem suure ookeanilaeva masinaruumi. Teate, niisuguse suure, ehtsa ookeanihiiglase oma.»

Lõpuks hakkavad kõik naerma. Ja tõesti, te olete nõus, et kui ühe minuti kestel püüavad kolm inimest üksteist üle trumbata, võrreldes seda, mida nad oma silmaga veel näinud pole, esimeste meeldetulnud asjadega, «suurte, ehtsate, ümmargustega», siis ütleb teie kujutlusvõime üles.

Kuulates autokaaslaste vaidlusi ja püüdes neist ise mitte maha jääda, mõtlesin kogu aeg: aga miks me ikkagi võrdluse suhtes kokkuleppele ei jõua? Kas mitte seepärast, et Dubna hiiglaslik sünkrofasotron ei sarnane tegelikult mitte millegagi, mida seni näinud oleme?

On asju, mis oleksid nagu algelemendid, mille najal loome uusi kujutlusi. Neid on raske kõrvutada esemetega, mis on juba eelmiste põlvkondade praktikas igapäevasteks muutunud. Selliste algesemete konstruktsiooni, nende mastaabi ja kuju dikteerivad uued vajadused, uued eesmärgid ja uued ideed. Ja seepärast leiamegi neile nii kergesti mõttelisi võrdlusi: vaevalt roomas põllule esimene traktor, kui see ristiti «terashobuks», vaevalt lendas taevasse esimene lennuk, kui luuletajad hakkasid kõnelema «teraslindudest». Ja kui kiirendajat nimetada «aatomilinguks», on mõtteliselt kõik õige. Ent välist sarnasust leiame siit niisama vähe kui allveelaevade võrdlemisel süvaveeasukate — haikalade või muu taolisega.

Auto sõitis lumitunud männimetsa vahel, kui me ootamatult avastasime, et olemegi juba linnas. Dubna tänavad on metsasihid, väljakud — metsalagendikud. Ja valitsevateks helideks — metsavaikus. Sellised on tõenäoliselt kõik tulevikulinnad.

Dubna on keskendatuse linn. Niisugune on kõrvalise inimese esimene mulje. Ja vaevalt osutub see petlikuks.

Me läbisime vaikides selle keskendatuse linna, et mitte mööda lasta minutit, mil puutüvede vahelt hakkab paistma fotodelt nii hästi tuttav, ainuke omataoline, kümnemiljardilise kiirendaja hoone. Nüüd kohe ilmub ta, see tempel, see laev, see tsirkuseareen. Ja kui ta lõpuks ilmus, sai kohe selgeks, et ühes asjas oli kõigil vaidlejail õigus: see oli tõesti midagi suurt, ümmargust ja ehtsat. Väga suurt! Väga ümmargust! Ja väga, väga ehtsat! See laev oli ilmselt määratud pikaks merereisiks.

● Ma alustasin sellest, kuidas sõitsime Dubnasse, nii nagu kosmiliste kiirte kõrgmäestikujaamagi, et vaadata, kuidas nähtamatu ja kuuldamatu muutub ilmseks. See kõik on õige, kuid siiski meelitas meid Dubnasse veel miski muu. Kosmilises kiirguses avastati paljud mateeria elementaarosakesed esmakordselt. Võimsatel kiirendajatel loodi paljud neist esmakordselt.

L o o d i? Kas sulg pole vääratanud?

Ei, see pole vääratus ega liialdus ega isegi mitte kirjanduslik vabadus. See on täiesti range teaduslik termin, mille mõte on otsene ja täpne.

Ja me tahtsimegi näha, kuidas mitteeksisteeriv muutub olemasolevaks, võimalik tegelikkuseks, mitteesemeline esemeliseks ja vastupidi; kuidas igavene mateeria muundub ühest ajutisest vormist teiseks.

Ja kui argipäevastena näisidki Moskva ümbruse loodusakende taga ning meiega koos sõitvate dubna'aste mured, oli meil, uustulnukail, meeleolu kogu tee säärane nagu linnameestel mägedes: veidike ülendatud. Me püüdsime seda mitte välja näidata, kuidagi ebamugav, oleme ikkagi täiskasvanud inimesed. Kuid nähtavasti õnnestus see meil halvasti. Ja siis otsustasime enam mitte tähelepanu pöörata oma õpetatud teekaaslaste üleolevatele naeratustele, kelle jaoks tee Dubnasse ning kõik sellega seotu oli ammu argipäevaks muutunud. Meie olime neist õnnelikumad.

Nemad rääkisid millestki arusaamatust, mis kuidagi ei klappinud, kirusid mingisuguse ametkonna mingisugust osakonda, olid pahased mingitele poisinolkidele seepärast, et neil on küll head pead, kuid käed ei kõlba kuradilegi. Aga need üksikasjad meisse ei puutunud. Tõsi, me vaatasime kadedusega, aupaklikult inimesi, kes elavad teaduses nagu omas kodus — nii kadestavad poisikesed mitte kaugesõidulaevade reisijaid, vaid väsinud madruseid. Ent ikkagi olime õnnelikumad kui need, kel on ees näiteks esimene lend helikopteril. Meil seisis ees kokkupuude sajandi peene alkeemiaga. Ainult kokkupuude, kuid juba seegi tundus ebatavalisena.

Aga samal ajal — inimene on juba kord niisugune — oli väga meeldiv, et meie õpetatud teekaaslased torisevad, kiruvad ja tunnevad muret igasuguste tühiste asjade pärast: see tegi neid meiega võrdseks. Seetõttu hakkas ka nende kõrge teadmistesfäär, nende peen alkeemia, näima kättesaadavamana meile, lihtsurelikele.

KOLMAS PEATÜKK

- **Tuhandeaastased eksirännakud, millesse ei tohi suhtuda üleolevalt.**
- **Kirjutamata stsenaarium.**
- **Selleni oli tarvis kasvada!**
- **Newton põikleb.**
- **Teadlased naljatavad, nagu laulaksid matuselaulu.**
- **Planck oli 42, Einstein 21 aastat vana.**
- **Valgusosakeste teine sünd.**
- **Et midagi mitte ära põlata, tuleb teada, mis see väärt on!**

Meie sajandi peen alkeemia...

Kuidagi kahtlaselt kõlab niisugune veidi ülespuhutud väljendus, tahaks isegi solvuda tänapäeva hiilgava mikromaailmateaduse pärast. Kuid raske on ajakirjanduslikus kergemeelsuses kahtlustada aatomituuma füüsika loojat Ernest Rutherfordi ennast. Ometi kuulub väljendus «kaasaegne alkeemia» just temale. Selle pealkirja andis ta oma viimasele raamatule, raamatule tuumamuundumistest, mis on kirjutatud 1937. aastal, veidi enne tema surma. Aga mateeria muundumised elementaarosakeste subatomaarses maailmas on veel peenem asi kui tuumareaktsioonid. Seda pole tarvis seletada.

Ikkagi võib näida, et keskaja meenutamine paiskab meid mateeria algallikate otsimise jutust kõrvale ja kaugele tagasi. Tagasi, see on õige. Kuid mitte kõrvale! Vastupidi, kui keegi tahaks seda juttu vesta «sündmuste järjekorras»,

siis peakski alustama just sealt, nürimeelsete sajandite pimedusest.

Tuhat aastat eksirännakuid — niisugune on Euroopa alkeemia ajalugu. Kaks tuhat aastat eksirännakuid — idamaa alkeemia ajalugu. Kas on siin siis millestki rääkida? On.

Alkeemikud hakkasid esimestena mitte ainult arutlema asjade olemuse üle nagu vanad natuurfilosoofid, vaid jändasid oma mõistatuslikes laboratooriumides jonnakalt patuse maise ainega. Nad lahutasid midagi koostisosadeks, ühendasid midagi millegagi. Destilleerisid, kuumutasid, lahustasid, sublimeerisid, filtreerisid. Ja mõtlesid välja katseklaasid ning kolvid, retordid ning spiraaltorud, tiiglid ning filtrid.

Kõlab väga põlglikult: «Nad ühendasid midagi millegagi.» Kuid alkeemikuil polnud tõepoolest üldse aimu, millega neil nois nõiduseksperimentides tegemist oli. Ühtedest ainetest ajasid nad välja «lenduvust», teistest «kuivust», kolmandatele lisasid «tulisust». Nad olid veendunud, et selliste omaduste kandjaiks on mingid kõigi asjade a l g e l e m e n d i d. Nii rändas sajandite jooksul ühest põlvkonnast teise, riigist riiki suvaline idee, et elavhõbe ja väävel on kõige algelemendid. Need olid keskaegsete alkeemikute kujutluses just nagu mateeria elementaarosakesed.

Kõik see on vana ja hästi tuttav lugu nagu seegi, et nad otsisid tarkade kivi, selleks et muuta lihtsaid metalle kullaks. Aga «panatsea»? See alkeemikute sõnavarasse kuuluv sõna tähistas samuti üht sajanditepikkuste otsingute eesmärki. Kõrvaldades üht algelementi ja lisades teist, unistasid nad luua ainet, mis raviks kõiki haigusi ja oleks «imerohuks kõigi hädade vastu». Nende viljatutes lootustes põimusid omakasupüüdlikud ja õilsad kaalutlused.

Kui tänapäeval tasub veel sorida alkeemikute fantastilistes kujutlustes mateeria algelementidest, siis ainult ühe ootamatu järelduse tõttu: isegi nemad vajasid juhtivaid teoreetilisi ideid! Muidugi, siinkohal tuleks rääkida ideedest hanejalgades. Kuid seda meie tänapäevasest vaatepunktist. Aga alkeemikute jaoks olid nende ideed mitte ainult kaheldamatu tõde, vaid ka suunav jõud: ilma nendeta poleks nad osanud ühtki katset teha. Muidugi tuli välja nõiaring: väärad ideed tingisid katsete väära tõlgen-

damise, viljatud katsed toitsid viljatuid ideesid. Kuid kas pole meie teiega nii targad ja kõikteadjad just seepärast, et inimkond on tasunud meie suhtelise harituse eest maailma aluse, mateeria järkjärgulise tunnetamise sajanditepikkuse vaevarikka ajalooga.

Tõsi, ei maksa kunagistesse eksirännakutesse üleolevalt suhtuda. Need naeruväärsed eksirännakud on meie tänase tarkuse vaarisad ja -emad. Ja pealegi, oodake! Võib-olla naeravad inimesed kolmesaja aasta pärast meie naiivsuse üle!

Kuid mis on tõeliselt hämmastav: üle kahekümne sajandi tammus alkeemia paigal, aga samal ajal, samades ajaloolistes tingimustes kasvas ajapikku tõeline loodusteadus.

Samaaegselt. Kõrvuti.

Geomeetrid, alates Eukleidesest, töötasid välja maapealsetes mastaapides täiesti tõese geomeetria. Füüsikud Arhimedesest alates mõistsid üha täpsemalt maapealse mehhaanika saladusi. Astronoomid Hipparhosega alates tungisid järjest kaugemale nähtava tähistaeva põhjatusse.

Aga mateeria enda esiuurijad ei suutnud sammuvõrragi tungida aine sügavusse. Mitte sammugi. Mitte ühelgi maal. Ei antiikajal. Ei keskajal. Ei renessansi ajal. Ega ka 17. sajandil, kui alkeemia lähenes juba oma kuulsusetu ajaloo lõpule, aga matemaatikas, füüsikas ja astronoomias töötasid sellised gigandid nagu Kepler, Newton, Leibniz, Descartes.

Kuidas mõista seda tuhandeaastast ja ülemaailmset abitust, mis lõpuks muutis sõna «alkeemik» pilke- ja isegi sõimunimeks?

Võib-olla ei vajanud eelmised sajandid teadust ainest ja alkeemikute elu oli raske, täis tagakiusamisi ning jälitamisi? Juhtus ka nii, kuid enamasti oli lugu hoopis vastupidi.

● Ma kujutlen ajalooliste romaanide autorit. Vanaaegsetes raamatutes tuhnides sattus ta ootamatule leiule: kõrvutades üksteisest täiesti erinevate sündmuste aastaarve ja kohti, mida teaduse ajaloo uurijad kunagi varem polnud seostanud ja ühise nimetaja alla viinud, visandas ta tulevase võimaliku jutustuse konspekti ja rõõmustas juba ette edu üle. Tõepoolest, milline hämmastav olulise ja tühise põiming!

... 17. sajandi algus. Praha. Õueastronoom Johann Kepler tammub keiserliku kassaameti ukse taga. «Asjatult seisan ma nende ees nagu kerjus...,» kirjutab ta sama päeva õhtul, olles oma õnnetusse majja ainsagi floriinita taskus tagasi pöördunud, «kassa on tühi ja palka ei maksta.» Tema käes on nonde aegade kohta täpseimad vaatlusandmed kuulsalt Tycho Brahelt, kelle ametikoha ta päris. Tema peas on alles lõpuni selgumata oletused, mis muutuvad planeetide liikumise rangeteks seadusteks. Küll töötaks ja töötaks! Kuid keiser nõuab üha uusi horoskoope, tulevikuennustusi tähtede seisu põhjal. Tema, Kepler, on valmis sellegagi tegelema, kuid tema tasku ei saa isegi niisuguse hinnaga täiemaks.

Floriinide otsinguil kulub aeg. Mõtet kurnavad mõtisklused kodustest hädadest. Aga tahaks mõelda hoopis millestki muust. Mitte ainult planeetidest. Maailm on täis lahendamata mõistatusi. Ta mõtleb juba ammu valguse olemuse üle; kord vilksatas tal paljutõotav mõte: kas pole valgus mitte pidev ainevool helendavatest kehadest?! Ja veel mõtles ta tookord: kiirguse soojus pole mingi eriline mateeria, vaid valguse enda omadus. Valguse ainelisus! Pidevus looduses! Ah, tahaks selle üle ikka ja jälle mõelda, kuid floriinid, floriinid... Ta tammub kassaameti ukse taga. Kui kaevata keisrile? Kuid see on hõivatud edasilükkamatutest asjadest.

Kirjanik vaatleb uuesti väljakirjutusi ja jätkab kiiresti ajalooromaanide kirjutajate vanade retseptide järgi, algupärasusele tähelepanu pööramata.

... Aga imperaator on tõepoolest hõivatud. Ta ei lahku juba ammu alkeemia laboratooriumist, kuhu sulges end koos võõrsilt tulnud kuulsuse, poolakast alkeemikuga. Muidu loid ja abitu keiser töötab fanaatiliselt. Ta nõrgad käed on kaetud kriimustuste ja põletushaavadega. Temal, saksa rahva Püha Rooma riigi keisril ja alkeemikul, kes on ühesugune hädavares mõlemal alal, veab esimest korda elus: metall tiiglis näib kuldselt helkivat. See päev tuleb jäädvustada! Krakovisse kirjutamine oli õnnelik mõte!

Levib kuuldus, et keiser on heas meeleolus. Õueastronoom tõttab paleesse, mõtiskledes looduse saladustest ja tühjast rahakotist nagu alati. Talle torkab silma mälestustahvlike seinal. Hiljuti seda veel ei olnud. Ta loeb teksti õpetatud ladina keeles: «Las proovib keegi teha seda, mida tegi poolakas Sendziwoi!»

Sendziwoi? Kes see on? Ah too hellitatud krakovlane, kes tõi keisrile tarkade kivi? Räägitakse, et õnneseen olevat juba Württembergis ja vürst Friedrich võtvat teda vastu auavaldustega, mis vääriksid kuningaid. «Württembergis, minu kodumaal...» mõtleb Kepler. Ta loeb veel kord kirja mälestustahvlil, kuid ei muiga: ei, ta ei pea alkeemiat üldse ebateaduseks ega selle adepte (seegi sõna pärineb alkeemikute sõnavarast) šarlatanideks. Kuid õue-astronoomi hinges paisub kibedus: tema teadust, tema tööd hinnatakse madalamalt.

Kirjanik võiks panna punkti, kuid ei suuda end tagasi hoida ja jutustab mõlema kangelase saatuse lõpuni. «Millise stsenaariumi võiks saada!» mõtleb ta muu hulgas.

...Württembergist saabub teade: Sendziwoi kadus järsku — asendamatu kaotus! Kuid sündmused ei seisa paigal: saadakse teada, et Friedrichi õuealkeemik, kade Mühlenfels on vangi võetud ja üles poodud. Intriigid Sendziwoi vastu ja lõpuks poolaka röövimine olid tema kätetöö. Aga poolakas on nüüd uuesti vabaduses. Keplerit rõõmustab õigluse võit tema kodumaal. Teadlane ei tea veel, et pärast viis aastat kestnud häbistavat protsessi kuulutatakse seal nõiaks ja mõistetakse surma tema vana ema ja ta on sunnitud sinna tõttama, küll jala, küll ratsa, et teda päästa.

Mööduvad aastad. Ja ta ilmub tõepoolest Württembergi teedele kui nõia poeg. Keegi ei tea, et kronu seljas ratsutab suur teadlane, kes on juba avastanud kolm planeetide liikumise seadust. Temast hoidutakse kõrvale. Ainult laada-šarlatan kleepub kõrtsi juures külge, kuid ta naeratab abitult: tema kukkur on tühi. Ja ikkagi sammub šarlatan võõramaalase jaluse kõrval edasi ja jutustab poola aktsendiga oma lugu, mida kohalikud inimesed on ammu tüdinenud kuulamast.

Ta jutustab, kuidas aitas kunagi Saksimaal vanglast välja šoti alkeemiku Setoni; kuidas tänulik Seton kinkis talle kotikese tarkade kiviga, kuid suri, andmata välja koostise võlusaladust; kuidas ta nimme abiellus šotlase lesega ja sai kulda loova pulbri kogu tagavara omanikuks; kuidas ta Krakovis kuulsaks sai, kuidas kadunud keiser teda enda juurde kutsus. Kepler võpatab kaugete mälestuste mõjul, aga šarlatan sajatab vürst Friedrichit: pärast kõiki juhtumusi Württembergis ei antud temale, kuulsale

imetegijale, tagasi metalle kollaseks muutva kivi tagavara — kõik võttis sõnamurdja Friedrich endale. Aga kivi saladus on kaotsi läinud ja nüüd on käes kuulsusetus, viletsus...

«Saladus? Kui häviksid minu arvestused, suudaksin ma neid korrata!» mõtleb Kepler ja küsib Praha lossi mälestustahvlit meenutades aupaklikult ladina keeles: «Sendivogius?»

«Jah!» tõstab vananev Sendziwoi uhkelt pea püsti, pärimata tundmatu võõramaalase nime.

«Ega minugi saatus parem pole,» mõtleb Kepler prohvetlikult, aimates võib-olla ette, kuidas teda, nõia poega, peagi keisririigi piiridest välja kihutatakse ja kuidas ta sureb, pärandades perekonnale kaks särki ja oma teoste müümata köited...

Õnnetu poolakas laseb jalusest lahti ning pöördub pilku tagasi heitmata kõrtsi poole, saamatagi teada, kes temast mööda sõitis.

«Sõitis surematusse, tulevikku, sinna, kuhu kõigil sajandeil on suunanud oma tee tõeline teadus.» Selle lisab kirjanik omalt poolt.

● Aga lugeja küsib: kas polnud alkeemia viljatus tingitud äkki sellest, et temaga ei tegelnud mitte Keplerid, vaid Sendziwoid?

Ei, just vastupidi: alkeemia teadusliku viljatuse tõttu kleepusid selle külge avantüristid (nii parasiteerivad ka tänapäeval posijad seal, kus arstiteadus on veel jõuetu). Tõotades inimestele seda, mida ei suutnud saavutada, kulda mitte millestki ja päästvat panatsead, lubas too varane teadus mateeria muundumistest igaühel nimetada end tõevaldajaks.

Kuid see teadus polnud võõras ka teravapilgulistele looduseuurijatele, isegi Newtonile! Ja mis välja tuli? Mees, kes rikastas uute ideedega kõike, mida puutus tema võimas mõte, ei suutnud absoluutselt mitte millegagi rikastada o m a a e g s e t teadust ainest.

Miks on siin alla kriipsutatud sõna «omaaegset»? Kas see tähendab, et tulevast teadust ainest suutis Newton siiski millegagi rikastada? Jah, just nii: kaasaeglasi ei aidanud, aga tundmatutele järglastele andis abi, ise seda aimamata.

Siin avanevadki alkeemia kui mateeria muundumiste

teaduse tuhandeaastase viljatuse põhjused: see osutus ajalooliselt enneaegseks teadmiste alaks. Seda ei suutnud k e e g i aidata, sest tol ajal polnud teda m i l l e g a g i aidata. Inimkonna käsutuses polnud veel küllaldaselt teadmisi ega tehnilisi vahendeid edukaks mateeria sisemusse tungimiseks.

Miks ei avastanud vanaaja geograafid põhja- ning ühtlasi ka lõunapoolust? Kas neil ei jätkunud vaprust? Või polnud vajadust? Mitte selles polnud asi. Oli vaja kõigepealt teada, et poolused on üldse olemas. Aga isegi see väike teadmine nõudis sajanditepikkust gigantset tööd astronoomidelt, füüsikutelt ja matemaatikutelt, kõige vähem aga geograafidelt-reisijailt.

See oli teoreetiline teadmine, mis tulenes väitest, et Maa on kerakujuline, ja pööreldes ümber oma telje, tiirleb veel mööda tasapinnalist orbiiti ümber Päikese ja et Maa telje kaldenurk selle orbiidi tasapinna suhtes jääb üldjoontes muutumatuks. Ühesõnaga, enne kui edukalt jõuda poolusteni ja rajada seal teadlaste asulaid, pidi inimkond paljugi mõistma, paljugi välja arvutama, paljus veenduma ja palju looma, alates kompassist ning lõpetades kaasaegsete laevade, lennukitè ja raadiojaamadega.

Nii pidi inimkond kasvama ka edukaks rünnakuks mateeria sügavustesse!

Tee nendesse sügavustesse läks molekulide, aatomite, aatomituumade kaudu... See kulges läbi gravitatsiooni-, elektromagnetiliste ja tuumajõuväljade... See viis järjest tugevamate seoste tunnetamisele ja ületamisele järjest väiksemate ainekübemekeste vahel... Punktiread tähendavad, et sel teel ei olnud ega saagi olla lõpp-peatust — «jõuaks aga pärale ja läheks maha —», vaid olid ja tulevad ainult ajutised puhkepeatused.

Ja veel, sellel tõelise tunnetuse teel ei tasu otsida sündmusi, mis sarnaneksid Sendziwoi kurbade seiklustega. Niisuguseid episoode me hiljem enam ei kohta. Seevastu on teaduse ajalugu täis keplerlikku omakasupüüdmatust. Aga veel dramaatilisemad on otsiva inimmõtte hämmastavad juhtumised. Ja kogu meie loos ei tule juttu mitte põgenemistest ega röövimistest, võllastest või reetmistest, mõttetutest lootustest ja igavesest endapettusest, vaid füüsikaliste ideede õnnelikest ja õnnetutest saatustest.

● Footon... See osake seisab praegu mateeria avastatud elementaarosakeste nimestikus esimesel kohal. Tema ongi lubatud jutustuse esimene tegelane. Nimetus ei vaja dešifreerimist: kreekakeelse sõnaga «phos» või «photos» algavad valgusnähtuste tähistamiseks väljamõeldud teaduslikud terminid.

F o o t o n oleks tulnud muidugi kõigepealt välja mõelda: on see ju valgusosake.

Kuid avage ükskõik milline vana entsüklopeedia. Sealt leiate kujult sarnase sõna «fotogeen», kuid nii nimetati möödunud sajandil lambipetrooleumi. Seal on fosfor, fotograafia... Aga footonit ei ole. Pole vanas Larousse'is, vanas Briti Entsüklopeedias, Brockhausil ega Jefronil (kuigi selle entsüklopeedilise sõnaraamatu vastav, 71. köide ilmus juba meie sajandil).

Tähendab, veel võrdlemisi hiljaaegu ei vajanud teadus sõna, mis tähistaks valgusosakest? Jah. Teadlased vaatlesid valgusvoogu kui pidevat lainete — ja ainult lainete — järgnevust.

Valguse tekitamist on tuhandeid kordi võrreldud kivi tiiki langemisega: langemiskohast jooksevad lained mööda vett laiali. Kui kivi on seotud õngenööri otsa ja seda kord tõmmatakse veest välja, kord lastakse vette tagasi, siis tekivad lained üha uuesti. Nad võivad ümber takistuste painduda ja neilt tagasi peegelduda. Nad kustutavad üksteist, kui ei liigu harmooniliselt ning ühe vagu satub kohakuti teise harjaga. Nad liituvad, tugevdades teineteist, kui nende harjad ühte langevad. Lained kannavad endaga võnkumisallika energiat.

Võngetest ja lainetest võivad teadlased jutustada lõpmatuseni. Nad on loonud ilusa ja täiusliku matemaatilise aparaadi lainekujulise liikumise kirjeldamiseks ning samasuguse harmoonilise ja ilusa valguse laineteooria. Kuid valguslainete füüsikalisest olemusest ei teadnud ega rääkinud see kirjeldav teooria midagi tõsikindlat. See ei teinudki tema koostajatele liiga palju peavalu: matemaatiliste kirjelduste nagu maastikumaaligi tarvis pole väga tähtis, mis peitub kujutatu nähtava kesta varjus. Laineteooriat võiks tõepoolest võrrelda suurepärase meremaaliga: kõik on hämmastavalt sarnane — murdlainete kunstlik piirjoon, vahused laineharjad, vetesina, põhjatuse illusioon ja varjatud võimsuse taju, ainult üks asi pole kunstnikule huvi pakkunud — mis on

vesi. Talle jätkus teadmisest, et see on olemas, et see on miski.

Valguslained? Hästi. Aga mis lainetab, mis võngub? Geniaalne hollandlane Huygens, laineteooria rajaja (muide, Rembrandti noorem kaasaeglane), vastas lühidalt ja üldsõnaliselt: võngub eeter.

See oli antiiksete natuurfilosoofide igivana idee meenutus. Nemad oletasid, et maailmas on peale tule, maa, vee ja õhu veel «viies element», peenim mateeria, mis läbib kõik ja täidab kogu maailmaruumi, likvideerides arusaamatu tühjuse. Antiikfilosoofid mõtlesid välja ka sõna «eeter» — «lenduv», et piltlikult fikseerida tema tabamatust.

On vähe ideesid, mis füüsikutele nii palju muret ja meelepaha oleksid põhjustanud kui see maailmaeetri idee! Seniajani tarvitame raadiosaateist kõneldes saladuslikku väljendit «hääl eetris». Kuid see kõlbab ainult poeesiasse, füüsikalist mõtet pole siin rohkem kui vanas lootuses «jumal aidaku!» Kõikjale tungiva eetriga polnud füüsikuil kergem leppida kui tühjusega. Võib-olla isegi raskem.

Tühjusel ei pea vähemalt olema mingisuguseid omadusi pea'e ühe: olla mitte midagi. Jäi muidugi lootusetult arusaamatuks, kuidas saavad ruumiliselt eraldatud kehad mõjutada üksteist läbi tühjuse, ilma mingite vahendajateta. Kui seda Newtoni õpilastelt küsiti, vastasid nad: «Ei tea.» Ja kordasid oma õpetaja tuntud lauset: «Hüpoteese me ei loo.»

Newton avastas gravitatsioonijõudude sõltuvuse kehade massist ja nendevahelisest kaugusest, kuid mispärast kehad üksteise poole tõmbuvad, mis seejuures füüsikaliselt toimub, seda tema kuulus seadus ei seletanud. Ja tuli välja midagi käsitamatut: Päike ja Maa tõmbuvad vastastikku teineteise poole, ehkki nad pole mitte mingisuguste niitidega seotud, ehkki nende vahel valitseb tühjus! Oleks paras jumalat vastutusele võtta, et gravitatsiooni saladust kuidagi selgeks teha.

Jumal oleks sellisel juhul saanud «füüsikaliseks hüpoteesiks». Ja kahjuks mittekõlblikuks, mitte midagi selgitavaks ja mittetõestatavaks. Nii kutsutigi igivana eetrit hävitama füüsikute teadvust rõhuvat loomuvastast tühjust füüsikaliste kehade vahel. Veel varem kui Huygens selle valguse levimiskeskkonnaks kohandas, tõi Descartes maailmaruumi «viienda elemendi», selleks et vabastada teadus

müstilisest «kaugmõjust». Eetripöörised hakkasid kõiki kehasid ühendama.

Newton oli eetri suhtes kõhkleval seisukohal: kord tunnustas seda, kord mitte, just nagu ette nähes, et eeter ei too füüsikuile vähem ebameeldivusi kui tühjus.

Kõik ebameeldivused tulenesid aga sellest, et tollel eetril pidid olema teatud omadused. Muidu poleks maksnud teda välja mõeldagi.

Pange tähele, vaevalt algas jutt footonist kui elementaarosakesest, mis seisab «algaluste» praeguse nimestiku esireas, kui me kandusime kohe loodusteaduse igaveste, sajandeid lahendatavate «neetud küsimuste» läbipääsmatusse rägastikku. Kuid tõesõna, nii ei juhtunud mitte ettevaatamatusest. Elementaarosakeste maailmas pole lihtsalt võimalik sammugi astuda, sattumata neisse tihnikuisse. See pole mitte «mateeria algaluste» dramaatilistest otsingutest vestva jutustuse puudus, vaid köitvus ja võlu.

Pärast seda, kui valgus oli teadlaste tahtel muutunud võngeteks maailmaruumi eetriookeanis, jäi peaaegu kaks sajandit, Huygensist kuni Maxwellini, täiesti teadmatuks, mis nimelt võngub ja sunnib eetrit võnkuma. Ligikaudu sada aastat tagasi näitas Maxwell, et kõiges on süüdi elekter.

Liikuvate laengute ümber tekib elektromagnetiliste jõudude väli. See levib ruumis just täpselt valguse kiirusega. Selles k o k k u l a n g e v u s e s ei näinud Maxwell mitte juhuslikkust, vaid viidet valguse olemusele. Kui laengud võnguvad, hakkavad neid ümbritsevas jõuväljas levima lained. Otsustati: need on häiritused eetrikeskkonnas. Elektrilaengud hakkasid valgust kandvas eetris etendama õnge otsas rippuva kivikese osa.

Mida kiiremini võnguvad laengud, seda sagedamini väljuvad allika juurest elektromagnetilised lained. Võrdlusest on selge: mida sagedamad on võnked, seda lühemad on lained. Tänapäeval võiksime vastavalt vanale Maxwelli ideele öelda, et röntgenikiirguses on lained nii lühikesed, nagu oleks see eetrivirvendus. Raadiolained on aga vastupidi nii pikad, et nende poolt võnkuma pandud eeter peaks meenutama ookeanipeeglit tuulevaikuses.

Need on kõik meeldivad kujundid. Isegi ilusad. Kuid nad pole midagi rääkinud ega räägi eetri enda füüsikalisest olemusest. Mis asi see niisugune on? Milline on selle ehitus? Kõikjale tungivana sarnaneb ta võib-olla gaasiga?

Kuid siis võib ta muidugi kokku tõmbuda ja paisuda? Miks levib siis valgus temas igal pool ühesuguse kiirusega, kui tema tihedus ei ole alati ega igal pool ühesugune? Aga kokkusurumatuna oleks ta tahke keha, kuid ometi peavad teised kehad temast takistamatult läbi liikuma. Kuidas siis lugu on? Kas tal on kaal või on ta kaalutu? Kui tal on kaal... Kõik keerdkäigud algavad otsast peale.

Kümned küsimused, üks piinavam kui teine, kerkisid füüsikute ette. Ja nad lõid lõputult eetriteooriaid, järjest komplitseeritumaid ja järjest arusaamatumaid. Einsteini eelkäija relatiivsusteooria alal, suurepärane füüsik Lorentz kurtis 1902. aastal, et need teooriad ei anna mingit rahuldust.

Selleks ajaks hakkas eeter füüsikuile näima kehatu viirastusena ning pealegi absoluutselt paigalolevana. Teist väljapääsu ei jäänud: liikumatu eetri mudeli esitas 19. sajandil just Lorentz. See näis «kõige õnnestunumana». Kuid sellele viirastusele andis parandamatu hoobi üks võrratult peen, tuhat korda kirjeldatud katse, mis tegi kuulsaks füüsik Albert Michelsoni.

Kui valgus levib liikumatus eetris, Maa aga lendab läbi eetri, siis peavad kaks valguskiirt, üks, mis levib Maa liikumissuunas, teine aga vastassuunas, liikuma Maa suhtes erineva kiirusega.

Esimesele neist kiirtest jõuab Maa järele, vähendades sellega tema suhtelist kiirust. Teise eest põgeneb ta ära ja seepärast selle kiire suhteline kiirus kasvab. Maale just nagu puhuks vastu eetrituul, mis pidurdab valgust. Nii tunneb mootorrattur isegi keskpäevases liikumatus stepileitsakus, nagu paiskuks talle näkku palav õhuvool: ta ise loob selle tuule oma liikumisega. Ja nüüd selgus, et kahe valguskiire kiirustes vahet ei ole! Selgus, et erinevalt mootorratturist «ei taju» Maa mingisugust eetrituult, mis peaks talle «näkku puhuma», kui ta tõepoolest lendaks läbi liikumatu eetri.

Liikumatu eetri idee sattus vastuollu otsese katsega, see on aga halvim, mis füüsikalise ideega juhtuda võib.

Tõsi, vana viirastuse pooldajad võisid väita: «Oodake, oodake, me korraldame veel täpsemad katsed ja siis...»

«Ka siis ei tõesta te mitte midagi!» ütles meie sajandi algul Albert Einstein.

Kolm aastat pärast Lorentzi kurtmisi mattis relatiivsusteooria eetri idee igaveseks maha. Selles on tõelise

TRÜ Raamatukogu

teooria jõud: kui see matab maha väära idee, siis alatiseks. Mitte mingisuguste eksperimendikavalustega pole enam midagi ära teha. Nii muutis energia jäävuse seadus mõttetuks kõik katsed ehitada igavest jõumasinat ja kogu maailma patendibürood heidavad juba ammu kontrollimata kõrvale igasugused *perpetuum mobile* projektid.

Relatiivsusteooria näitas, et ei ole ega võigi olla absoluutset paigalseisu. Pole absoluutset ruumi, kus kosmose tähemaailmad ujuksid nagu kalad liikumatus veekogus· kalad sagivad edasi-tagasi, aga vesi seisab paigal. Sellises akvaariumis võib kalakeste liikumist arvestada liikumatute seinte järgi. Aga maailmaruumis ei saa leida absoluutselt paigalseisvat «taustkeha». Maailmaruumi ei saa vaadelda kui seisvat vett, või korrakem end, kui maja, mille keegi on mateeria tarvis ehitanud ja kuhu too on asunud ajutiselt või alaliselt.

Aga «kõige õnnestunum» eetri viirastus muutiski maailma just seisva veega akvaariumiks. Liikumatuna ja kõikjale tungivana tahtis see Lorentzi eeter etendada looduse poolt keelatud osa: ta muutus absoluutse paigalseisu materiaalseks kehastuseks, absoluutse ruumi vääridee füüsikaliseks väljenduseks. Järelikult oli ta relatiivsusteooria kohtuotsusega hukka mõistetud.

Võib tagantjärele küsida: kuidas sai siis liikumatu eeter üldse võnkeid edasi anda, kuidas levis selles valgus. Noh, ütleme, umbes nii, nagu värin käepuudutusest jookseb mööda liikumatut lavaeesriiet. Kuid üksikasjad pole nüüd enam tähtsad: relatiivsusteooria tõmbas selle eesriide lihtsalt eest ära.

Polnud kerge tollest viirastusest lahkuda. Muide, kogu tänapäeva füüsika ja eriti teadus elementaarosakestest kujutab endast sellist vanadest illusioonidest lahkumiste ahelat.

Eksperimentaatorid ründasid korduvalt Michelsoni katset. 1904. aastal suurendasid Morley ja Miller veelgi mõõtmistäpsust, aga kaks aastakümmet hiljem kuulutas teine neist äkki, et uued andmed tõestavat ikkagi eetrituule olemasolu, millest Maa läbi lendab. Milleri järeldusi kommenteeris pahaselt kadunud akadeemik S. I. Vavilov. Ja arusaadav, miks ta pahandas: eetri püüdmine sai süütõendite kogumiseks relatiivsusteooria, meie sajandi uute revolutsiooniliste füüsikaliste vaadete vastu.

Eksperimentaatorid, kes uskusid teaduse tulevikku, mitte

aga minevikku, pidid uuesti hakkama tõestama juba tõestatut. Kolmekümnendate aastate algul korraldas füüsik Georg Joss uued katsed ja hajutas veel kord legendi kinnipüütud eetrituulest. Seejuures naeris ta Milleri lausa ebaviisakalt välja: oma õnnetuseks oli too tõemeeli kinnitanud, et tema mägilaboratooriumi seina on tehtud klaasaken, selleks et eetrituul pääseks kergemini aparaatide juurde. «Kahjuks,» ironiseeris Joss, «ei öelnud Miller, kas vastasseinas oli teine aken, et eetritõmbetuul oleks tugevam.»

Teadlased naljatavad, nagu laulaksid matuselaulu. Kuid täpsemalt öeldes olid need juba järelmatused pärast eetri tõelist matmist 1905. aastal, kui ilmus relatiivsusteooria. Tähelepanuväärne, et selsamal aastal ja veel tänu Einsteini enda töödele rikastus füüsika uue mõistega «footon». Esialgu ainult mõiste või õieti kujutlusega; sõna ise tuli teaduse sõnavarasse kaks aastakümmet hiljem.

Kas oli olemas seos eetri hukkumise ja footoni sünni vahel? Ah, kui see seos oleks otsene! Kui palju kergem oleks siis praegu jutulõnga veeretada! Kõik satuks kohe oma kohale: Einsteini avastatud osakesed asendaksid silmapilkselt senised valguslained. Pole eetrit, pole ka laineid. Valguskiir on lihtsalt eriliste, läbi tühjuse lendavate osakeste voog. Ja ongi kõik. Valgus ja aine saavad võrdsed õigused. Siitpeale on maailmas ainult osakesed ja mitte mingisuguseid laineid.

... Osakesed. Nii arusaadav, nii lihtne. Nad on arvatavasti ümmargused, korrapärased nagu piljardikuulid. Teadlased armastavad seda võrdlust, kui tuleb jutt üksköik missugustest osakestest. Ja mitte põhjuseta: füüsikud unistavad seletuste piltlikkusest mitte sugugi vähem kui kirjanikud kujundite väljendusrikkusest. Ja ka loodus ise armastab ökonoomset ja selget kerakuju: Maa ja Kuu, Päike ja tähed — kõik nad on kerakujulised. Küllap on ka mikromaailmas aina kerakesed, kerakesed ja kerakesed, üks teisest väiksem nagu laste lahtivõetavas lelus... Mõõtmed pole looduses sugugi tähtsad: tähtede maailmas on nii kääbuseid kui ka hiiglasi, ent nii ühtede kui teiste liikumist juhivad selged ja arusaadavad taevamehhaanika seadused. Räägitakse, et aatomidki sarnanevat päikesesüsteemiga: kerakujulise tuuma ümber tiirlevad kerakesed-elektronid; igas raamatus joonistatakse neid niiviisi. Kui hea ja lihtne kõik on! Ja kui veel valgus koosneb osakes-

test, siis on see lausa õnnistus. Jälle kerakesed, jälle mikropiljard, jälle vana mehhaanika läbiproovitud, sajandite kestel kontrollitud seadused. Ei, tõepoolest, kui toredasti kõik välja tuleb: ühtne pilt mateeria ehitusest kujuneb iseendast, silmapilkselt ja vaevata! Elagu valgusosake — footon!

... Me jäime unistama, aga mitte nagu antiikaja natuurfilosoofid, vaid nagu manilovid, kodukasvanud natuurfilosoofid, need, kes vaatavad putukat rohukõrrel ja õhkavad: «Kui targasti on looduses kõik korraldatud, kas lähme teed jooma, ah?» Vaadates öötaevast, armastavad sedasorti inimesed mõtlikult kõnelda lihtsusest ning harmooniast maailmaruumi igiringlemises.

Aga samal ajal lõdvestab mõni vaene füüsik käerannet nagu väsinud muusik: nii palju paberit on joonistatud täis integraalide luigekaelu ja graafikute küürakaid kõverjooni, aga ettenägematud vastuolud ei kao, vana teooria ja uued faktid lähevad lahku! Tuleb veel kaua töötada, mõelda, vaielda, vaevelda arusaamatuses, otsida kaudseid teid.

«Teie mõtlesite välja ja trükkisite oma targas teoses ära, nagu ütles mulle Gerassimov, just nagu oleksid kõige suuremal valguskehal, Päikesel, mustad plekid. Seda ei või olla, sest seda ei või mitte kunagi olla... Ja milleks peaksid seal plekid olema, kui ka ilma nendeta saab läbi?» nii kirjutas õpetatud naabrile Tšehhovi kodukasvanud natuurfilosoof, Doni kasakaväe eruurjadnik.

Unistused kerakestest ehitatud mateeriast meenutavad väga soovi «saada läbi ilma mustade plekkideta». Võibolla ongi looduses kõik lihtsalt korraldatud, kuid absoluutselt võimatu on ette teada, mis see tähendab. Lihtsus armastab miskipärast teeselda keerukust ja seletamatust. Ja seda teeskleb ta igavesti.

«Ärge pahandage, et ma Teile nii vähe kirjutan. Probleemide deemon pigistab mind halastamatult oma küünte vahele ja sunnib tegema meeleheitlikke jõupingutusi, et ületada matemaatilisi raskusi... Mõtlen, et mul on lõpuks õnnestunud kätte saada tõe serv,» nii kirjutas õpetatud sõbrale kaasaja suurim füüsik, kelle üks avastus viiski meid sellele jutule, Albert Einstein.

Isegi kõige teravama pilguga teadlased on tagasihoidlikumad kodukasvanud tarkpeadest. Tõe serv, ainult serv! — nende jaoks on see imekaunis tasu meeletute jõu-

pingutuste eest. Ja nad ei häbene seda, et niisugune serv võib näida ebatõenäoliselt kummaline — peaasi peitub veendumuses, et «tõde on pinnale kerkinud».

Footon ei muutnud maailmapilti lihtsamaks, ei muutnud mateeriat piljardikuulide Sahaaraks. See, mis järgnes tema avastamisele, tõi tolles pildis esile hämmastavaid jooni... Kodukasvanud natuurfilosoofid (ka teaduslike kraadidega!) kehitavad seniajani õlgu: «Seda ei või olla, sest seda ei või mitte kunagi olla.» Muide, füüsikasse pole sääraseid urjadnikuid enam jäänud. Nad on säilinud teistes loodusteadustes. Nemad on vastu kaasaegse füüsika sissetungile bioloogiasse, nii nagu nad veel hiljuti olid vastu küberneetika tungimisele tehnikasse, just nagu poleks loodusteadus ühtne, just nagu poleks ühtne mateeria kogu maailmaruumis.

Teaduslike ideede saatused on dramaatilised, kui nendega ei tutvuta õpikute järgi.

● Kõigel maailmas on oma ajalugu. Viis aastat enne footoni ideed ilmus teaduslikku keelde sõna «kvant». Aastal 1900, just nagu uue sajandi märkimiseks, kõlas see esmakordselt Saksa Füüsika Ühingu kongressil, kui Berliini professor Max Planck tegi ettekande uue, soojusenergia kohta käiva valemi tuletamisest.

«Järgmise päeva hommikul otsis mind üles kolleeg Rubens ja jutustas, et ta olevat pärast koosolekut hilisööni võrrelnud minu valemit oma mõõtmisandmetega ning leidnud kõikjal rõõmustava kooskõla,» kirjutas Planck pärastpoole.

Probleem oli seotud üksikjuhuga, kuid sügav. Planck, vaikne, pedantne, range, väga saksapärane teadlane, töötas raske ülesande lahendamisel palju aastaid. Edu saabus siis, kui ta söandas püstitada hüpoteesi, mille kohta keegi ei ütleks «vaikne ja pedantne». Juba üle poole sajandi nimetatakse seda rabavaks, revolutsiooniliseks, suureks hüpoteesiks. Ja seda on kerge mõista: Planck vaatas kiirgust uue pilguga, ta eristas selles jooni, mida keegi enne teda polnud märganud, aine jooni!

Ta väljendas mõtet, et energia kiirgab ning neeldub üksikute annustena. «Kui palju» on ladina keeles *quantum*. Planck nimetas neid annuseid kvantideks, aimamata, et juba tema eluajal tekivad ja kasvavad hoogsalt paljud kaasaja füüsika harud, mille nimetustes esineb mööda-

pääsmatult lühike ja väga lihtsa päritoluga sõna, mille ta mõtles välja ühe — ainult üheainsa! — ülesande lahendamiseks. Kvantmehhaanika, kvantstatistika, kvantelektrodünaamika... Ilmusid käändsõna «kvantimine», pöördsõna «kvantima» ja kesksõna «kvanditud»... Vist ühelgi kirjanikul pole au olnud saada nii kiiresti ja kindlalt juurdunud sõna leiutajaks. Ja veel missugune sõna see on — tähistab ta ju tervet ajajärku looduseuurijate mõtlemises!

Aine on pidetu, teraline — silmanähtav tõde. Kuid energia, kuidas võib see pidetu või teraline olla? Aga just seda Plancki hüpotees kinnitaski. Tema kvandid olid just nagu kiirgusenergia aatomid — sõna tõsises mõttes j a g a m a t u d annused. Annust, mis oleks väiksem kui kvant või võrdne miljoni ja ühe kaheksandiku kvandiga, ei saa keha kiirata ega neelata. Kvandid ei jagune!

Mõte oli nii ootamatu, et Planck ise vaatles seda algul ainult kui tööhüpoteesi: muidu ei tulnud õige valem välja. Soojuskiirguse spetsialistid ei võtnud seda ideed tõsiselt, teiste erialade füüsikud aga ei pööranud talle mitu aastat mingit tähelepanu. Tuntud teoreetik Max Born meenutab: ta ei kuulnud tollal kvantidest ei Göttingeni ega ka Cambridge'i ülikoolides, tookordse Euroopa kahes eesrindlikumas teaduslikus keskuses.

Nii või teisiti, kuid meie sajandi esimene aasta sai loodusteaduses «kvantide ajastu» sünniaastaks. Ja siin ei saa jutustamata jätta, kuidas füüsika heitis nalja Max Plancki õpetaja, Müncheni ülikooli professori Philipp Jolly üle.

See omal ajal küllalt populaarne teadlane kuulus nende piiratud, kujutlusvõimeta inimeste hulka, kes kalduvad igal ajajärgul mõtlema, et «kõik peamine on tehtud enne meid», et olevik on alati vaesem minevikust, tulevik aga ei tõota midagi erilist. Sellistele inimestele on alati näinud ja näib, et inimkonda ei oota enam ees tõeliselt suured avastused, et põhilised loodusseadused on juba kindlaks tehtud ja ülesanne on ainult selles, kuidas täpsustada detaile ja joonistada välja üksikasju maailma füüsikalises pildis. Niisugused inimesed määravad laste osaks ainult ühe: korralikult ja kuulekalt astuda isade teed.

Max Planckile jäi meelde päev, kui ta alles noorukina tuli seitsmekümneaastase professor Jolly juurde ja ütles,

et kavatseb oma elu pühendada teoreetilisele füüsikale. «Noormees,» sõnas õpetaja õpilasele hoiatavalt, «miks tahate oma elu ära rikkuda, teoreetiline füüsika on juba põhiliselt lõpule viidud... Kas tasub asuda nii perspektiivitu töö kallale?»

Philipp Jolly suri 1884. aastal, kuulmata, kuidas tema õpilane lausus sõna «kvant».

Kuid see pole kõik. Kuulsat sõna lausudes ei aimanud Planck veel isegi, kui järsult ta isade teelt kõrvale pööras. Ja Philipp Jolly kunagise hoiatuse uisapäisus selgus talle mitte aastal 1900, vaid juba hiljem, kui teised uurijad (esimene neist oli Albert Einstein) muutsid tema «tööhüpoteesi» üheks kogu kaasaegse füüsika põhimõtteliseks aluseks. Alles siis, juba vanas eas, mil teda austati kui kvantide teooria rajajat, jutustas Planck avalikkusele oma ammusest vestlusest Jollyga, jutustas naeratades, just nagu millestki absurdsuseni anekdootlikust.

Samal ajal... Samal ajal peab märkima, et ajalugu heitis nalja ka Plancki enda üle. Rõhutatult ettevaatlikus suhtumises omaenda geniaalsesse kvantide hüpoteesi sattus ka tema, ehkki hoopis teisiti, nooremate kaasaegsete (eeskätt Einsteini) ees isa ossa, kes ei soovita lastel usaldada uusi teid.

1900. aastal oli Einstein Planckist täpselt kaks korda noorem. 21 ja 42 aastat. Noort, veel tundmatut Šveitsi matemaatika- ja füüsikaõpetajat vaevas juba «probleemide deemon». Šveitsi kooliõpetaja oli aga hoopis teist laadi algaja teoreetik kui Berliini professor.

Kuidas see psühholoogiline erinevus ilma väsitavate arutlusteta selgeks saaks?

... Mõlemad suured füüsikud armastasid muusikat, mõlemad tegelesid sellega tõsiselt. Einstein mängis viiulit, Planck klaverit. Jutustatakse, et Einstein esitanud suurepäraselt armastatud helindeid ja lisaks improviseerinudki meeleldi, alludes ootamatule hingelisele tungile. Planck oli klassikalise muusika asjatundja ja töötas muusikateooria alal. Üksvahe luges ta seda kursust Berliini ülikooliski. (On teada, et ta nooruses isegi kõhelnud, kumba elukutset valida, kas teadlase või muusiku oma.)

Akadeemik Abram Fjodorovitš Joffe oli mõlemaid kuulnud ja oli vaimustuses nende meisterlikkusest, kuigi, nagu ta ise ütles, «täiesti erinevalt». Ühe mäng köitis

virtuoosliku tehnika ja akadeemilise rangusega, teisel hämmastas sügava musikaalsuse ja ebatavalise väljendusrikkusega. «Kui erinevad olid,» meenutas Joffe, «Plancki mõõdetud helide rida ja Einsteini mõtlik viiul!»

Selles võib-olla seisiski erinevus nende kui teadlaste ja mõtlejate vahel, temperamentide ja kogu vaimulaadi erinevus: ühe ettevaatlik pedantism ja teise kunstnikuhing.

Einstein võttis Plancki suurepärast ideed tõsiselt: ta ei näinud selles mitte lihtsalt ajutist ja mugavat «tööhüpoteesi», vaid avanenud tõe serva. Ja ta kahmas sellest servast kõvasti kinni, tajudes esimesena, kui revolutsiooniline oli Plancki kujutlus kiirgusannustest. Nagu muusikaski, nii haaras teda ka valemeis nende range matemaatiline harmoonia, kõigepealt aga salajane, ajuti täiesti ootamatu ja just nagu ebaseaduspärane füüsikaline mõte.

Abram Fjodorovitš Joffe on korduvalt jutustanud, kuidas omal ajal, sajandi teisel aastakümnel, hoiatanud tollal juba suurekaliibriline teadlane Planck teda, noort teadlast Venemaalt, et ta oleks kvantide ideega väga ettevaatlik: «mitte minna kaugemale kui hädavajalik» ja «mitte tõsta kätt valguse enese vastu». Hoiatanud just sellepärast, et niisuguse ettevaatamatu rünnaku oli juba sooritanud Albert Einstein.

Oli juba sooritanud! See toimus 1905. aastal.

Erinevalt Planckist tahtis Einstein kõige rohkem e d a s i m i n n a. Joffe väljenduse järgi «ei näinud ta kvantides mitte õnnestunud matemaatilist võtet, vaid vahendit valguse olemusse tungimiseks». Ja ta nägi seda juba siis, kui kujutlus kiirguskvantidest ei kohanud heakskiitu maailma tuntuimate füüsikute hulgas, kui «energiaannustest» kas vaikiti või räägiti muigamisi, kui kvantide reaalsus ei mahtunud isegi nende avastaja enda pähe.

Kooliõpetaja, kel ei vedanud ja kes korraliku teenistuse otsinguil hakkas Šveitsi patendibüroo III klassi eksperdiks, kõigile tundmatu teoreetik, avaldas 1905. aastal kuulsa «Annalen der Physik» ühes ja samas köites kolm artiklit allkirjaga Einstein. Kõik kolm tööd on alatiseks loodusteaduse ajalukku läinud. Ent siinkohal piisab, kui rääkida kahest: ühes oli esitatud relatiivsusteooria, teises valguse kvantteooria.

● Üksteise järel uhuvad merelained kallast. Tuulehood panevad viljateri varisema. Valguslained peaksid «uhtuma» ainet.

Nii see tõepoolest sünnib. Langev valgus kangutab lahti aatomite elektronkatted: ta sunnib neid varisema nagu teri viljapeast. Teisiti ei saakski olla: kuhu jääks siis valguslainete energia, kui valguse neeldumisel aines ei haarataks seda kergete aatomiosakeste poolt.

Seitsekümmend aastat tagasi veensid hiilgava Moskva füüsiku A. Stoletovi katsed kõiki ebatavalise elektrivoolu, fotovoolu olemasolus. Hiljem sai selgeks, et fotovool kujutab endast elektronide voogu, mis eraldub metalli pinnalt valguse toimel. Valguse abil esilekutsutud voolu jõul hakkavad Maal kunagi tööle võimsad päikeseelektrijaamad: tasuta päikesevalguse energia muudetakse vahetult juhtmeis liikuvate elektronide energiaks.

Kosmoselaboratooriumides on niisugused energiaseadmed juba täie eest väljas.

Ent kui petlikud on lihtsad võrdlused! Aine suunas liikuvad valguslained sarnanevad merelainete või tuulepuhangutega. Mis võib olla selgem ja arusaadavam? Paremat ei saagi välja mõelda. Aga näiteks teine võrdlus: valgus langeb nagu rahe, mis murrab viljapäid ja sunnib teri varisema nagu tuule käes. Kas niisugune võrdlus on halvem? Mitte sugugi.

Aga erinevus nende kahe pildi vahel osutub hiiglasuureks. Tuulehood, õhulained toovad kaasa pideva energiavoolu. See on kord tihedam, kord hõredam, kuid ta on pidev ja «laiali määritud» kogu ruumis, mille laine on haaranud. Rahesaju energia on pidetu (diskreetne), üksikuteks osadeks «hakitud», kämpudeks koondunud, mitte aga hajutatud. Iga rahetera toob oma osa, oma terve kvandi. Kui kõik raheterad langevad ühesuguse kiirusega, sõltub igaühe energia ainult tema massist: mida massiivsem on rahetera, seda energilisem ta on, seda kergemini lendab tera tema löögi mõjul viljapeast välja.

Põllu kohal tõusis tuulehoog ja vaibus. Ta jõudis veskitiivad poole tiiru võrra edasi keerata. Oli väike rahesabin ning lakkas. Rahe löökide all pöördusid veskitiivad samuti poole tiiru võrra. Tuule energia ja rahe energia olid ühesugused. Kuid silmitsege põldu: seal, kus puhus tuul, kõikusid kõik viljapead, kuid ükski neist ei varisenud: nõrgal hajutatud õhulainel ei jätkunud jõudu teri peast

välja rebida. Seal aga, kus sadas rahet, ehkki ka see oli väga hõre, langes mõnes kohas teri maapinnale: see sõltus raheterade täpsusest. Teises kohas, kuhu taevased jäägikillud ei sattunud, jäid viljapead täiesti liikumatuks.

Kui erinevad on omavahel need kaks pilti. Ometi oli tuule ja rahe üldine energia ühesugune. Tuleb välja, nagu sõltuks tagajärg energiavoo «sisemisest ehitusest», mitte ainult üldisest suurusest.

Niisiis, kui aine aatomid on viljapead, aatomite elektronid aga terad viljapeades, millega siis võrrelda langevat ja seejuures neelduvat valgust, kas tuulehoogude või rahesajuga? Milline võrdlus oleks õigem? Nähtavasti tuleb uurida elektronide — terade saatust.

Fakte koguneb teaduses pidevalt. Juba ammu enne Einsteini avanes erapooletute eksperimentaatorite ees pilt, mida kuidagi ei saanud katkematute energialainetega seletada. Üks seletamatuist faktidest näis eriti kummaline: isegi väga nõrk valgus lõi metalli pinnast elektrone välja. Tõsi, vabanenud elektrone ilmus seejuures vähe, kuid neid siiski ilmus: valguse poolt esilekutsutud fotovool sundis aparaatide osutid vaevu-vaevu kõrvale kalduma, kuid ta siiski sundis... Aga iga aatomi ioniseerimiseks, elektroni ja tuuma seose täielikuks purustamiseks, on, nagu teame, vaja teatud lõplikku energiat, teiste sõnadega, energia miinimumi, millest vähemaga nihet ei toimu. Nii võib tuuleiilil, kui see on väga nõrk, tulla viljaterade varistamiseks jõust puudu. Samal ajal aga jätkus selleks alati jõudu ka kõige nõrgemal, kõige tuhmimal valgusvool. Milles oli asi?

Nüüd me mõistame, et kõik oleks kohe selgeks saanud, kui me nõrka valguskiirt poleks mitte vaikseks laineks, vaid raheterade vooks pidanud, olgu küll nõrgaks, kuid ikkagi vooks. Siis oleks ilmnenud, et selle voo üksikud terakesed, kui vähe neid ka poleks, tabavad elektrone ja annavad seejuures edasi energiat, millest piisab osakese lahtirebimiseks tuuma mõju alt. Mida tugevam aga on valgusvoog, seda enam raheteri sooritab sama akti, sest tabamuste tõenäosus kasvab.

Oli vaja ainult vaadelda valgusvoogu uut moodi. Ainult! Kuid see tähendas välja astuda valguse laineteooria vastu. Selle eest hoiataski Max Planck noort Joffet, kui see asus Einsteini vaateid arendama. «Kas te avaldate minu artikli «Annaalides»?» küsis Joffe Planckilt. Suure teadlasena

vastas Planck, et ei hakka muidugi artikli avaldamisele vastu vaidlema, kuid inimesena, kes ei oska vastuoksa tegutseda, tähendas ausalt, et talle meeldiks rohkem, kui artikli annaks trükki ajakirja «Annalen der Physik» teine toimetaja W. Wien. «Olen kurb,» umbes nii lausus Planck, «et avaldatakse artikkel, kus astutakse veel sammu võrra kõrvale klassikalisest teooriast.»

Uut moodi valgusvoogu vaadata tähendas näha diskreetsust seal, kus varem uurijate arvates valitses ainult pidevus. Niisuguseid järske pöördeid on inimestel vaateis aga kõige raskem teha. See on just seesama, mida me elus tihti nimetame «murranguks teadvuses».

Plancki tööhüpotees, vaatamata teadlase sügavale kiindumusele klassikalistesse kujutlustesse, valmistas murrangut ette: tekkis mitteklassikaline kujutlus kvantidest kui kiiratava ja neelatava energia annustest.

Füüsikasse ilmus kuulutus nagu kauplusse: «Nüüdsest alates väljastatakse kiirgusenergiat ainult kvantides!» Just nagu tükikauba osakonnas. Kuid ikka veel arvati, et kvant on ainult energia mõõtmisviis, mille loodus on arusaamatu kapriisi tõttu välja mõelnud, kiirgus ise on aga pidev.

Fotoelektrilise efekti, ehk lihtsamalt öeldes, fotoefekti mitteklassikaliste veidruste seletuse otsinguil oli Einstein otsustavalt «teadvuse murrangu» poolt. Ta nägi kvantides füüsikalist reaalsust. Ta nägi, et valgus esineb tõepoolest rahe kujul.

Nii ilmusid footonid — valgusosakesed.

Füüsikaliselt on kvandid ja footonid üks ja seesama, ajalooliselt asuvad nad aga teineteisest niisama kaugel kui kutsealune ja sõdur, kavatsus ja kehastus.

● Kuid huvitav on see, et astunud otsustava sammu edasi, oleks Einstein samal ajal nagu läinud tagasi, füüsika eilsesse päeva.

Footoni elulugu seostas ootamatult mateeria elementaarosakeste avastamise ajaloo eilse ja tänase päeva. Kaks sajandit ajalugu. Mõned episoodid seisid alles silme ees. Nüüd tuleb nende ahelasse asetada alglüli, et ahel sulguks, nagu igas väärt seiklusest jutustavas loos, isegi siis, kui see on vaid otsiva inimmõtte seiklus.

Asi on selles, et juba kakssada aastat enne Einsteini olid valgusosakesed teaduses olemas. Nad ilmusid peaaegu

ühel ajal Huygensi lainetega. Newton mõtles nad välja. Sellega rikastaski ta tulevasi «alkeemikuid», suutmata millegagi abistada kaasaegseid. Erinevalt laineteooriast nimetati Newtoni teooriat «vooluteooriaks». Valgusosakesed nimetas ta korpuskuleiks, mis ladina keeles tähendab «väikesed kehad». Siit tuleneb ka teooria teine nimetus — korpuskulaarteooria. Nii nimetatakse Einsteini footoniteooriat tänapäevani.

Mis see siis tähendab, kas tõestub jälle vana kõnekäänd: «Ei ole midagi uut siin päikese all»? Seda ilmekama kinnituse leiab fakt, et mõte valguskiirgusest kui erilise aine voolust polnud Newtoni ajal enam uus. Tabasime ju Kepleri Praha kassaameti ukse tagant hetkel, mil ta mõtiskles sel teemal, aga tema suri, kui Newton polnud veel sündinudki!

Ei, ei maksa ikkagi jäägitult vanale tarkusele toetuda. Newton ei korranud Keplerit ega Einstein Newtonit. Õige on ainult üks: vaidlus pidevuse ja pidetuse ideede vahel on füüsikateaduses väga vana.

Kepler arvas, et valgusaine voolab pidevalt ja liigub lõpmatu suure kiirusega. Newtoni ajal oli Rømer juba tõestanud, et valguse kiirus on lõplik. Newton nägi teistsugust pilti kui Kepler: valgusaine pidetut voolu. Seejuures näisid eri värvi valguse korpuskulid talle eri suuruses kehadena: punased olid kõige suuremad, violetsed kõige väiksemad ja oma suurusele vastavalt liikusid nad tema arvates ka erinevate kiirustega.

Mida oskas Newton veel öelda oma väljamõeldud korpuskulite kohta? Valguse murdumise seletamiseks ütles ta, et prisma aine tõmbab korpuskuleid külge. Aga valguse peegeldumise seletamiseks varustas ta neid ka vastupidise omadusega, ainest eemaletõukumisega. Selgitamist vajasid paljud nähtused ja Newtoni korpuskulitega juhtus ligikaudu sama mis eetriga: neile tuli omistada järjest uusi vasturääkivaid omadusi.

Seetõttu, tõenäoliselt aga tulevasi raskusi ette nähes, ei pressinud Newton teistele peale oma vooluteooriat, nii nagu kaugmõjugi läbi tühjuse. «Hüpoteese ma ei püstita.» Nii ühte kui teist pressisid peale tema õpilased. Nad olid usklikumad kui paavst, nagu Roomas räägitakse.

Kogu XVIII sajandi vältel valitses vooluteooria, XIX sajandil aga laineteooria. Näis, et Huygens on Newtoni pikas võitluses alatiseks võitnud: laineteooria, ehkki see

tugines reetlikule eetrile, seletas niisuguseidki nähtusi, milles ei võinud kuidagi süüdi olla sirgjooneliselt lendavad korpuskulid.

Siin toome ühe neist nähtustest, mida M. Minnaert on suurepäraselt kirjeldanud raamatus «Valgus ja värv looduses»:

«... On öö. Kaugelt kostab läheneva auto müra. Laternad heidavad pimestavaid valgusvihke laiale maanteele. Jalgrattur lõikab need valguskiired juhuslikult läbi, nii et me satume hetkeks tema varju. Ja siis ümbritseb jalgratturi siluetti järsku hämmastavalt kaunis valgus, mis just nagu kiirgaks silueti servalt. Sama efekti võib märgata ka jalakäijate ja puude juures.»

Kuid see tähendab ju, et valgus võib painduda tõkke taha? Ja mitte «just nagu painduda», vaid tõepoolest seda teha.

Jah. Just niisama, nagu merelained painduvad muuli taha. Seda nimetatakse d i f r a k t s i o o n i k s (ikka sellessamas õpetatud ladina keeles). Kuid jõuga paisatud liivapeotäit meenutav valgusosakeste voog poleks saanud tõkke serva taha kaarduda. See on lainete lahutamatu omadus, mis tõigi Huygensi teooriale võidu. Newtoni ideed pidid taganema.

Kuid... «kunagi ei tohi ära põlata suurte inimeste ettenägemisi ja ennustusi». Seda ütles prantsuse füüsik ja astronoom Arago. On tähelepanuväärne, et tema ise, väljapaistev teadlane, töötades 19. sajandi keskpaiku Newtoni eluloo kallal, ei pidanud vajalikuks ainsatki sõna mainida korpuskulaarteooriast — nii vankumatuna näis tookord laineteooria. Ta põlgas ära Newtoni «ettenägemised ja ennustused», ehkki rääkis tema geniaalsusest igal leheküljel.

Tuleb välja nii, et millegi ärapõlgamiseks peab ette teadma, mis see asi väärt on!

Arago teadis, et valguse korpuskulid on füüsika eilne päev, kuid ta ei teadnud, et need on ka ennustus. Selliseid asju saadakse alati tagantjärele teada. Kui ilmusid Plancki kvandid ja Einsteini footoniteooria, meenusid kõigile Newtoni unustatud korpuskulid.

Kuid just nüüd ei saanud nende meenutamine teadusele enam midagi olulist anda: footonite ja vanade korpuskulite füüsikalistes omadustes ei olnud peaaegu mitte midagi ühist. Ja footonid ei ilmunud mitte seepärast, et Einstei-

nile oleks Newton varem meelde tulnud kui teistele, vaid seepärast, et ainuüksi valguse lainelisusega ei saanud enam seletada uusi fakte. Tuli näha pidetut rahet seal, kus enne nähti vaid pidevat tuult. Kuid kõige hämmastavam — sellest tuleb veel juttu — on fakt, et osakeste juurde tuli tagasi pöörduda, laineist loobumata.

... Kuigi ahel sulgus, footoni elulugu siinkohal muidugi veel ei katke. Pigemini siit alles algab peamine. Tõsi, see peamine pole ajalooliselt üldse seotud valgusosakese elulooga: meil tuleb puudutada veel ühe XX sajandi loodusteaduse revolutsioonilise teooria, relatiivsusteooria füüsikalist läbinägelikkust. Tuleb heita pilk mateeria liikumise seaduste kummalisse mitteklassikalisse maailma, mille avastas Einstein. Meie reisimärkmeis ilma selleta hakkama ei saa. (Üks teravmeelne filosoof sõnas, et jalutava inimese kohta ei saa kunagi öelda, nagu teeks ta kõrvalepõike. See kõrvalepõige ise ongi jalutuskäigu marsruut.)

Püüame siis, vastupidi relatiivsusteooria tekkeloole ja sellest jutustamise traditsioonidele, võtta teejuhiks nende ideede kummalisse maailma just footoni kui ühe «mateeria algalustest». Võib-olla avaneb see maailm siis meile kaalukana, kompaktsena ja nähtavana — ei jää abstraktsiooniks, vaid muutub füüsikaliseks paratamatuseks.

NELJAS PEATÜKK

- «Kohe jõuate ise relatiivsusteooriani!»
- Valgust ei saa peatada.
- Gümnasist Einsteini kummalised mõtisklused.
- Atsteekide kivist peegel.
- Vana kooliõpetaja hämmeldus.
- Vankumatud seadused ripuvad juuksekarva otsas.
- Ei maksa klassikuid hukka mõista.
- Imetaolise valemi lihtsus.
- Kerges ja kiires maailmas...
- Kahtlused tekivad ja hajuvad.

Kui inimesed lepivad kokku kõnelda kaasaegse füüsika kujutlustest ilma igasuguse matemaatikata ja pealegi ilma füüsikaliste terminiteta, muutuvad nad otsekohe kurttummadeks või rändureiks, keda ületamatu uudishimu on paisanud tundmatute inimeste keskele tundmatuile saartele: seal pole küsimus enam üksikasjades, peaasi kui saaks end kuidagi mõistetavaks teha. Kuid ei saa ju alustatud reisi keelenappuse pärast katkestada!

Erinevalt vanast entsüklopeediast on uue vastavas köites loomulikult olemas sõna «footon». Kuid see, mis me sealt loeme, ei paku kergendust: teatis on kirjutatud neile, kes asjast niigi teadlikud on, neile, kes teavad, et footoni energia on võrdne $h\nu$-ga, paigalseisu mass võrdub nulliga ja spin ühega ning järelikult allub footon Bose-Einsteini, mitte aga Fermi-Diraci statistikale, ja nii edasi ja nii

edasi, jutt, mis enamusele inimkonnast on seitsme pitseriga raamatuks. Entsüklopeediat süüdistada ei saa: see paisuks tuhande köiteni, kui annaks selgitusi, mitte ainult informatsiooni.

Kõige lihtsam, kõige sügavam ja kõige käsitamatum andmete hulgas on see, et footoni s e i s u m a s s võrdub nulliga. Hämmastavad sõnad «seisumass» ja «null». Esmalt räägime nullist...

Oleme õigusega harjunud pidama massi mateeria hulga määraks. Kuuldes, et leidub osakesi ilma massita, nullsuurus on aga mitteeksisteeriv suurus, on meil õigus viivitamatult vastu väita: «Tähendab, selliseid osakesi pole olemas!» Kas võib meid sundida uskuma ebamateriaalsetesse kehadesse?

Kas tõesti võisid füüsikud leppida sellise mõttetusega?! Miks tahtnuksid nemad, füüsikalise maailma seaduste uurijad, tuua oma teadusse midagi ebamateriaalset?

Kuidas jääb sel juhul footoni nullmassiga? Kõigepealt tuleb asja tähelepanelikult uurida: jutt pole massist üldse, vaid s e i s u m a s s i s t. See väike täiendus ongi siin kõige tähtsam. See ütleb meie veendunud materialistlikule teadvusele kohe ette ainsa väljapääsu raskest olukorrast: kui füüsikud k i n n i t a v a d, et paigalseisva footoni mass võrdub nulliga, siis tähendab see, et paigalseisvaid footoneid pole looduses olemas! Millised footonid siis on olemas? Valikuvõimalusi pole: ainult l i i k u v a d. Teiste sõnadega, valgust ei saa peatada.

Seisatugem korraks. (Oleme rändurid, aga isegi kiirustavad rändurid aeglustavad sammu, kui nende teele ilmub midagi imepärast.)

Kui ülitark paistab väljendus: «Paigalseisva footoni mass võrdub nulliga!» Ja kui lihtsalt kõlavad sõnad: «Valgust ei saa peatada!» Muidugi seepärast, et esimene väljendus on teaduslik, loogiliselt distsiplineeritud, teine aga vaba, sarnane lennuka, kuid mitte kellegi jaoks kohustusliku värsireaga. Kas siis tõepoolest need väljendused, nii erinevad, et neis ei lange kokku ükski sõna, tähendavad üht ja sedasama? Ehkki see näib kummalisena, on selles väga kerge veenduda.

Tegusõna «peatama» tuleb mõista ainult kui tegevust, mis viib paigalseisuni, aga sõnu «ei saa» dešifreerida looduse keeluna, millest mitte kuidagi pole võimalik mööda hiilida. Kogu küsimus on selles, kuidas füüsikaliselt kõige

tugevamini väljendada paigalviibimise keelu kategoorilisust. Kõige otsustavam ja vastuvaidlematum viis on tunnistada, et valguse jaoks võrdub paigalseis mitteeksisteerimisega. Kas on aga tarvis korrata, et mitteeksisteerimine võrdub mittemateriaalsusega? Mittemateriaalsus on massi puudumine, massi võrdumine nulliga. Tulebki tõepoolest välja, et kaks väljendust eri keeltes — poeetilises ja füüsikalises — räägivad ühest ja samast.

Näete, poleks vajagi olnud otsida entsüklopeediast kuiva akadeemilist teatist footoni massi omadustest. Meie «reisimärkmete», rangetest asjadest vestva ebarange jutustuse laadile oleks tõenäoliselt kohasem kohe esitada lihtne, kuigi küllalt kummaline küsimus: kas valguskiirt saab peatada. Aga pärast jääda hea usu peale rahule napi vastusega: ei, ei saa! Ja alles siis hakata arutama, mida see tähendab ja millistele järeldustele viib.

Nõnda oleksingi talitanud, kui poleks kartnud, et jutustus hakkab näima tühja lobisemisena: teate, on veidrikke, kes armastavad parema tegevuse puudumisel esitada mõistatusi ja keerutada mõttetuid oletusi, mis algavad sõnadega «mis oleks siis, kui . . .» Seepärast paistis mulle kindlamana alustada siiski füüsikute korrektsest väitest: «Footoni seisumass võrdub nulliga.» Kuid miks ma jutustan siinkohal autori köögist? (Pole just eriti huvitav teema.) Aga seepärast.

Kui käesolev alapeatükk juba valmis sai, märkasin ma, ei tea küll mitmendat korda imetoredat raamatut «Einstein ja kaasaegne füüsika» lehitsedes, seal ühte kohta, mis varem näis mulle ainult huvitava ajaloolise üksikasjana. Nüüd valgustas seda äkki uus mõte. Need olid mõned lühikesed lõigud Leopold Infeldi mälestustest Einsteinist. «Mis juhtub, kui keegi jookseb valguskiire järel ja katsub seda kinni püüda?» Infeld kirjutab, et Einstein jutustas talle, pealegi korduvalt, kuidas ta oli juba kooliaastail selle küsimuse juures nuputanud.

Aga see on ju niisama hea kui küsida, kas valguskiirt on võimalik peatada. Katsuda kinni püüda — kas pole see sama, mis katsuda peatada?

Leopold Infeld, praegu tuntud Poola akadeemik, oli üks vähestest Einsteini õpilastest ja lähedastest sõpradest. Ja ma mõtlesin, et kui juba Einstein ise kõneles oma kõrgesti õpetatud kolleegile ülitõsistest asjadest ilma «peletava tõsiduseta», kui ta jutustas oma ideedest nii vabalt ja

sundimatult, siis pole kellelgi õigust selle eest hukka mõista lihtsurelikke nagu meie sinuga, lugeja.

Jah, poleks pruukinudki entsüklopeedias sorida . . .

Einstein oli viieteist-kuueteistaastane, kui teda hakkas vaevama küsimus kinnipüütud valguskiirest. Küsimus kõlas lapselikult. Kuid selle taga peitusid niisugused sügavused, et tol ajal, aastail 1894—1895, ei oleks ükski täiskasvanu suutnud rahuldada Müncheni Luitpold-gümnaasiumi koolipoisi uudishimu. Veel täpsemalt, tollal poleks ükski täiskasvanu suutnud isegi mõista, mida õieti taotles, millega end vaevas, mis erutas seda vähese jutuga gümnasisti, mõtlikku nagu tema viiulgi. See selgus hiljem, kümne aasta pärast, kui gümnasist muutus suureks teoreetikuks ja avaldas ajakirjas «Annalen der Physik» lõpuks ometi oma vanale kooliaegsele mõistatusele leitud vastuse. Vastus oli nii üllatav, ütles füüsikuile nii ootamatult palju uut loodusseaduste kohta, et sellest hetkest algas inimkonna loodusteaduslikes vaadetes veel üks revolutsioon, mis tagajärgedelt on võrreldav kvandi poolt esilekutsutud revolutsiooniga.

Einstein tegi teoreetiliselt kindlaks selle, mida meie hea usu peale võtsime: valgust ei saa peatada! Ta j õ u d i s väiteni, mis meid algul hämmeldas: «Footoni seisumass võrdub nulliga.» Kuid muidugi oli see ainult üks ennekuulmatuist füüsikalistest uudistest, mida ta maailmale andis.

Muide, ärgem tõtakem.

● Esimene hämmeldus kummalise fakti üle, et on olemas elementaarosakesi, mille seisumass on null, näib juba möödas olevat. Hämmeldus kadus pärast seda, kui otsustasime ainsa võimaliku järelduse kasuks: tähendab, need osakesed ei seisa kunagi paigal. Niisugune järeldus kõrvaldas otsekohe vastuolu footonite olemasolu, see tähendab nende materiaalsuse, ja nende seisumassi puudumise, see tähendab nende näilise mittemateriaalsuse vahel. Ei, nad on olemas, kuid ainult liikumises, ja l i i k u d e s on neil mass muidugi olemas.

Ongi kõik.

Kuid oodake, jonnakas materialist ei taha taolise mõistatusliku järeldusega muidugi leppida. (Aga materialist peabki olema jonnakas: tal on lihtne ja selge tõde, mis ei luba reetmisi.) Teda hakkavad ikkagi vaevama uued

kahtlused ja ta ründab füüsikut uute edasilükkamatute küsimustega. Ja kui kujutleda, et ta on seejuures veel klassikalise füüsika (ja ainult klassikalise füüsika!) vaimus kasvatatud vana kooliõpetaja, siis jääb tal üle ainult imestust tunda järjest kummalisemate vastuste pärast, mida ta tahtmatult kuuleb, ja uskumatute oletuste üle, mis ta enda peas tekivad.

«Lubage,» sõnab ta ägedalt, «see teie kummaline, varem kõigile tundmatu seisumassi mõiste jätab totra mulje, nagu sõltuks keha mass sellest, kuidas ta liigub. On ju Galilei ajast teada, et liikumine ja paigalseis on suhtelised. Kui ma jooksen palli hoides, on pall minu suhtes paigal, tribüünil olevate vaatajate suhtes aga liigub. Teie kinnitate, et valgusosake eksisteerib ainult liikudes. Kuid kas ma ei või kujutleda, et mul on õnnestunud footonile järele jõuda ja ma lendan tema kõrval? Just sellest mõtleski kuueteistkümne-aastane Einstein. Siis on footon minu suhtes paigal ja tema mass võrdub m i n u j a o k s nulliga. Järelikult, minu jaoks teda enam ei eksisteeri? Aga t e i s t e j a o k s? Vaatajate jaoks, kes jälgivad meie ühist lendu? See on ju nõiavärk! Footon ei eksisteeri ju mitte seepärast, et ma teda vaatlen. Ja ta ei või kaduda ainult seepärast, et mulle tuli idee lennata tema kõrval. Kas on nii või ei ole?»

«Muidugi on!» vastab füüsik, kuid pärib: «Vabandage, mis aastal te sündinud olete?»

«Pole tähtis!» pahandab vana õpetaja. «Loodusseadused ei saa sõltuda sellest, millal mina ilmale tulin...»

«Muidugi ei saa. Kuid õnneks sõltub nende seaduste t u n d m i s e t a s e sellest, millal me sündisime. Oleks õudne, kui Lomonossov teadnuks ainult seda, mis inimesed enne teda, meie aga ei teaks rohkem, kui teadis Mendelejev. Otsustades teie põhjenduste ja veel selle järgi, et pahandate, elate te möödunud sajandi teadmiste tasemel. Kuid meil on kerge kokkuleppele jõuda. Eelarvamused on teile võõrad: te ei eita fakte ainuüksi seepärast, et nad tunduvad teile seletamatuina. Mõni teine teie asemel, s. t. mõni dialektikat põlgav dogmaatik, heidaks footoni pihta kivi lihtsalt selle õnnetu nullväärtusega seisumassi pärast... Mäletan, kuidas enne sõda üks Moskva professor N. «heitis kivi» relatiivsusteooria pihta. Praegu nagu ei usukski, kuid Lorentzi vanade, e n n e Einsteini tööde ilmumist peetud loengute uuele väljaandele kirjutas ta

kakskümmend viis aastat p ä r a s t neid töid eessõna, mis oli täis lootust eetri taassünnile!... Niisuguseid asju juhtub. Ei taha mainida tema nime, lugu on vana ning ta oli siiras inimene, sisendas poolehoidu, teadis palju. Muide, kandis ta nagu teiegi ilusat professorihabet. Mitte Kurtšatovi moodi, partisanlikku ja vabalt kasvanut, vaid sellist, teate, hoolitsetud väikest habet... Miks ma seda nimetasin? Aga seepärast, et tema habe oli noil kolmekümnendail aastail tohutult vanamoodne nagu teiegi oma tänapäeval. See meenutas just nagu sihilikult üheksateistkümnendat sajandit, kuhu ta tervikuna kuulus.»

«Suurepärane loodusteaduse sajand! Darwin, Lobatševski, Faraday, Mendelejev, Maxwell...»

«Oo, loomulikult! Kuid küsimus on selles, et järgnes kahekümnes. Einstein, Pavlov, Rutherford, Bohr... Ainuüksi meie sajandi esimese veerandi kestel sai teadus looduse kohta nii palju uut ja ootamatut teada, et käesolev sajand muutus kohe oma suure eelkäija vääriliseks ning võib-olla isegi ületas selle. Nii näib mulle. Kuid me oleme täiesti unustanud valgusosakese seisumassi.»

«Mina küll ei ole!» vaidleb vana õpetaja vastu. «Aga teie otsustasite nähtavasti minust lahti saada tavaliste väidetega kahekümnenda sajandi novaatorlikest, kuid arusaamatuist ideedest. Ja miks on just kahekümnendal sajandil ilmunud nii palju arusaamatut niihästi kunsti kui ka teadusse?» muigab ta, kuid hammustab huulde, kuna talle meenuvad nähtavasti mõistatuslik eeter, kahtlustäratav tühjus, seletamatu kaugmõju, naiivsed aatomikerakesed. «Ei, nii ei lähe!» lisab vana õpetaja. «Ma armastan selgust. Ma pole pelglik inimene: fakte ma ei karda, ammugi veel loogikat. Ja ärge mõtelge, et ma tahan kõike iga hinna eest ümber lükata, ma tahan teid ainult mõista.»

«Aitäh, pagan võtaks. Siis on kõik korras!» hüüab rõõmsaks muutunud füüsik. «Faktid ja loogika, loogika ja faktid! Kas te relatiivsusteooriast midagi teate?»

«Peaaegu mitte midagi. Üldisi sõnu.»

● Pärast lühikest pausi lausub füüsik:

«Hea küll. Kohe jõuate ise mõõdapääsmatult selle ideedeni... Niisiis, millise järelduse tegite väitest, et paigalseisva footoni mass võrdub nulliga? Te meenutasite, et paigalseis on suhteline. Vaieldamatult. Aga seejärel

eeldasite, et kui teil õnnestub lennata koos footoniga, siis asub see teie suhtes paigal, järelikult muutub tema mass teie jaoks nulliks ning osake kaob. Aga samal ajal eksisteerib see footon teiste jaoks edasi! Täitsa selge, et see on kisendav mõttetus või, nagu te äsja tähendasite, tont teab mis. Siis jääb üle otsida lünki teie arutluses.»

«Kuid see on nii lihtne ja laitmatu!» muigab vana vilunud vaidleja. «Muidugi, footon jääb alles ka siis, kui ma talle järele jõuan. Kuid järelikult ei saa ta minu suhtes paigal seista, sest sellisel juhul ta kaoks... Aga lubage, see on ju mõttetus: me lendame kõrvu, ent ei ole teineteise suhtes paigal! Ma ei mõista, kuidas see võimalik on. Pidage mind kas äbarikuks või siis vanaks lollpeaks, kuid ma ei mõista, k u i d a s see on võimalik.»

«Muidugi on see võimatu. Me ei märka Maa lendu, sest lendame koos temaga. Milline loogiline väljapääs siis jääb? Kui te tõesti loogikat ei karda, siis teadke, et jääb üksainus väljapääs: arvestada, et te kunagi ei suuda footoniga kõrvu lennata. Kujutlege, et teil oleks olnud õnn olla Albert Einsteini gümnaasiumiõpetaja. Siis oleksite poisikese küsimusele pidanud vastama, et katse valguskiirt püüda ehk, täpsemalt öeldes, taga ajada on juba ette määratud läbikukkumisele. Selles ongi asi.»

«Juba ette läbikukkumisele määratud? Mis see tähendab? Ah, mõistan, te tahate nähtavasti öelda, et ma ei suuda valguse kiirust tehniliselt saavutada? Küllap see on tõepoolest raske. Aga egas me tõsiselt räägi: ma teen ainult mõttelist eksperimenti. Mind ei huvita üldse, kuidas saavutada footoni kiirust. Meie üheksateistkümnes sajand ja meie esivanemadki ei tundnud arutluste käigus kunagi huvi niisuguste asjade vastu.»

«Asjatult...» sõnab füüsik. «Mil viisil te sellist kiirust kavatsete saavutada, see pole tõepoolest tähtis. Kuid kas te põhimõtteliselt võite seda saavutada, kas seda lubavad füüsikalised loodusseadused, mitte ainult meie matemaatiline kujutlusvõime, — vaat mis on oluline. Te olete ju materialist. Me veendusime äsja, et kui see oleks võimalik, siis footon kaoks, ehkki eksisteeriks samal ajal edasi. Meil pole valikut: see on võimatu. Olete nõus?»

«Nõus...» vastab aus kooliõpetaja pärast järelemõtlemist. «See tähendab, ma oleksin nõus, kui footon liiguks lõpmata suure kiirusega. Siis kaotaks eeldus, et ma lendan tema kõrval, tõepoolest igasuguse mõtte: lõpmata suure

kiiruse korral poleks ei footonil ega minul tarvis üldse mingit aega, et jõuda kuhu tahes: naabermaja, Kuu, Krabi udukogu juurde, ühesõnaga, ükskõik millisele kaugusele väljalennu kohast. Sest kui selleks kuluks mingi olgu või kõige tühisem ajavahemik, siis poleks meie kiirus enam lõpmata suur. Lõpmata suure kiiruse korral võiksime — footon või mina — väljalennu momendil asuda väljalennu punktis endas või ükskõik millisel kaugusel sellest. Füüsikaliselt on lõpmata suur kiirus mõttetus. Õnneks ei ela me Newtoni ajal, mil arvati, et füüsikaline mõju võib levida silmapilkselt: just nimelt nii toimisid Newtonil gravitatsioonijõud. Pole minu asi sellest teile jutustada ja pole minu asi teile meenutada, et valguse kiirus mõõdeti ära juba Newtoni eluajal, et sel on suur, kuid siiski lõplik väärtus — kolmsada tuhat kilomeetrit sekundis. Tähendab, footon liigub just niisuguse kiirusega. Mis võib siis mind takistada saavutamast niisugust kiirust — kolmsada tuhat kilomeetrit sekundis? Mitte praktiliselt, vaid põhimõtteliselt? Kas seda takistavad mingisugused loodusseadused? Ma ei tea sellest midagi.»

«Üheksateistkümnendal sajandil ei teadnud seda keegi,» naeratab füüsik, «peale looduse enda. Aga tema on tumm, kuni teda ei küsitleta, ega jutusta oma seadustest valju häälega, ehkki üldse ei varja neid. Aga meie teiega arutame kui teadlased, ja millisel sajandil me ka ei elaks, kui meil j u b a o n t e a d a kaks fakti, esiteks, et valgusosakese s e i s u m a s s võrdub nulliga, ja teiseks, selle osakese kiirus võrdub kolmesaja tuhande kilomeetriga sekundis, siis jõuame möödapääsmatult järeldusele, et m i t t e ü k s k i materiaalne keha ei või niisugust kiirust saavutada. Muidu osutuks footon sellise keha suhtes paigalseisvaks ja peaks millegipärast kaduma. Imesid me aga ei usu.»

«Ei usu,» kordab kajana vana õpetaja.

«Tuleb välja, et looduses on olemas füüsikaline piirkiirus. See on valguse kiirus. Algul tundub, et sellega on raske leppida. Kuid te ise alles äsja veensite mind, et reaalse liikumise lõpmata suur kiirus on füüsikaliselt mõttetu. Tuleb välja, et teid ei peaks piirkiiruse olemasolu väga hämmeldama. Muide, veel üks huvitav väide selle kasuks, et valguse kiirus on kiiruste piir. Kujutleme hetkeks, et teil õnnestuks siiski valguse kiirusest kiiremini lennata. Siis jõuaksite vähehaaval järele valgusele, mis on

allikast väljunud enne teie väljalennu hetke. Esiteks jõuaksite järele eilsele valgusele, pärast — üleeilsele, seejärel valgusele, mis väljus allikast juba aasta tagasi. Ja nii edasi. Kui selliseks allikaks oleks elu kajastav peegel, siis näeksite esiteks eilset päeva, siis püüaksite kinni veel varasema pildi, seejärel veel varasema. Ühesõnaga, te liiguksite olevikust minevikku. Põhjused ja tagajärjed vahetaksid sellises eluprotsessi kajastuses kohad.»

«Jah, muuseas,» katkestab vana kooliõpetaja füüsikut, «muistsed atsteegid kujutasid oma peajumalat poleeritud kivipeegliga käes. Ja nad uskusid, et sellest peeglist paistavad kõik maailmas toimuvad sündmused. Te võite seda Lõuna-Ameerika indiaanlaste legendaarset peeglit oma paradoksi jaoks kasutada.»

«Suurepärane!» sõnab füüsik. «Niisiis, jõudes mööda kiirtest, mis kannavad poleeritud kivist eemale mõne inimese kogu elu sündmuste järjestikust peegeldust, näeksite algul rauka, seejärel noormeest, kes otse teie silme all muutuks lapseks. Kui teil oleks reaalne võimalus valgust kinni püüda, siis ei oleks see kõik teie kujutluse mäng. Tuleks välja, et elu kulg ning põhjuse ja tagajärje järgnevus on paljas tinglikkus. Kõik sõltuks vaatlejast: ülejäänud inimeste jaoks eelneks minevik tulevikule, teie jaoks oleks aga alguses tulevik ja pärast minevik. Muide, see paradoks, mis pole niivõrd füüsikaline kui just spekulatiivne ja loogiliselt mitte päris laitmatu, peitus selleski veidras küsimuses, mis köitis gümnasist Einsteini. Kas te olete juhuslikult mõelnud sellest, kui suurepärased aastad need olid füüsika ajaloos, Einsteini varajase nooruse aastad? Ta oli viieteistkümne-kuueteistkümne aastane, kui Aleksander Popov Venemaal, Ernest Rutherford Uus-Meremaal, Guglielmo Marconi Itaalias otsisid ja leidsid viisi, kuidas raadiolaineid vastu võtta ja edasi anda, kui Wilhelm Röntgen Saksamaal avastas kõikjale tungiva lühilainekiirguse, kui Henri Becquerel tegi Prantsusmaal katseid, mis lõppesid radioaktiivsuse avastamisega, kui Joseph Thomson Inglismaal hakkas tõestama elektroni olemasolu... Laboratooriumides ja teadlaste peades küpses loodusteaduse kahekümnes sajand.»

«Te lähete hasarti ja kaldute teemast kõrvale.»

«See on andeksantav. Ma tahtsin teile lihtsalt näidata, et Einsteini mõte kasvas ja tugevnes laialdaste ja mitmekesiste teaduslike otsingute ning suurte ootamatute avas-

tuste viljakal ajastul. Aga mis puutub paradoksi põhjuste ja tagajärgede tagurpidisest järjekorrast, siis on juba selge, kuidas sellega toime tulla. Tuleb nõustuda, et loodus ei luba mitte mingisugust mateeria ümberpaigutamist ruumis valgusest suurema kiirusega. Selles paradoksis on ebareaalne kõigepealt oletus, et teie keha suudab kiiruses edukalt võistelda valgusega. Ebareaalne on ka teie füüsiline keha, mis on heal arvamusel, et võib valguskiirtele mitte ainult järele, vaid koguni neist ette jõuda.»

«Jaa-aa, huvitav...» vastab vana õpetaja. «See mulle meeldib. Kuid paljusid inimesi võib segadusse viia järgmine asjaolu: mõttes jõuab igaüks Päikesele ja sealt tagasi silmapilgu jooksul, aga valgusel kulub sealt tulekuks kaheksa ja pool minutit. Kas ei tule välja, et inimmõte on midagi palju kiiremat kui valgus? Ma ei saa ju oletada, et mõte on mittemateriaalne ime. Kujutleda, et mõtte puhul loodusseadused ei kehti, ma ka ei või. Mida siis teha?»

«Noh, see on juba väga lihtne!» naeratab füüsik. «Kui te kandute mõttes Maalt Päikesele, siis ei toimu füüsikalis-materiaalne protsess mitte Maa ja Päikese vahel, vaid teie ajurakkudes. Midagi seal muidugi nihkub, toimub midagi materiaalset. Biofüüsikud ja biokeemikud uurivad kord täielikult läbi selle keerulise mehhanismi. Ja vahemärkusena olgu öeldud, et vaevalt see neil õnnestukski ilma teaduseta elementaarosakestest. Kuid vahemaad ajurakkudes on nii väikesed, et isegi aeglase mõtlemise puhul kulub sellel ajuprotsessil — lennuks Maalt Päikesele — tühiselt vähe aega. Selline reaalne mõte on väljendusel «silmapilkselt».»

«Jaa, ma taipasin seda kohe, kuid ei tahtnud teid katkestada. Ja kas teate, mulle näib, et ma aiman, missuguse mateeria omadusega peab olema seotud piirkiiruse olemasolu... Tõsi, see oletus muudab materiaalsete kehade liikumise tavalist pilti, mida olen koolis lastele nii palju aastaid maalinud, kuid vana pilt ei kõlba nüüd enam niikuinii.»

«Ma ju ütlesin, et jõuame teiega kergesti kokkuleppele,» ütleb füüsik rõõmsalt. «Jõuame kokkuleppele isegi ilma matemaatikata. Tulge oma oletusega lagedale...»

Ja vaat mis ta kuuleb, noogutades kogu aeg nõusoleku märgiks pead ja märkamata enam vanamoodsat habet noorenenud õpetaja innukal näol.

● Materiaalsed kehad — nii hiiglasuured tähed kui ka tibatillukesed osakesed — ei suuda ilma põhjuseta muuta liikumise olekut, kui nad liiguvad ühtlaselt mööda sirgjoont. Kuni kiirus ei muutu, jääb keha energia ühesuguseks. Kui kiirus suureneb, kasvab ka liikumise energia. Kuid see tähendab, et kiiruse suurendamiseks peab keha kusagilt energiat juurde saama.

Juhtugu niiviisi. Kuidas muutub keha kiirus? Õigemini, kui palju see muutub? Isegi mehhaanikas võhik taipab kähku: küllap sõltub see sellest, kui suur mateeria hulk peab kiirust muutma, teiste sõnadega, sõltub keha massiivsusest. Egas me asjata ole algusest saadik uhkust tundnud meie tehiskaaslaste massi üle. Ja egas asjata hämmastanud maailma kõige enam nende massiivsus: mida suurem on mass, seda raskem on anda raketile vajalikku kiirust.

Niisiis, kujutlegem raketti, mis on välja lastud ainsal eesmärgil saavutada valguse kiirus. Andkem talle «roheline tee»: kõrvaldagem absoluutselt kõik välised asjaolud, mis võivad teda takistada eesmärki saavutamast. Kõik on eeskujulikult korras. Kütus? Seda on nii palju kui kulub. Hõõrdumine? Seda pole. Raketi kuju ja materjali puudused? Need on täielikult likvideeritud. Valearvestused mehhanismide konstruktsioonis? Valearvestusi ei ole! Lendab ideaalne rakett. Ja ikkagi, nagu veendusime, valguse kiirust ta ei saavuta.

Kuna see on põhimõtteliselt võimatu, siis peab nähtavasti raketis endas peituma midagi, mis pole mitte mingil viisil kõrvaldatav ja takistab tema kiiruse piiramatut suurendamist. Mis see siis on?

Meie ideaalse raketiga võib teha kõike peale ühe: teda millekski mittemateriaalseks muuta, s. t. jätta ta ilma massist! Tuleb välja, et siit ja mitte kusagilt mujalt ongi tarvis kurja juurt otsida.

Võib-olla väikese raketiga läheb asi edukamalt kui suurega? Esialgu jah. Poissi on kergem jooksma panna kui paksu meest. Prootoneid on kergem kiirendada kui raskeid tuumi. Kuid kiiruse piir — 300 000 kilomeetrit sekundis — on kõigi kehade jaoks ühesugune. See on paratamatult nõnda, sest ei leidu niisugust keha, ei väikest ega suurt, mille suhtes footon seisaks paigal. Tähendab, nii prooton, poiss kui ka tüse mees peavad piirkiirusele lähenedes sattuma ühesugusesse olukorda. Millisesse? Samasugusesse kui erineva massiga raketid.

See, mis neid alguses eristas, s. t. erinevus massides, nähtavasti kaob kiiruste piiril. Midagi muud oletada pole võimalik, kui kurja juur peitub ainult kehade materiaalsuses endas. Valguse kiiruse juures ei saa mitte mingisugune kütusekulu, mitte mingisugune energia juurdevool enam karvavõrdki rakettide kiirust suurendada. Muidu poleks see piir! Kuid milline peab siis olema keha mass, et ükski jõupingutus sellega enam midagi teha ei suudaks? Selge, et l õ p m a t u!

Tuleb välja, et piirile — valguse kiirusele — lähenedes muutuvad nii prooton, poisike kui ka tüse mees või ükskõik milline rakett lõpmata «rasketeks». Siis kaob nende esialgsete masside vahe tõepoolest. Ja valguse kiirusega võrdne kiirus muutub nende kõigi jaoks ühtviisi kättesaamatuks.

Mõnikord võib kohata ebatäpset väljendust «osakesed liiguvad kosmilistes kiirtes valguse kiirusega» või «Dubna sünkrofasotronil kiirendavad füüsikud prootoneid valguse kiiruseni». Vahele on jäänud väike sõna «peaaegu»! Peaaegu valguse kiiruseni on see võimalik. Aga kui need osakesed tõepoolest omandaksid maailmaruumis või kiirendaja kambris t ä p s e l t valguse kiiruse, siis jõuaksid nad füüsikute laboratooriumidesse lõpmata raskena. See oleks aga ilmselt juba üleloomulik katastroof, eks?

● Niiviisi leidis jonnakas materialist kiiruste piirile kõige loomulikuma materiaalse põhjuse: kiiruse suurusest sõltub keha mass ja sõltuvus on niisugune, et mass muutub lõpmatuks, kui kiirus saab võrdseks valguse kiirusega.

See järeldus tekkis sunniviisiliselt, paratamatult: kui valguse kiiruse saavutamise hetkeks poleks meie ideaalse raketi mass veel lõpmata suureks muutunud, siis ei takistaks m i s k i raketti edaspidigi kiirust suurendamast.

Muidugi, ainuüksi arutluste abil läks õpetajal raskeks kindlaks teha massi kasvamise seaduse matemaatilist vormi. Kuid see oli juba kolmandajärguline asi. Talle sai selgeks kõige tähtsam — uus, 19. sajandil tundmatu füüsikaline loodusseadus.

See oli niihästi ootamatu kui ka rõõmustav nagu kõige uue omandamine, ja samal ajal pisut kohutav: endine pilt liikuvast mateeriast purunes tõepoolest silmanähtavalt!

Füüsikaliste kehade mass näis alati muutumatuna. Alati mõeldi, et loodus või inimene saavad seda suurendada või vähendada ainult kirurgilisel teel: rebida tükk ainet keha küljest ära või kleepida selle külge uus, teisest kohast võetud tükk. Seda nimetatakse massi jäävuse seaduseks. Ja nüüd selgus, et lugu on hoopis teisiti.

Massi jäävuse seadus jäi just nagu juuksekarva külge rippuma: veel üks halastamatute füüsikafaktide ja niisama halastamatu loogika puudutus — ning juuksekarv katkeb. Mis siis saab?

Vana õpetaja, kes loogikat ei kartnud, sulges isegi hetkeks silmad: ta kujutles korraga maailma, kus mass kasvab ja kasvab ilma aineosakeste arvu vähimagi muutuseta! See kasvab ja kasvab ainult seetõttu, et tähed maailmaruumis ja elektronid aatomeis hakkavad üha kiiremini liikuma. Ja kohe asendus see pilt tema kujutluses teisega, sellega, kuidas mass kaob, ilma et ta mõnes teises kohas uuesti ilmuks: tähed ja elektronid hakkasid aeglasemalt liikuma ning nende mass hakkas kahanema. Vanamees tõstis juba rusika, et tugevasti vastu lauda põrutada: «See on sonimine! Seda ei või olla, seepärast et...» Ta oleks peaaegu lisanud: «Seepärast et seda ei või kunagi olla,» kuid talle meenus Tšehhov ja ta naeratas. «Nähtavasti kiirustan liialt,» mõtles ta ja vallandas käe rusikast, «selle kahekümnenda sajandiga ei maksa naljatada, aga mina unustasin ära, et tungisin siia üheksateistkümnendast. Tuleb mõelda, tuleb hoolikalt mõelda, muidu võib muutuda dogmaatikuks nagu paavsti teenrid.»

Ja ta jäi mõttesse. Aga füüsik ei tulnud talle laitmatute matemaatiliste valemitega appi. Ta teadis, et inimene, kes on otsustanud mõelda, mitte ainult vanu tõdesid korrata, ei lähe kunagi teadusega tülli.

● Kahtluse alla sattus vankumatu mateeria jäävuse seadus.

Aga mispärast vankumatu? Seepärast et mass on mateeria hulga mõõt. Massi tekkimine m i t t e m i l l e s t k i või massi muundumine m i t t e m i l l e k s k i on võrdselt mõttetud niihästi füüsiku kui ka filosoofi jaoks (isegi kui esimene seisab kaugel filosoofiast, teine aga füüsikast).

Kas sõnadel «maailmaruumi piiri taga» on mõtet? Sellist piiri ei saa kujutleda, sest siis tuleb möönda, et selle taga peab olema m i d a g i, millest see piir maailmaruumi eral-

dab, aga k õ i k, m i s o n o l e m a s, moodustabki maailmaruumi. Võib kujutleda igasuguseid mateeria muundumisi peale ühe, hävimise, sest siis peaks miski muutuma millekski, mis pole mateeria, millekski, mis ei kuulu maailmaruumi. Kuid sinna kuulub kõik. Mateerial pole k u h u g i kaduda ja tal pole k u s t k i tekkida, sest ta on iseenda allikas.

Segadusse sattunud vanale õpetajale tundub massi jäävuse seadus juuksekarva otsas rippuvat, ometi tegi ta tõelise materialistina ainuvõimaliku otsuse: toetuda sellele, mis ähvardas puruneda, toetuda maailma üleüldisele materiaalsusele ja selle abil hädast pääseda.

Ja ta mõistis silmapilk! Kohe asus iga asi oma kohale . . .

Ta ütles endale: «Kui rakett saab kiirenedes massi juurde, siis tähendab, et keegi peab seda kaotama. Tuleb ainult selgitada, kes ja kuidas.» Kõik oli nii lihtne, et ta nägu läks otsekohe rõõmsamaks.

Ta kaalutles: mis juhtub tegelikult raketi lennu ajal ümbritsevas maailmas? Just nimelt ümbritsevas maailmas, tähendab, väljaspool raketti, sest ei saa ju rakett ise end uue massiga varustada?! Kuid meil on ju ideaalne rakett, talle on loodud «roheline tee»: kõik välismõjud on kõrvaldatud.

Kuid kas tõesti k õ i k? Kust võtab ta siis energiat kiiruse suurendamiseks? Ei, täpselt niisamuti, nagu ei saa raketti ilma jätta massist, nii ei saa teda vabastada ka pidevast ühendusest lennata võimaldava energiaallikaga. Milline see allikas on, see läheb juba tehnikavalda. Aga milline see ka ei oleks, üks on kindel: kõik, mille võrra rakett rikkamaks saab, võib tulla ainult energiaallikast! Teisi sidemeid ümbruskonnaga tal ei ole.

Mis siis toimub? Energiat ammutades ja kiirust suurendades saab rakett lõppkokkuvõttes massi juurde: suurendades üht, suurendab ta möödapääsmatult ka teist. Aga allikas? Kas see võib oma energiavarusid raketile andes vältida edasist saatust — massi kadu? Nähtavasti mitte. Muidu oleks raketil ümbruskonnaga veel mõni seos, keegi teine annaks talle massi, nii nagu allikas annab energiat. Kuid mitte kedagi ega mitte midagi «muud» ei ole: raketi saatus on energiaallika käes. Tähendab, tema varustabki mingil viisil raketti uue massiga iseenda arvel.

● Ah, kui veel reaalselt kujutleda, kuidas see kõik füüsikaliselt toimub! Ei kleepu ju energiaallika aine osakesed, näiteks kütuseterakesed, tegelikult raketi korpuse külge. See oleks mõttetus. Ja peale selle, kui nad kleepuksidki, siis, saanud nüüd osaks raketist, suureneks nendegi mass kiiruse kasvamise tõttu. Mille arvel siis? Mis nende külge «kleepuks»? Ja lõpuks pole meil nendest kütuseterakestest mitte midagi teada: põhimõtteliselt võib raketti mehhaaniliselt tõugata, anda talle laengu ja kiirendada teda elektrivälja abil, tõmmata teda ideaalse trossi abil üle ideaalse ploki... Katse on kujutletav, raketile energia andmise viis täiesti suvaline.

Raketi kere koostisse kuuluvate aatomite arv jääb kogu aeg muutumatuks. Aga mass kasvab! Kiiruse kasvades iga aatom just nagu paisuks uuest massist. Kuid aatomisse ei ilmu seejuures ei uusi elektrone ega uusi tuumaosakesi. Neid pole kuskilt võtta. Tähendab, iga aatomiosake muutub «massiivsemaks» seepärast, et võttes osa kiirenevast lennust, muutub ta üha «energilisemaks». Neid sõnu poleks tarviski jutumärkidesse asetada: osakesi laetakse tõepoolest üha uue ja uue liikumisenergiaga ning samal ajal võtavad nad millegipärast «kaalus juurde».

Et allikas annab raketiosakestele üle ainult energiat, siis pole meil, kes me imedesse ei usu, jällegi valikut: peame tunnistama, et just energia toob endaga kaasa uue massi. Esimese juurdevool on võrdväärne teise lisandumisega.

Energia ja mass on midagi ühtset.

Ja pole vaja rusikaga vastu lauda taguda. Massi jäävuse seadusest peetakse kinni k o o s energia jäävuse seadusega. Need kaks fundamentaalset loodusseadust sulavad nüüd üheks. Aga kujutlus maailma absoluutsest materiaalsusest ei kannata seejuures mingil määral, hoopis vastupidi, see muutub piisavalt täiuslikuks.

Mõte maailmast, kus mass üha kasvab ja kasvab, seepärast et tähed maailmaruumis ja elektronid aatomeis on hakanud kiiremini liikuma, pani nüüd õpetaja muigama. «Kuidas võis mulle selline totter pilt pähe tulla?» laitis ta iseennast. «K õ i k tähed ja k õ i k elektronid ei või ühekorraga kiiremini liikuma hakata. Kust võtaksid nad selleks tarviliku energia? Kes annaks neile koos energiaga massi juurde? Kui mingisuguste kehade liikumine kiireneb, siis teistel see paratamatult aeglustub. Selles on asi! Mõttetuste pärast ei tohi pead kaotada.»

Vana õpetaja oli selle uue teadmise, energia ja massi ühtsuse seaduse pärast jällegi niihästi rõõmus kui hämmeldunud: tal tuli ikkagi väga kaugele minna kõigest sellest, mida kunagi 19. sajandil teine vana pedagoog, samasuguse semstvotegelase habemega ülikooli professor, oli temale, tookordsele üliõpilasele, füüsika loengul rääkinud.

Polnud kerge uskuda, et kuum triikraud on raskem kui külm; et palavik suurendab haige kaalu; et lind on puuris kergem kui lennates; et Päike kaotab vahetpidamata valgust ja soojust maailmaruumi, kiirates koos energiaga ka massi, s. t. sõna otseses mõttes sulab inimkonna silme all... Keegi tuntud füüsik lausus suhteliselt hiljaaegu, et ei suuda leppida mõttega, nagu muudaks elektroni kiiruse kasv selle vähehaaval «arbuusiks». Niisuguse alandava karikatuurse arbuusiga tahtis ta välja naerda seda, mille ümberlükkamiseks tal ei jätkunud jõudu ja millega tema klassikaline teadvus ei suutnud leppida.

Ja samal ajal selgub raudse paratamatusega, et ei triikraud, lind ega Päike saa selliseid muundumisi vältida, ei saa teisiti «käituda»: energia kasv ja kulu tähendab massi kasvu ja kulu. Peaaegu valguse kiiruseni kihutatud elektron võib muutuda raskemaks mitte ainult arbuusist, vaid ka Maast ja kõigist Galaktika tähtedest ning üldse igast lõplikust massist maailmaruumis. Kõik sõltub ainult sellest, kui vähe tema kiirus valguse kiirusest erineb. Seda teoreetiliselt. Aga praktiliselt on kogu kunst selles, kuidas elektron säherduse kohutava kiirusega üldse liikuma panna.

«Aga tõepoolest,» mõtles järeleandmatu, kuid järjekindel vana õpetaja, «selline asjade seis on täiesti loomulik: kas oleks kergem leppida mõttega, et iga füüsikalise keha materiaalne olemus peab jääma täiesti osavõtmatuks niisuguse tähtsa sündmuse suhtes kui tema energia muutumine? Niisugusel arvamusel olid teadlased sajandeid. Nii õpetati mulle koolis ja mina õpetasin ka teistele. Kuid ausalt öeldes oleks mateeria osavõtmatus iseenda liikumise suhtes pidanud juba ammu kahtlasena tunduma niihästi füüsikuile kui ka filosoofidele. Viimased oleksid võinud isegi ennustada, et kunagi avastavad füüsikud sisemise seose kehade massi ja energia vahel. Kummaline, et filosoofid seda ei teinud! Veel kummalisem, miks füüsikud seda seost n i i kaua ei märganud.»

Ta tahtis ise leida vastuse sellele küsimusele. Ja talle

meenus, et veel suhteliselt hiljuti ei teadnud arstid mikroobide olemasolust, ehkki inimkond pole kunagi väsinud põdemast. Kolleegid naersid Pasteuri üle, samal ajal aga kubises mikroobidest vesi, mida nad pikkade protestikõnede vahele rüüpasid. Talle meenusid ka lõputud vaidlused aatomite olemasolu üle... Üliväike võib asuda meie kõrval, meie sees, aga meil pole temast aimugi!

Ja siis tuli talle lihtne mõte: küllap vastab isegi tohutu suurele energia juurdekasvule väga väike massi juurdekasv, nii väike, et harilike kaaludega seda mõõta ei saa. Kui lugu tõepoolest nii on, siis on füüsikute sajandeid kestnud pimedus andeksantav: see oli nende ebatäiuslike instrumentide pimedus.

● Muidugi oli vanal õpetajal seekordki õigus. Füüsik näitas talle otsekohe kuulsat energia ja massi seose valemit, üht loodusteaduse tähelepanuväärsemat valemit.

Kas tuua seda siinkohal või mitte? Me leppisime ju vaikselt kokku ajada läbi matemaatikata. Kuid kiusatusest on ikka raske hoiduda, tarvis kas või imetleda valemi lihtsust:

$$E = m \cdot c^2,$$

kus E on energia,
m — mass
ja c — valguse kiirus.

Kohe on näha, et isegi pisitillukesse massi on peidetud hiiglasuur energia, sest väike mass korrutatakse kolossaalse suuruse, valguse kiiruse ruuduga. Ja vastupidi: isegi hiiglasuurele energiale vastab tühiselt väike mass.

Hetkeks, mil meie poolteisetonnine Kuu poole lendav rakett saavutas teise kosmilise kiiruse — 11,2 kilomeetrit sekundis —, oli talle edasi antud gigantne energiahulk. Kuid raketi mass kasvas ainult ühe milligrammi võrra. Kõigest... Kui tühine on siis kasv näiteks kuumaks aetud triikraua kaalus? Või palavikuhaigel? Tõusku vaesekese kehatemperatuur kas või kolme kraadi võrra, näiteks kolmekümne seitsmelt neljakümnele. Tema kaal olgu 70 kilo, aga see, mida võib nimetada soojusmahtuvuseks, olgu tema keha jaoks võrdne vee soojusmahtuvusega — 1, siis mahutab ta keha ligikaudu 210 suurt kalorit liigset soojusenergiat. Missugune mass vastab sellele ülejäägile? Muutnud kalorid ergideks, väljendanud valguse kiiruse

sentimeetreis sekundi kohta ja leidnud selle ruudu, saanud hiiglasuure, 20 nulliga arvu — 900 000 000 000 000 000 000, siis aga jaganud energia selle arvuga, saame teada, et haige «kosus» ligikaudu ühe sajamiljondiku grammi võrra. Mitte just palju, eks ole?

Mitte mingid katsed ei suutnud sajandite kestel teadlastele anda vähimaidki vihjeid liikuvate kehade «kosumise» kohta. Meie suhteliselt aeglaste ja raskete asjade maailmas on niisugused juurdekasvud kääbusteks hiiglaste riigis. Maakera ise lendab mööda orbiiti 10 000 korda aeglasemalt kui footon. Kas võis siis tavaliste maapealsete kiiruste vaatlemine viia teadlasi mõttele, et kehade mass kasvab koos kiirusega?

Ja siiski oskasid kaks füüsikut juba enne Einsteini katselisel teel läheneda energia ja massi ekvivalentsuse suure seaduse avastamisele. Päris lähedale! Need olid professor Lebedev, kes uuris valgust, ja professor Kaufmann, kes tegeles elektronidega.

Pjotr Nikolajevitš Lebedev, kelle üle tunneb uhkust kogu maailma teadus, tõestas, et on olemas v a l g u s e r õ h k, mida oli ennustanud juba Maxwell. Ta tõestas seda niisama peenelt ja lihtsalt kuivõrd ümberlükkamatult: üllatavais katseis pani volta kaare valguskiir niidi otsas rippuva imekerge propelleri pöörlema ning sundis niidi sel kombel keerdu tõmbuma.

Valgus töötas mehhaaniliselt! Nagu tuul, nagu rahe... Elektromagnetilise energia voog avaldas päevselgelt, et tal on olemas mass. Selline teade ülemaailmsel füüsikute kongressil Pariisis tegi Lebedevi laialt tuntuks. Teadusele andis see aga veendumuse, et «puhta energia» (valgus) ja «puhta massi» (aine) vahel pole mingit kuristikku.

Ning jällegi väärib tähelepanu, et see sündis möödunud ja käesoleva sajandi piiril, tolsamal 1900. aastal, kui Planck esitas kvantide hüpoteesi. Selsamal füüsikute Pariisi kongressil tegid Marie ja Pierre Curie ettekande esimestest edusammudest radioaktiivsuse uurimisel. Ja sealsamas Pariisis selsamal aastal autasustas teine, elektrotehnikute kongress Aleksandr Stepanovitš Popovi diplomi ja kuldmedaliga raadio leiutamise eest.

Väljapaistvatel sündmustel teaduse ajaloos on harjumus kontsentreeruda lühikesse ajalõiku, jätta seejärel mõni aasta just nagu tühjaks, seejärel uuesti koonduda. Nii oli aastail 1895—1896, 1900, 1905. Kuid ka kõigil meie sajandi

järgnevail aastakümneil olid oma õnnelikud viljakandvad aastad. Üht sellist teetähist mateeria algaluste uurimise ajaloos märgivad päris hiljutised arvud — 1955—1956... Niisugused kontsentreerumised pole ajalooliselt juhuslikud, nagu pole juhuslikud ka rikkalikud viljasaagid põllul, mida päev-päevalt visalt haritakse.

● Kerges ja kiires maailmas — elementaarosakeste maailmas, ilmneb energia ja massi ekvivalentsus nii silmatorkavalt, nii tajutavalt, et kui seda seadust poleks relatiivsusteooria otsese järeldusena avastatud 1905. aastal, oleks see ikkagi kerkinud aatomifüüsika tööhüpoteesina, hiljem aga... Aga pärastpoole oleks varem või hiljem ikkagi loodud mateeria liikumise üldine pilt, mis langeks kokku Einsteini avastatuga. Võib-olla ei nimetataks seda siis relatiivsusteooriaks, vaid kuidagi teisiti, ent valguse kiirus vääriks selles siiski erilist kohta kui füüsikaliste kiiruste piirväärtus. Ja sel juhul muutuks eksperimentaatorite ajutine tööhüpotees iseendast rangelt kindlaksmääratud, purunematuks üleüldiseks seaduseks: $E = mc^2$.

Kahekümne kuue aastane kolmanda klassi ekspert Albert Einstein tuletas Šveitsi väikese patendibüroo kontorilaua taga ekvivalentsuse seaduse puhtteoreetiliselt, paberilehel, ja igatses seda katseliselt kontrollida. Eksperimenteerivad aatomifüüsikud oleksid seda seadust tunnetanud kärarikastes inimrohketes laboratooriumides puhtpraktiliselt: muidu ei suudaks nad kuidagi seletada aatomiosakeste kummalist käitumist.

Tõepoolest, kas mäletate Dubna kiirendaja kambris mööda kitsast rada lendavate prootonite kiiruse võrdlemist Maa esimeste tehiskaaslaste kiirusega?... Võib-olla lendavad footonraketid kunagi maailmaruumi niisama hoogsalt kui Dubna prootonid. Ja siis ei kasva nende rakettide mass enam mõne haleda milligrammi võrra: kiiruse juures 260 000 km/s. iga raketi mass k a h e k o r d i s t u b, oli näiteks poolteist tonni, sai kolm. Kuid Dubna prootonid rändavad veel kiiremini. Kogunud 10 miljardit elektronvolti energiat, igaüks neist rohkem kui k ü m n e k o r d i s t a b oma massi. Ja loomulikult tajuvad füüsikud katsetes ja arvestustes suurepäraselt hoolealuste massi kasvu: juurdekasv ületab ju tuhat protsenti! Seda «tundsid ette» ka kiirendaja konstrueerijad.

Dubna prootonid-miljardärid muutuvad niisama raskeks

kui süsiniku aatomid. Mida raskemaks nad muutuvad, seda raskem on neid kiirendada. Tuleb muuta aega, mille möödumisel vahelduv elektriväli kasvab, et raskenenud prootonid satuksid vajalikul hetkel kiirendusvööndisse ega hilineks kasvava koorma tõttu. Keerulise masina loonud konstruktorid nägid seda ette.

Lühidalt öeldes esineb tänapäeva tehnikas juhtumeid, millal isegi insenerid ei saa läbi ilma üldise seaduseta $E = mc^2$. Valem on lakanud olemast puhtalt teoreetiline asi ja saanud tehniliste juhendite omandiks. Aga mida teeksid ilma selle valemita aatomifüüsikud?

Nagu kõverpeeglite toas, kus sihvakad iludused näivad suurepealiste värdjatena, nii kajastuks arusaamatult moonutatud mikromaailm laboratooriumiriistadel. Heida või meelt! «Mis lummutis see küll on!» räägiksid füüsikud üksteisele. «Kas valetavad meie aparaadid lootusetult või ei tea me midagi kõige peamist.»

Pange tähele — kõige peamist!

Küllap kostab juba hääli:

«Pöörduge tagasi Dubnasse, pöörduge tagasi Aragatsile! Jutustage teaduse tänastest päevadest. Aitab kõrvalepõikeist!...»

Pean tunnistama, et nende «reisimärkmete» esialgse kavatsusega on tee peal tõepoolest midagi juhtunud. Tundsin äkki, et jutustus meie teadlaste tööst Dubnas, uute osakeste dramaatilistest otsingutest Aragatsil ja üldse jutustus mateeria sügavusi uurivast teadusest tuleb rõhuvalt udune ega kõlba mitte kuhugi, kui jätta võimalikult lihtsate sõnadega kujutamata selle kummalise maailma paratamatus, kuhu sukeldub kaasaegne füüsika.

Kummaliseks maailmaks on loodus ise nende seaduste ja joontega, mis jäid teadmatuks klassikalisele füüsikale. Ja seniajani tutvustab üldkohustuslik keskkool suuremat osa inimkonnast miskipärast ainult klassikaliste kujutlustega. Hiljem aga, pärast kooli, ei puutu see enamus enam kunagi füüsikaga kokku: inimesi valdavad teised huvid ja teised mured, igaüht tema tegevusalale vastavalt. Jõudnud koolipingil Newtoni kaasaeglasteks saada, ei jõua me enam Einsteinini. Tundes muret ainult selle üle, et teaksime peast Ohmi ja Gay-Lussaci seadusi, millega meil elus pärast enam midagi peale pole hakata, ei kanna kool üldse hoolt meie füüsikalise maailmavaate eest. Samal ajal

aga ihaldab igaüks kas või tajuda, kui vältimatu, tunnetada, kui paratamatu on see ebaklassikaline, kuulduste kohaselt täiesti arusaamatu mateeria liikumise pilt, mille maalib XX sajandi füüsika.

Seepärast peavad jutustuses elementaarosakestest kõrvalepõiked võib-olla olemagi peamised ja seepärast ei maksa olla ihnus nende näiliste «kõrvalepõigete» arvel.

... Oleks aeg arutlustest puhata, kuid kus sellega: kas on siis hajunud kõik kahtlused, mida meis esile kutsus entsüklopeedia käsitamatu teade, et footoni seisumass on null.

Käsitamatu? Ei, teatmikud ei esita mõistatusi, nad vaid informeerivad. Kuulnud ebatavalisest faktist, püüdsime sellega leppida. Kuid kas leppimine oli lõplik?

Hea küll, otsustasime, kui valgusosakeste seisumass on null, siis tähendab see, et nad ei või paigal seista, kuna neid ähvardab häving.

Järelikult ei saa neile järele jõuda ja panna neid ükskõik mille suhtes paigal seisma.

Tähendab, valguse kiirus on suurim võimalikest kiirustest ja teised materiaalsed kehad ei suuda seda saavutada.

Tähendab, kehade mass kasvab koos kiirusega, et piirväärtuse korral — valguse kiiruse juures — muutuda lõpmata suureks.

Järelikult on liikumisenergia kasv võrdeline massi kasvuga. Massi ja energia vahel on otsene seos!

Nende vältimatute järelduste juures oleksime just nagu unustanud footoni, millest kõik alguse sai. Aga nüüd, vaadanud valgusosakest uue pilguga, vajume uutesse kahtlustesse, mis võivad näida täiesti väljapääsmatuina.

Esimene kahtlus... Footon on materiaalne, aga lendab seejuures valguse kiirusega. Piir, mis teiste materiaalsete osakeste jaoks jääb saavutamatuks, on valgusosakese jaoks saavutatav. Mille poolest erineb ta siis teistest füüsikalistest kehadest — rakettidest või prootonitest?

Muidugi ei muutu liikuva footoni mass lõpmatuks seetõttu, et ta tormab valguse kiirusega. Muidu ei saaks ta liikumises eksisteerida.

Liikuva footoni massi on väga kerge kindlaks teha: on ju valgusosake füüsikaliselt kiirguse kvant ehk elektromagnetilise energia portsjon. Seadus $E = mc^2$ võimaldab kohe teada saada selle annuse massi niisamuti kui palavikus viskleva haige kaalu juurdekasvu, niisamuti kui iga-

suguse energiahulga massi: tuleb ainult kvandi energia E jagada c^2-ga.

Ja tuleb välja, et violetse valguse kvant või footon on 150 000 korda kergem paigalseisvast elektronist, s. t. kergeimast ainekübemekesest. Aga punase valguse footon on violetsest veel kaks korda kergem. Mäletate, Newton arvas hoopis vastupidist: ta pidas päikesespektri punase serva korpuskuleid kõige suuremaks, violetse serva omi aga kõige väiksemaks. Tal ei saanud mingit ettekujutust olla valguse korpuskulite tõelisest olemusest. Kuid see, mida Newton enam mingil juhul ei võinud aimata, oli valgusosakeste tulevane reeturiosa tema, Newtoni mehhaanika suhtes.

Taassündinud kakssada aastat hiljem kvantide-footonite kujul, asusid valgusosakesed koos elektronidega juhtima elementaarosakeste mässu materiaalsete kehade liikumise ja vastasmõju vanade seaduste vastu. Nad allusid kohe Einsteini seadustele, pärastpoole aga nõudsid veel uue mehhaanika, kvantide mehhaanika loomist. (Selle ideedest tuleb juttu hiljem, raamatu teises osas.) Tänapäeval näib neil aga juba sellestki vähe olevat!

Niisiis — liikuva footoni massist...

Kuigi tühiselt väike, on see küllastatud mõistatustest.

Enne kui Dubna prootonid alustavad oma 25-kordset ümbermaailmareisi kiirendaja kambris, seisavad nad paigal. Täpsemalt öeldes jalutavad nad laisalt väikeste soojuskiirustega mööda vesinikuallika kambrit (te muidugi mäletate, et prootonid on lihtsalt vesiniku aatomite tuumad). Temperatuuri alandades võib nende liikumise hoopis aeglaseks muuta, s. t. neid võib peatada. Teiste sõnadega, neil on paigalseisus reaalne mass. Neil on, mida kümnekordistada kiirenemise käigus, kui liikumisenergia hakkab vähehaaval kasvama kuni 10 miljardi elektronvoldini. Ka kosmoseraketil on reaalne seisumass, mille võib enne teekonna algust hõlpsasti kaalude abil kindlaks teha. Raketilgi on, mida teel suurendada.

Aga footonil midagi niisugust ei ole. Kaastundesõnad lausa tükivad keelele: «Vaadake, ta peab praegu asuma pikale teekonnale hullumeelse kiirusega 300 000 kilomeetrit sekundis, aga tal pole veel mingisugust massi!» Tõepoolest, isegi hetk enne starti pole footonit veel olemas, «pole midagi näha»: tema seisumass on null.

Kuidas kogub siis footon liikumismassi? Ja kas sõna «kogub» üldse kõlbab siia? Kogumine märgib pidevat

tegevust, footon oli algul eimiski, null. Eimiskit ei saa kiirendada, sest nulli ei saa kahe- ega kümnekordistada, ta jääb ikka nulliks. Kuidas tekib siis liikuva footoni mass?

Jääb oletada ainult üht: footon omandab kogu massi ühekorraga, hüppega! Ta ei kiirene järk-järgult, vaid juba tekkemomendist alates on tal käes kogu kiirus, tähendab, kogu energia.

Kujutleme minutiks, et valgusallikas kiirgas poolvalmis footoni. Kõik on muidu hästi, ainult tema kiirus on valguse kiirusest väiksem. Ta on juba kiirgunud, juba olemas, tähendab, tal on juba mass, mis on ekvivalentne energiaga, aga kaasvendade kiirust pole ta veel saavutanud. Ja nüüd hakkab ta mingil viisil neile järele kihutama. Asjata! Valguse kiirust ei saavuta ta enam kunagi. Mida rohkem ta püüab, seda suuremaks kasvab tema mass. Kiirusel 260 000 kilomeetrit sekundis see kahekordistub, Dubna prootonite kiirusel kümnekordistub, aga valguse kiirusega täpselt võrdsel kiirusel peaks kasvama lõpmatu arv kordi, teiste sõnadega, see kiirus on tema jaoks saavutamatu. Kujuteldav äbarik footon ei saaks enam kunagi tõeliseks footoniks, valgusosakeseks. Seepärast ei võigi ükski valgusallikas niisuguseid äbarikke kiirata — see ei oleks elektromagnetiline kiirgus.

Hämmastavad olendid need footonid! Teistsugune kiirus kui 300 000 kilomeetrit sekundis osutub nende jaoks võimatuks, kui nad lendavad läbi ainest vaba ruumi. Nad ilmuvad kiirgusallikast nagu elusaid poegi sünnitavate kalade maimud: täiesti valmitena, lõplikult kujunenuna. Nende energia-mass ei vaja pidevat kasvu, nad ei pea üle elama aeglast lapsepõlve, nende jaoks just nagu pole olemaski aega: otse tekkemomendil omandavad nad kõik, mida üldse võivad omandada. Äsja just haletsesime neid, aga tuleb välja, et nad on ennekuulmatud õnneseened.

Footonite erakordsuses on süüdi nende nullmass paigalseisus. Kas on tarvis seda ikka ja jälle korrata? ... Aga kuidas said teadlased mõõta seda, mida ei eksisteeri? Kuidas oskasid nad kaaluda p a i g a l s e i s v a i d kiirguse kvante, kui neid ei ole olemas? Kogu asi on selles, et teadlased ei läinud siin kirjeldatud teed pidi, vaid vastassuunas: meie pidasime katsetamisel selgunud faktiks seda, mis Einsteinil oli vaid teoreetiline järeldus. Kuid see-eest tulime toime täiesti ilma matemaatikata, ilma raske-

päraste abstraktsete mõisteteta. (Nagu näiteks «loodusseaduste invariantsus inertsiaalsete koordinaatsüsteemide suhtes» ja muud hirmuäratavad tarkused.)

Näete, esimene kahtlus hajus: ehkki footonid lendavad piirkiirusega, ei muutu nad seetõttu piiritult «raskeks», s. t. ei kogu lõputult massi. See on võimalik ainult seepärast, et nad ei kogu teda üldse,nagu ei kogu ka kiirust, vaid sünnivad ja hakkavad kohe eksisteerima selle piirkiirusega ega või omandada mingisugust teist kiirust. Mitte mingisugust! Kogu nende mass on ühesuguse pärit-oluga, see tähendab tolle elektromagnetilise kiirguse tombukese mass, milleks on kiirguse kvant.

Kohe tuleb pähe küllalt loomulik mõte: kas ei tähenda see, et footonit on võimatu mitte ainult peatada, vaid ka pidurdada, kuna ta ei oska liikuda teisiti kui ühe ja sama kiirusega. Ei, miks mitte, võib küll pidurdada. Kuid ainult footoni hukkumise hinnaga . . .

Hukkumine?! Kuidas seda mõista? Mateeria on hävimatu. Hukkudes peab footon oma energia-massi, s. t. kogu materiaalse vara kellelegi pärandama. Kes on siis pärijad?

Teadlased said seda teada, kui tunnetuse kääruline tee tõi neid niisuguste kujutlust erutavate mikrosündmusteni nagu elementaarosakeste ja antiosakeste sünd, selliste hämmastavate küsimusteni nagu antiaine ja antimaailmade olemasolu . . . Muide, esialgu jääb see väljapoole meie jutustuse piire.

Meil tuleb aga proovida veel kaks kahtlust lahti harutada, mis on ehk raskemadki kui esimene. Nähtavasti olid need möödunud sajandi inimesele kõige raskemad ja on seda ka meie sajandil.

VIIES PEATÜKK

- **Vastuolu, mis näib lootusetuna.**
- **«Me ei oska kolmesajakordselt eksida!»**
- **Teised kilomeetrid ja teised sekundid.**
- **Mis seal siis toimub?**
- **See kiirus on kolmekordselt saavutamatu.**
- **Väikeste unistajate mured.**
- **Kosmosenukrus.**
- **Kas legend või mälestus?**
- **Einsteini teine autograaf.**
- **Ajatus ruumis rändav viirastus.**
- **Need on mikrokentaurid ...**

● Kas teile ei näi, et rääkisime valguse kiirusest juba liiga kategooriliselt: 300 000 kilomeetrit sekundis, 300 000 ja jälle 300 000! ... Aga mille suhtes on võetud need nõiutud 300 000? Me jõudsime arutluste käigus isegi selleni, et iga footon võib sekundi kestel läbida ainult niisuguse vahemaa, muidu ei jää ta ellu! Kuid kas võis seejuures pärimata jätta: aga mida tegi selle sekundi kestel valgusallikas, keha, millest footon eraldus, millest ta jõudis 300 000 kilomeetri kaugusele lennata.

Hea on, kui see keha seisis kogu sekundi paigal. Aga mis siis, kui ta hakkas samuti liikuma, näiteks footonile järele, ja läbis sekundi vältel, oletame, 100 000 sama pikkusühikut? Siis jõudis ju footon selle aja jooksul lennata mitte 300 000, vaid ainult 200 000 kilomeetri kaugusele: kuni

valgus eemaldus, kihutas valgusallikas oma kiirgusele järele. Järelikult oli valgusosakese kiirus liikuva allika suhtes tervelt kolmandiku võrra väiksem kiirusest, mis oleks valgusosakesel olnud juhul, kui allikas oleks paigale jäänud. Terve kolmandiku võrra! Meie aga väitsime, et footoni kiirus on alati ühesugune.

Võib joonistada veel hämmastavama pildi. Rebigu end Dubna kiirendajast nagu lingust lahti prooton-miljardär. Täiesti reaalne võimalus: prootoneid kiirendatakse seal just selleks valguse kiirusele lähedaste kiirusteni, et neid vajalikul hetkel vabadusse lasta ja tuumamärklauda suunata. Jääb üle ainult kujutleda, et samal hetkel, kui vabanenud prooton piki puutujat ringkambrist lahkub, süttib sealsamas kõrval laternake ja footonite voog suundub sama märklaua poole. Lõpuks on meie võimuses viia märklaud Dubnast 300 000 kilomeetri kaugusele ja paigutada Kuu tulevasele tehiskaaslasele. Vaevalt tuleb mõnele veidrikule pähe säärast katset korraldada, ent piltlikkuse huvides võib kaine asjalikkuse alati ohvriks tuua, kui ainult asjade olemus ei kannata.

Sekund hiljem jõuab footon märklauani Kuu tehiskaaslasel, vabanenud prooton jääb temast aga veidi maha. Kuid päris vähe: 10 miljardi elektronvoldise energiaga laetuna liigub ta hiiglasuure kiirusega, läbides peaaegu 299 000 kilomeetrit sekundis. Footon jõuab temast eemalduda ainult pisut üle 1000 kilomeetri.

Nüüd tasub veel kord terve mõistus ohvriks tuua: korrakem katset, kuid paigutagem laternake otse prootonile. Samal hetkel, kui meie vabakslastu ja valguskiir Dubnast lahkuvad, kihutab koos prootoniga Kuu tehiskaaslase poole ka valgusallikas ise. Sekundi pärast jääb lamp omaenda footonite voost maha nendesamade 1000 kilomeetri võrra mis prootongi.

Seistes liikumatus Dubnas liikumatul Maal veenduksime nagu kohe, et valguse kiirus sõltub kiirgava allika kiirusest. 300 000 ja 1000 — kas niisugune hiiglasuur vahe võiks märkamatuks jääda! Kui see aga tõsi oleks — veel XIX sajandi lõpul ei kahelnud keegi, et nii see ka on —, siis variseksid ühe õnnetu sekundi kestel kokku kõik tänapäeva füüsikute konstruktsioonid: valguse kiirus ei osutuks üldsegi mitte jäävaks suuruseks, footon võiks teiste kehade suhtes liikuda erinevate kiirustega, kõnelda mingist füüsikaliste kiiruste piirist oleks mõttetu ning kirju-

tada valemit $E = mc^2$ muutuks samuti mõttetuks, muide ka seepärast, et c väärtus poleks üldse teada: mõnel juhul oleks see üks, teisel juhul teine.

Ei, siin on midagi korrast ära!

Ja lugu paistab juba päris lootusetuna, kui meenutada, et liikumatu Dubna liikumatul Maal on samuti tinglikkus. Maa lendab ümber Päikese kiirusega 30 kilomeetrit sekundis. Me poleks pruukinudki laternat footoni peale paigutada: Dubnas paigal olles viibib latern ju Maal, mis niigi liigub. Kui latern heidab valgust Maa liikumise suunas, siis liigub ta koos Maaga oma kiirele järele, vastassuunas kiirates põgeneb ta aga omaenese kiire eest. Esimesel juhul jõuab Maa koos lambiga kiirele sekundis 30 kilomeetri võrra lähemale, teisel juhul eemaldub samavõrd vastaspoole. Ja valgusel ongi Maa suhtes kaks kiirust: (300 000 — 30) ja (300 000 + 30).

Kuid see pole veel kõik. Ka Päike pole sugugi liikumatu taevavõlvi külge kleebitud. Liikumatut taevavõlvigi pole olemas. Linnutee liigub teiste galaktikate suhtes. Aga need omakorda... Ühesõnaga, lool pole algust ega lõppu. Mõte ei saa peatuda millelgi kindlasti liikumatul. Ning pole millegagi võrrelda footoni ümberpaiknemist, et lõpuks kergendustundega öelda, millistest 300 000 kilomeetrist sekundis on jutt, kui räägitakse valguse kiirusest ja selle kummalisest m u u t u m a t u s e s t.

Võib-olla pöörduda siis tagasi kujutluse juurde maailmaruumist kui seisva veega akvaariumist? Võib-olla riputada looduse mõõtmatusse saali uuesti üles läbipaistev eesriie absoluutselt liikumatust ja absoluutselt mõõtmatust maailmaeetrist?

Seejärel aga istuda kujuteldava eesriide ette tugitooli ja rahulolevalt jälgida, kuidas sellest jookseb üle valgusvirvendus, mille kiirus on alati ja igas suunas ühesugune. Ning siis rääkida, et just seesama kiirus ongi valguse, sõna otseses mõttes «eeterliku olendi» alaline kiirus.

Aga ei, nüüd ei aitaks ka eeter enam midagi! Selles on kerge veenduda, kui panna tugitoolile rattad alla. Sõidame piki liikumatut eesriiet mõnele valguskiirele järele. Kui me liigume maakera kiirusega, jõuame talle sekundis 30 kilomeetrit lähemale. Ja juba ongi valguse kiirus meie tugitooli suhtes väiksem kui eetri suhtes. Aga meie väidame, et see on a l a t i ühesugune.

«Meie väidame?»

Oh ei, see pole üldse loogiliste arutluste tulemus, seda kinnitab k a t s e.

Ja kerge on kujutleda 19. sajandi füüsikute hämmastust, kui veel suhteliselt noor Chicago eksperimentaator Albert Michelson avaldas 1881. a. oma kuulsate mõõtmiste esimesed tulemused ja näitas, et valguse kiirus ei vähene seetõttu, kui valgusallikas lendab koos Maaga läbi liikumatu eetri kiirele järele. Meil on füüsikute hämmeldust hõlpus tajuda, sest, ausalt öeldes, ega me ise tänapäeval selle fakti üle vähem imesta kui Michelsoni kaasaegsed.

Aga imesta kui palju tahes, fakt jääb meie hämmelduse suhtes ükskõikseks. Eksperiment on teaduses kõrgeim instants: tema kohtuotsused ei kuulu edasikaebamisele. Chicago füüsiku andmeid, nagu me juba teame, kontrolliti üha uutes katsetes suurima täpsusega. Ja faktid jäid kõigutamatuks: valguse kiirus ei sõltu valgusallika liikumisest.

Michelson nägi oma mõõtmistes surmaotsust liikumatu eetri hüpoteesile. Ta kasutas hüpoteesi kohta sõnu, millega maletajad kõnelevad mittevõimalikust malekombinatsioonist: «See ei ole korrektne.» Kuid probleem oli sügavam: nähtavasti ei saanud ruumi ja aega enam vanaviisi käsitada! Üle kahekümne aasta hiljem tõestas seda Einstein, kes sündis just siis, kui Michelson oma katseid kavandas.

Einstein nägi valguse kiiruse jäävuses, eksperimentaalselt kindlaks tehtud vaieldamatus faktis üht põhilist loodusseadust.

Tõsi, ühelgi teisel seadusel pole nii lühikest ja selget matemaatilist väljendust. Kuid tõsi on ka see, et füüsikaliselt ei paista ükski teine seadus nii salapärasena.

Kas ei tajunud me seda salapärasust juba siis, kui paigutasime laterna Dubna prootonile ja sundisime seda hiiglakiirusega omaenda kiirele järele liikuma? Tõepoolest, kui kummalisse olukorda sattus laternake... Me jälgisime seda võidukihutamist Maalt. Meie käsutuses on usaldusväärsed aparaadid, millega me «näeme kõike». Anti start: laternake kiirgas footoni ja sööstis samal hetkel paigast. Meie maapealsetel kelladel möödus sekund. Footon jõudis märklauani Kuu tehiskaaslasel. Laternake jäi maha. Meie maapealse sekundi kestel eemaldus footon Maast 300 000 meie maapealse kilomeetri võrra, laternakesest aga ainult 1000 sellesama maapealse kilomeetri võrra. Tähendab, tema kiirus järellendava laternakese suhtes on

meie maapealsete vaatluste järgi 1000 maapealset kilomeetrit ühes maapealses sekundis.

Nii näib meile. Aga laternakesele? Siin algavadki kummalised lood. Valguse kiirus on alati ühesugune iga «taustkeha» suhtes. Michelsoni katse tõestas, et kiirele on täiesti ükskõik, kas Maa lendab tema kannul või mitte: ta eemaldub sellest muutumatu kiirusega. Maa võiks lennata niihästi 10, 100 kui ka 1000 korda kiiremini või aeglasemalt, temalt lähtunud kiir ei pööraks aga sellele mingit tähelepanu.

Ja tuleb välja, et kui Dubna prootonile saaks koos laternakesega paigutada ka imetillukese laternamehe Michelsoni oma imepeene mõõteaparatuuriga, siis läkitaks see kuulsa füüsiku mikronimekaim meile näiliselt uskumatu sõnumi:

«Aga kas teate, footon eemaldub minust kiirusega kolmsada tuhat kilomeetrit sekundis.»

«Loba!» hüüaksime meie. «Te eksite kolmesajakordselt: mitte kolmsada tuhat, vaid ainult tuhande ringis. Me näeme seda Maalt suurepäraselt.»

«Kallid maaelanikud!» vastaks laternamees külmalt. «Minu nimekaim Chicagost oli tunnustatud täpsusevirtuoos. Mina olen tema võrdkuju. Ma ei oska kolmesajakordselt eksida! Minu kella võrreldi äralennu eel täpselt teie omaga. Minu joonlaud on gradueeritud Pariisi meetrietalooni järgi. Kuidas te siis lubate endal öelda — «loba» . . . »

«Andke andeks!» vabandaksime. «Kogemata . . . Kuid võib-olla juhtus teie joonlaua ja kellaga tee peal midagi?» tuleks pähe ootamatu mõte.

Laternamees prootonil kehitaks mikroõlgu ja vastaks lühidalt:

«Ei tea, pole märgata! Mul on kõik korras.»

Kuid meie ei loobuks nii kergesti sellisest päästvast mõttest. Esialgse ebaselge idee taga hakkaks koitma väljapääsulootus raskest olukorrast, kuhu valguse kiiruse konstantsuse seadus meie selguseiha asetas.

● Tõepoolest, võtkem jälle juhtlauseks: faktid ja loogika, loogika ja faktid! Kui fakt ajab mõtte ummikusse, peab loogika ta ummikust välja tooma.

Meil on juba kogemusi: kuna valguskiirele pole võimalik järele jõuda või, teiste sõnadega, footoni seisumass on

null, pidime tulema loogilisele järeldusele, et kehade mass sõltub kiirusest, kasvab koos sellega. Nüüdki sattusime hätta ainult seetõttu, et prooton ja latern liiguvad Maa suhtes. Istuks prooton rahulikult Dubnas, siis ei vaevaks meid mingid kahtlused: poleks midagi hämmastavat selles, et valguse kiirus on tema suhtes niisama suur kui Maa suhtes, millel ta asub. Vastupidi, lausa imeasi, kui siin mingisugune vahe esineks.

Kuid pole väiksem ime, et prooton lendas kiirele järele, aga erinevust siiski ei olnud! Ja kohe on näha, et mida kiiremini latern oma footonile järele lendab, seda hämmastavam ime on.

Kui latern eemalduks Dubnast kiirusega üks kilomeeter sekundis, ennetaks footon teda 299 999 maapealse kilomeetri võrra. Michelsoni kääbus muidugi väidaks endistviisi, et footon asub temast 300 000 km kaugusel. Kuid vahe oleks nii tilluke, et seda vaevalt õnnestuks eksperimentaalselt kindlaks teha. Isegi Michelsonil! Ent kui prootonile asetatud latern kihutab meie maapealse sekundi kestel tervelt 299 000 kilomeetrit ja vahemaa footoniga jääb päris tühiseks, nagu Moskvast Harkovini, tegelikult aga osutub, et footon pageb laterna eest siiski kiirusega 300 000 kilomeetrit sekundis, siis paistab ime kogu oma suuruses.

Aga milles see ime õieti seisab?

Maa pealt näeme: möödunud maise sekundi vältel eemaldus footon laternast tuhande maise kilomeetri võrra — ainult tuhande. Aga Michelsoni kääbus teatab jonnakalt 300 000-st. Tähendab, ime on selles, et kuidagiviisi mahuvad maise sekundi kestel läbitud tuhandesse maisesse kilomeetrisse — prootonil asuva laternamehe seisukohast! — 300 000 kilomeetrit, mis on läbitud samuti sekundi kestel.

Mis jääb meil, maaelanikel, mõelda? Ainult üht: kell ja joonlaud lendaval prootonil näitavad teisi kilomeetreid ja teisi sekundeid, kui meie paigalseisev mõõdupuu ning meie paigalseisev kell. Ei paista ühtki muud oletust, mille abil loogika saaks võita juhtunud ime, s. t. seletada seletamatut.

Tõsi, võib oletada, et prootonil lendaval kääbusel «valetab» ainult kell või ainult joonlaud. Kuid kiirus — see on tee pikkus jagatud ajaga. Ja kui kiiresti lendaval vaatlejal juhtub ime footoni kiiruse mõõtmisel, siis on loomulikum

mõelda, et süüdi on mõlemad asjaosalised, nii aega mõõtev kell kui ka kaugust määrav tollipulk. Pole alust üht teisele eelistada.

Jääb üle tähendada, et prootoni, laterna, laternamehe Michelsoni, kella ja joonlaua elus oli toimunud üksainus muutus: varem asusid nad Maal, nüüd aga liikusid tema suhtes, pealegi hiiglasuure kiirusega. Igasuguseid teisi muutusi, mis võisid nendega juhtuda, alates kella rikkest ja lõpetades kääbuse haigestumisega grippi, on võimalik varem kõrvaldada või neist tee peal vabaneda: kell ära parandada, gripp välja ravida... Kuid üht pole võimalik kõrvaldada — nende lennukiirust! Muidu po'eks millestki rääkida: kui kiirus on «kõrvaldatud», tähendab see, et nad on endiselt Dubnas.

Niisiis, jälle kiirus, liikumise kiirus kui kõigi hädade põhjus! Asjata sai öeldud, et imed toimuvad just kiiresti liikuva vaatleja juures. Liikugu ta aeglaselt, ikka näitavad tema kell ja joonlaud teisi kilomeetreid ja teisi sekundeid kui joonlauad ja kellad Maal. Väikese kiiruse puhul pole aja ja ruumi mastaapide muutumine lihtsalt nii ilmne. Ongi kõik.

Meile pole niisugune asi uudiseks: avastasime ju sedasama, kui pidime leppima kehade massi kasvamisega nende kiiruse suurenemisel. Meie poolteisetonnine Päikese tehiskaaslane «võttis kaalus juurde» ainult ühe milligrammi, kui saavutas teise kosmilise kiiruse, 11,2 maist kilomeetrit maise sekundi kestel. Üks milligramm — see on üks poolteisemiljardik raketi algsest m a i s e s t massist. Aga miljardäriks muutunud Dubna prootoni mass kasvas üle kümne korra, täpsemalt, kaheteistkümnekordseks. Hiiglasuur vahe. Põhjus on ainult kiiruste erinevuses: prooton lendab 27 000 korda kiiremini kui kosmoserakett.

Samasugune lugu on ka aja ja kauguse mastaapide muutumisega liikuval kehal: seegi muutumine on seda märgatavam, mida suurem on kiirus.

Ja tahtmatult sugeneb mõte: kui Dubna prootoni mass muutus lennukiiruse tõttu peaaegu kaksteistkümmend korda, siis võib-olla muudaks maapealne kell sellele prootonile sattudes oma rütmi samuti peaaegu kaksteistkümmend korda ja tollipulkadegi pikkus erineks esialgsest kaksteistkümmend korda. Siis peaks ka raketi kohta kehtima selline oletus: sekundid ja meetrid rake-

til, samuti nagu mass, muutusid ühe poolteisemiljardiku maise sekundi ja maise meetri võrra. Muutus on tühine. Ja arusaadav, miks: kuigi teine kosmiline kiirus on suur, osutub ta tibatillukeseks valguse kiirusega võrreldes.

Mida öelda siis igapäevaste maiste kiiruste, näiteks ookeanilaevade, võidusõiduautode, kiirrongide ja reaktiivlennukite kohta? Või siis lõpuks jalgratturid ja jalakäijad... Korrakem ei tea mitmendat puhku: me elame aeglaste esemete maailmas. Heli kiirus on üle 300 meetri sekundis, s. t. miljon korda väiksem valguse kiirusest. Lennukite jaoks jäi see veel hiljaaegu piiriks. Ja ehkki kell käib lenduri käel pisut teisiti kui lennuväljal, lendur aga arvestab aega loomulikult oma kella järgi, ei saaks keegi teda süüdistada sõiduplaani rikkumises: sekundi miljardikud ja triljondikud on inimese kujutluse mastaapidega võrreldes eimiski.

Meie arutlus analoogia põhjal on õige: koos kiiruse muutumisega muutuvad ühe ja sama seaduse järgi nii liikuva keha mass, aja kulg sellel kui ka tee pikkus liikumise suunas. Tuleks veel ainult otsusele jõuda, kas kell jääb taha või käib ette ning kas joonlaud pikeneb või lüheneb.

● Muidugi võiksime sellele küsimusele tuletada vastuse loogilisel teel, niisama nagu loogiliselt arutlesime, et mass peab kasvama koos keha kiiruse suurenemisega. Kuid loogika on samal ajal võimas, ent ka väga kohmakas relv. Tarvis on sõnu, sõnu, sõnu... Tõsi, paljusõnalisuse jaoks leidub kaalukas õigustus: paigalseisva footoni hämmastavast nullmassist oskasime paratamatult jõuda XX sajandi novaatorlike füüsikaliste ideedeni, mis maalivad liikuvast mateeriast küll ebatavalise, ent palju tõelähedasema pildi, kui teadlased varem tundsid.

Nüüd aga võtkem füüsikute sõnu hea usu peale: sekundite pikkus liikuvatel kelladel k a s v a b, joonlaudade pikkus liikumise suunas aga k a h a n e b. Pange tähele: peamise tõiga, selle, et aja ja ruumi mastaabid peavad meie maapealsest vaatepunktist muutuma prootonil asuva kääbuse jaoks teiseks kui meil Maa peal, selle tuletasime ise, füüsikuilt aga palusime abi ainult asja kvantitatiivse külje dešifreerimiseks: m i l l i s e k s nad muutuvad. Ja füüsikud vastavad: sel määral, kui keha kiirus lähe-

neb valguse kiirusele, aeglustab kell sellel kehal käiku, aga keha pikkus lennu suunas lüheneb. Seepärast «mahutaski» suurus 1000 maist kilomeetrit ühes maises sekundis niisuguse hiiglasliku väärtuse nagu valguse kiirus kääbus-M'chelsoni jaoks, kui ta footoni kiirust mõõtis, ta mõõtis 300 000 t e i s t kilomeetrit t e i s e sekundi kestel, s. t. l ü h e m a t kilomeetrit p i k e m a sekundi kestel!

Mis aga eriti tähtis: kella käik on füüsikaline protsess. Perioodiline protsess. Igas kellas võngub või tiirleb miski ühtlase kiirusega, mõõtes meile võrdseid ajalõike. Ka Maa ise on hiiglasuur kell: üks tema pööre ümber telje hõlmab ajalõigu, mida inimesed on hakanud ööpäevaks nimetama. Mugavuse mõttes on inimene jaganud ööpäeva tundideks, tunnid minuteiks, minutid sekundeiks. Kuid esialgselt arvestab meie jaoks aega ikkagi Maa ühtlane pöörlemine. Nii võib aatomgi kellaks olla: tuuma ümber tiirlevad ühtlaselt elektronid. Ainult et «aatomipäevad» meile ei kõlbaks, need on liiga lühikesed.

Ja vaat mis välja tuleb — jällegi paratamatult: kui kell aeglustab liikuval kehal käiku, siis tähendab see, et seal muutuvad igasugused perioodilised protsessid aeglasemaks. Aatomid võnguvad kristallvõres loiumalt. Elektronid tiirlevad aatomis aeglasemalt. Tuumaosakesed pulseerivad nõrgemalt. Kõik toimub nagu enne, mil keha asus Maal, ent kõik toimub teises rütmis.

Laternamees Michelson solvus meie jämeda vahelehüüde «loba» pärast. Ta erutus ja otsustas isegi oma pulssi mõõta. Võttis kella, surus mikrosõrme mikrorandmele ja veendus, et pulss on 72. Aga kui maine arst oleks saanud mõõta tema pulssi maapealse kella järgi, oleks ta tulnud otsusele, et kääbus on peaaegu surnud: tema pulss olnuks kaksteist korda aeglasem, s. t. mitte 72, vaid 6. Kuid asudes prootonil, mis lendab kiirusega ligikaudu 299 000 kilomeetrit sekundis, poleks ka maapealne arst midagi märganud. «Erutusite, noh ja mis siis,» ütleks ta kääbusele, «seitsekümmend kaks on suurepärane pulss, uskuge mind!»

Ka joonlaudade pikkuse lühenemine liikumise suunas on reaalne füüsikaline protsess, mida vaatleja ise ei suudaks kuidagi avastada, sest kõik tema ümber ja temas endas allub samasugusele kokkutõmbumisele. Aatomid muljutakse lossi, nad just nagu tungiksid koos vaatleja kogu kehaga ettepoole, aga mingi tõke on ees. Liikumise

suunas surutakse kokku molekulid. Kristallvõre kuubid muutuvad rööptahukaiks, kerad ellipsoididekss, ringid ellipseiks... Selles mõttes sarnaneb valguse kiirus nähtamatu tõkkega, mille vastu kehasid litsutakse: mida lähemal sellele kiirusele, seda suurem on kehade kokkusurumine liikumise suunas.

Nii on kerge välja arvutada, et kiirusega 30 kilomeetrit sekundis ümber Päikese lennates muutub maakera diameetrilt 6 sentimeetri võrra lapikumaks. Ja kui ta hakkaks järsku märksa kiiremini tiirlema, muutuks lapikus veelgi märgatavamaks, aga maised kellad aeglustaksid rütmi ega oleks enam endised kellad.

Pole olemas universaalseid kelli ega universaalseid mõõdupuid! Ajalised ja ruumilised suhted looduses on muutlikud. Nad sõltuvad otseselt materiaalsete kehade suhtelisest liikumisest.

● Ja jällegi, suhteline mateeria ümberpaiknemine ei saa toimuda valguse kiirusest suurema või sellega võrdse kiirusega. Varem avastas vana kooliõpetaja üheainsa takistuse valguse kiiruse saavutamise teel: keha mass kasvab piirväärtusele lähenedes lõpmata suureks. Nüüd tekkis veel kaks ületamatut takistust: liikuva keha omaaeg muutub valguse kiirusele lähenemisel lõpmata aeglaseks, aga tema mõõtmed liikumise suunas lõpmata väikeseks.

Kujutleme footoni kiirusega lendavat raketti. See muutus lõpmata raskeks, kell jäi seal seisma, temast endast sai aga tasapinnaline viirastus, kuna ta kaotas lennu suunas pikkuse. Igal kehal on kolm mõõdet: kõrgus, laius, pikkus. Sekundid muutusid meie raketil lõpmata pikkadeks, pikkus aga kahanes nullini. Kadunud aeg ja kaotatud mõõde — niisugune on valguse kiiruse hind! Liiga kõrge hind. Me ütlesime: kujutlegem sellist raketti. Kuid osutub, et seda ei saa kujutledagi. See on mõttetus, sisutu väljamõeldis, totrus.

Valguse kiirus on kolmekordselt saavutamatu. Kolm keeldu on loodus asetanud nende materiaalsete kehade ette, kes püüdlevad selle kiiruse poole, ja kõik kolm keeldu on murdmatud!

Kuid siinkohal kerkibki viimne koormav kahtlus, millest mööda ei saa: mida siis ikkagi kujutab endast too mõistatuslik footon, mis on nende kolme keelu kiuste nii-

hästi materiaalne kui ka liigub keelatud kiirusega. Nulliga võrduv seisumass lubab tal ainult sellise kiirusega eksisteeridagi. Kuid niisugune kiirus muudab ta iga vaatleja jaoks lamedaks, kahemõõtmeliseks viirastuseks. Ja seesama kiirus jätab ta ilma oma ajast: iga sekund on «footonkella» järgi võrdne igavikuga. Mäletate, me rääkisime, et footoni suhtes aega nagu ei eksisteeriks. Lugu on tõepoolest nii.

Mis ta siis on, see footon, see valgusosake, mille materiaalsuses ei saa kahelda? Kas on ta osake? On ta keha selles mõttes, nagu me räägime teistest materiaalsetest kehadest? Selles seisabki viimne kahtlus.

Kuid suundugem minutiks fantastikavalda, lihtsalt niisama, hingetõmbamiseks ja ka selleks, et eelnevaid lehekülgi täitnud abstraktsed mõisted rüütuksid homse päeva tehnika hämmastavasse reaalsusse ja puudutaksid tuleviku üle mõtteid mõlgutavate inimeste elu.

● Igal aastakümnel on oma teaduslikud kired. Igal poisikluttide põlvkonnal on oma kõikeneelavad harrastused.

Erakordselt meeldiv on mõelda omakasupüüdmatult teadmishimuliste noorte internatsionaalsest vendlusest. Kuidas nad küll üksteisega sidet peavad — üle merede ja mandrite, üle mägede ja kõrbete, tundmata keeli ja küsimata vanemate inimeste luba?

Jõudsid kätte 20-ndad aastad... Kõikjal, kogu maailmas, hakkasid need kõrgelaubalised, pruntsuised, tähelepanelik-hajameelsete silmade ja nõtkete sõrmedega poisid miskipärast meisterdama raadiovastuvõtjaid, lugema raamatuid relatiivsusteooriast, vaidlema ruumi ja aja üle... Just nagu kokkulepitult! Just nagu oleks nähtamatu staap saatnud neile kõigile ühe ja sama käsu, kus on öeldud, mis on käesoleva aastakümne teaduses peamine, milliseid unistusi on praegu tarvis mängida, mille üle vaielda, millistele kodutehtud leiutistele pühendada vaba aeg ja säästetud kopikad, sendid, santiimid, pennid...

Siis tulid 30-ndad aastad... Kuulekaina oma suure vennaskonna tundmatu staabi kirjutamata käskudele hakkasid nad, s. t. mitte enam nemad, vaid nende vahepeal suureks sirgunud vennad, kiirlennukite mudeleid konstrueerima ja aine ehituse üle vaidlema. Aatomid ja lennundus olid nende kinnisideedeks...

Seejärel saabusid 40-ndad aastad ja Teine maailma-

sõda... Nemad, meie poisid, olid muidugi vandenõus fašismi vastu: nende ohjeldamatu kujutlus lõi enne teadlasi aatomipommi ja raadiolokatsiooni ning peale selle igasugused «surmakiired», ühesõnaga kõik, mis võiks silmapilkselt hävitada Hitleri armeed.

Pärast sõda aga leppisid rahvusvahelise kõiketeadva poisikeste vennaskonna uued, ellujäänud ja mehistunud liikmed sõnatult kokku: «Nüüd on peamine — aatomienergia! Lugege märgitud aatomitest. Unistage termotuumaseadmetest. Vaielge iga uskmatuga meie suure seaduse üle: e võrdub em tsee ruudus! Ja on ilmunud mingisugune küberneetika — tähelepanu, tähelepanu, ärge laske seda silmist!»

Siis aga jõudsid kätte 50-ndad aastad... Maailmaruumi alistamine vallutas kõigi maakera piimahabemete mõtted ning kavatsused (nad teadsid sedagi, et Maa pole üldse kera, vaid geoid!). Need olid nemad, meie poisid, kes igast geoidi äärest saatsid kirju aadressil «Kosmos, Moskva» ettepanekute ja palvetega võtta end kaasa esimesele retkele Kuule, Marsile, Kentauri tähtkogu alfale. Ümbrikutel olid margid: Lenini mälestussammas, Aafrika palmid, Pekingi vaated, Inglise kuningate profiilid, Manhattani pilvelõhkujad.

Ja nüüd varjutab poisikestest astronautide mõtteid üksainus mure. Muide, miks ainult poiste? Tütarlapsed, nende vennaskonna võrdõiguslikud liikmed, on andnud matemaatikale ja füüsikale Sofia Kovalevskaja, Marie ja Irène Curie, Lise Meitneri, Wu Hen Xuni. Neil on õigus samadele muredele. Ja nad on ärevuses nagu omavanused poisidki: «Kuidas jääb raketikiirustega, kui valguse kiirus on iga keha jaoks ületamatuks piiriks? Kas inimesed saavad kunagi külastada kaugeid galaktikaid, kui tee sinna ja tagasi kestab miljoneid valgusaastaid? Kuidas kavandada maailmaruumi vallutamist, kui kiiruste piir kammitseb inimkonna tiibu?...»

Kõige teadlikumad neist lohutavad vähemteadjaid: tähelaeval aeglustub ajavool, võrreldes aja rütmiga mahajäetud Maal. Sellest kirjutavad teadlased praegu eriti sageli.

Tasub endale kujutleda, mida see reaalselt tähendab, — ja mitte matemaatiliselt, vaid inimpsühholoogia seisukohalt.

XXI sajandil tuleb päev, mil footonrakett asub kosmosereisile marsruudil «Maa — Luige tähtkuju 61. täht». Sellel mitte väga kaugel tähel (meid lahutavad kõigest 10 valgusaastat) on nähtamatu kaaslane, planeet, mis võibolla sarnaneb meie Maaga. Seepärast valitaksegi niisugune marsruut... Raketodroomil jätavad astronaudid pärast pidulike marsihelide lõppu hüvasti omaste ja sõpradega. Ebatavalise minuti rõõmsasse erutusse seguneb tavaline lahkumiskibedus.

Muide, see kibedus polegi nii tavaline. Maapealsetes lahusolekutes lahutavad inimesi ruum ja aeg, kuid nad jäävad maaelanikeks, s. t. kaasaeglasteks ja kaasruumlasteks. Vaevalt on keegi sellest lahkumistundidel lohutust leidnud — niisugune mõte, isegi kui see pähe tuleks, ei muudaks siiski eelseisvat lahusolekut kaunimaks. Kuid XXI sajandi raketodroomil külastab taoline mõte nii äralendajaid kui ka saatjaid.

Esmakordselt poeb inimkonna hinge «kosmosenukrus». Miks siis?

Kas astronaudid lahkuvad igaveseks, lendavad minema ilma tagasituleku lootuseta? Ei, nad pöörduvad tagasi. Ja teavad, et pöörduvad. Usaldusväärset tähelaeva juhivad läbi taevalaotuse igivaikuse küberneetilised masinad, mis töötavad tõrgeteta ja mis end ise remondivad. Footonmootorid kihutavad laeva edasi peaaegu valguse kiirusega, 298 500 kilomeetrit sekundis. Ja kümne aasta pärast, eesmärgile jõudnud*, pöördub rakett tagasi. Kahekümne aasta pärast saabub Maale. Tõsi, kõik saatjad ei jõua seda tundi ära oodata ja paljugi on vahepeal muutunud: vanakesed kaovad, noored vananevad, lapsed kasvavad suureks, uued poisikesed ja tüdrukud ootavad inimesi, kes lahkusid siis, kui neid veel polnud. Ent see on inimkonnale kogemustest juba tuttav — tagasipöördumine uute inimeste juurde pärast väga pikka äraolekut.

---

* Neid sõnu «298 500 kilomeetrit sekundis» ja «eesmärgile jõudnud» lausutakse sundimatult ainult fantastikalugudes. Õpetlased ei tea veel, kas footonraketi idee on tehniliselt teostatav. Ja kui ka on, jääb teadmatuks, kuidas tagada raketi häireteta lend. Peaaegu valguse kiirusega liikuva raketi kokkupõrked kosmilise tolmuga peaksid sõiduki hävitama, lihtsalt «aurustama». Akadeemik Kapitsa ütles kord naljatades, et selle ees tuleks maailmaruumi välja saata «lumesahk». Kuid seda «sahka» ootaks sama saatus... Üldiselt kuulub footonrakett seni tõepoolest fantastikasse.

Võib-olla sellest mõtlevadki hüvastijätuhetkel äralendajad ja mahajääjad? Mitte ainult sellest.

Võib-olla mõtlevad nad vapustatult nagu meie, esimeste Maa ja Päikese tehiskaaslaste kaasaegsed, mõeldamatute avaruste vallutamisest, kohutavast kaugusest, kuhu astronaudid siirduvad? Jah. Kuid ka see pole peamine nende lahkumiseelseis mõtteis.

Meid vapustab veel kujutlusega haaramatu maailmaruumi sügavik, sest meie oleme tema üle saavutatud võidu esimesed tunnistajad. Ja veel sellepärast, et Maast kaugele saadetud raketid ei pöördu praegu tagasi. Nad lahkuvad igaveseks. Neid neelab kaugus. Ja see kaugus köidabki meie kujutlust: «Seal lendab praegu Maa osake, mis on saanud Päikese alamaks. Kus ta küll praegu on, milline avarus tema ees laiub, millises uskumatus üksinduses ta seal lendab?»

Kuid XXI sajandi inimeste jaoks on see juba minevik. Nad on harjunud olema rakettide kaugetelt rännakutelt tagasipöördumise tunnistajaiks, nii nagu meie oleme juba saanud esimeste kosmonautide maandumise vaimustatud pealtnägijaiks. Alistatud kaugused — «edasi-tagasi» — on nende jaoks kaotanud saladuslikkuse oreooli. Nii ei eruta meid enam ookeanireisid ega ümbermaailmalennud. «Edasi-tagasi» suleb mõtte. Ja kujutlus voolab juba rahulikult, ärevuseta, kõuekärgatusteta. Laste õhupall, mis niidi otsast lahti pääseb ja mine tea kuhu hõljub, erutab meie kujutlust märksa rohkem kui stratostaadi sihikindel lend. Seda selletõttu, et õhupall lendab «eikuhugi» ega «tule enam kunagi tagasi» . . .

Ei, astronaute ja saatjaid ei vaeva mõte ruumi hiiglasuurusest. Mis neid siis häirib?

Raketodroomil kõlavad muusika hüvastijätuakordid ja kosmoselaev asub teele. Hommikulehed ei teata sellest, et tähelaeva ärasõiduhetkest eelmisel õhtul pole lahkunud maaelanikud enam ühegi maakerale jäänu k a a s a e g s e d. Sellest ei teata ka õhtulehed: liiga vara, rõhuv enamik inimesi ei mõista ega taju seda seni tõeliselt.

Siis aga kulgevad kevaded ja sügised, vahelduvad aastad ning ajalehtede toimetajad, muutub sõnumite stiil ja inimkonna uutest tegudest kõnelevate artiklite paatos, muutuvad luuletajate ja kirjanike nimed «ruumi võitjaile» pühendatud üpris ühenäoliste värsside ja lugude all. Muutumatuks jääb ainult raam lehtede esikülgedel, kus

iga päev kursiivkirjas trükitakse andmeid lahkunud laeva tähekoordinaatide kohta. Hiljem hakkavad inimesed üha harvemini vaatama raamiga ümbritsetud kursiivi, nagu ka meie ei hooli enam teadetest järjekordse Maa tehiskaaslase õnneliku väljalennutamise kohta. Ja selles inimeste rahulikus igapäevases ükskõiksuses peitub täiusliku kosmosetehnika salajane võidukäik.

Ent möödub kümme aastat... Ühel päeval ajab kõiki elevile teade, et kosmoselaev asus pärast programmis ettenähtud uurimisi tagasiteele. Ajalehtedesse ilmuvad kummalised pealkirjad: «Aasta raketil» või «Astronautide aastase töö kokkuvõtted» või ka «Esimene aasta on seljataga!». «Aasta? Mispärast aasta, aga mitte aastakümme?» kehitavad võhikud õlgu. Me teame, kuidas vastavad neile teised, XXI sajandi teadlikud maaelanikud: «Te unustasite nende lennukiiruse!»

Mõte, et n e m a d lendavad koju, «pöörduvad Maale tagasi», erutab maaelanikke kaua. Korrespondendid hakkavad otsima äralennu tunnistajaid — neid, kes tookord, kümme aastat tagasi, viibisid raketodroomil. Ja veteranid anduvad meelsasti mälestustele, mida trükivad valmilt kogu maailma ajalehed. Ilmuvad uued luuletused. Neis nimetatakse astronaute esmakordselt nii ruumi kui ka aja võitjateks.

Aastad lähevad. Mälestusi ja luuletusi avaldatakse üha harvem. Ja jälle unustavad inimesed, kelle tähelepanu köidavad igapäevased mured ja väikesed asjad, sealhulgas ka uued stardid teistesse maailmadesse, raamiga ümbritsetud kursiivkirjas informatsiooni päevalehtede esikülgedel. Kuid väljendus «aja võitjad» ei unune. Ja selle mõte muutub üha intrigeerivamaks ning vaieldavamaks, sedamööda kuidas esimesed astronaudid Maale lähenevad. Saabumise eelõhtul muutuvad mõtted, mis kakskümmend aastat tagasi hääletult valitsesid äralendajaid ja saatjaid, lõpuks kõigi omanduseks.

«Meie oleme kakskümmend aastat vanemad, aga nende jaoks oleks aeg just nagu peatunud, nad pöörduvad tagasi peaaegu niisama noortena, kui olid stardipäeval. Kaks aastat ja kaks aastakümmet! Nad on tõepoolest võitnud aja...» — nii mõtlevad ühed.

«Meie oleme kakskümmend aastat töötanud, uusi asju loonud, uusi linnu ehitanud, uusi raamatuid kirjutanud, võtnud osa grandioossetest sündmustest, kiirendanud

ajaloo käiku! Nad pöörduvad homme tagasi teisele Maale, mitte niisugusele nagu nende stardipäeval. Nad ei ole maist aega võitnud, nad on selle mööda lasknud!» — nii mõtlevad teised.

«Tulevik on minevikust kaunim ja meelitavam. Nad on ajalt näpanud peaaegu kakskümmend aastat. Kaks aastakümmet kestab nende elu kauem, nad võtavad osa sellistest sündmustest, mida meie enam ei näe. Nad on hüpanud üle põlvkonna ja kuuluvad esimeste inimestena Maal korraga kahte generatsiooni. Muidugi on nad aja võitjad...» — nii mõtlevad kolmandad.

«Oma kalendri järgi olid nad kaks aastat Maast lahus. Ja kuigi nad teavad, et siin on möödunud juba kaks aastakümmet, ei mõista nad veel, mida see tähendab! Nad ei aima, et homme, pärast kangelastena maandumist, tunnevad nad end kohe ka üksildaste inimestena, inimestena teisest elust. Esimeste inimestena Maal pole nad elanud järjest, vaid vaheajaga. Neil tuleb nüüd ajaloole järele jõuda! Aga kas see on võimalik? Nad pole maise aja võitjad, vaid oma laeva ajatuse ohvrid!» — nii mõtlevad neljandad.

Viiendad, kuuendad, seitsmendad lisavad neile vaieldavaile ja vastuvaidlematuile arutlustele varjundeid, igaüks omi, vastavalt iseloomule ja mõtteraadile. Ka tähelaeva pardal ägenevad samad vaidlused, kui lennu viimase öö pimeduses hakkab vilkuma juba lähedase Maa täheke. Kuid miski saab ühevõrra selgeks kõigile, nii tagasipöördujaile kui ootajaile.

Muide, «selge» pole õige sõna, see «miski» oli juba ammu enam-vähem selge. Nüüd kehastub see esmakordselt inimkonna teadvuses ja muutub inimese uueks «ajatajuks». See «miski» on maise aja mitmesuse tunne, maiste sekundite ja aastakümnete relatiivsuse reaalne taju.

Hommikul maandub rakett. Õnnelikud, veidi kohmetud, üllatunult ringi vaatavad endistviisi noored astronaudid laskuvad Maale. Samal hetkel saavad nad jälle maaelanike kaasruumlasteks.

«Kuid meie ja nemad ei saa enam kunagi kaasaeglasteks!» taipavad kõik. «Meie ja nemad oleme elanud erinevates aegades. Ja seda ei saa enam muuta. Ruumis saab liikuda «edasi-tagasi». Ruumi võib võita lõplikult. Aja võib liikuda ainult «edasi» ega saa «tagasi» pöörduda.

Aega saab võita ainult poolenisti. Nemad saavutasid selle suure võ'du, nad kandusid tulevikku, kuid see pole nende tulevik, vaid meie, meie oleme selle loonud, meie oleme selle poole sammunud. Nad on maise aja võitnud selle k a o t a m i s e hinnaga. Siit tulenebki meie kõigi kosmosenukrus.»

... Võib-olla on kõik need mõtted XXI sajandi inimestele võõrad ja poolik võit aja üle ei kurvasta neid sugugi. Võib-olla ei puuduta kosmosenukrus üldse nende lõbusaid südameid, sest aja üle võidutsemine on võrreldamatult tugevam kõigist teistest tõenäolistest elamustest ja tunnetest. Ku'd ikkagi peab sellest juba täna mõtlema.

Kogu loos on siiski üks nõrk punkt.

Võib vastu vaielda: kas poleks astronautidel õigus oma teekonnal sinna, Luige tähtkuju 61. tähe juurde, üksteist veenda, et nende rakett seisab paigal, aga Maa eemaldub neist kiirusega 298 500 kilomeetrit sekundis. Aga pärast, tagasiteel, võiksid nad täpselt samuti arutledes öelda, et nemad on ikkagi paigal, liigub aga jällegi Maa, mis neile sama hiiglasuure kiirusega vastu lendab. Tõepoolest, raketi ühtlasel ja sirgjoonelisel lennul ei peaks nad selle liikumist tajuma, nii nagu meie teiega ei tunne Maa ühtlast ja praktiliselt sirgjoonelist liikumist.

Kuid peamine pole muidugi nende subjektiivsed aistingud, vaid see, et relatiivsusteooria kogu mõte, kogu loogika näivad esimesel pilgul lubavat Maa ja raketi kohti vahetada, kuivõrd nad on kaks täiesti võrdset aja ja ruumi taustsüsteemi. Ent siis aeglustub astronautide seisukohalt kella käik mitte raketil, vaid Maal! Ja tuleb välja, et inimesed jäävad nooreks Maal, mitte raketil!

Kuidas siis lugu on?

Niisugust vastuväidet ei saa «terve mõistuse» abil loogiliselt ümber lükata, tähendab, toetuda lihtsalt asjaolule, et ammust ajast on teada, kes lendab ja kes paigal seisab. Maaelanikud saatsid raketi teele, see tähendab, et Maal on eesõigustatud seisund: ainult Maa sobib «taustkehaks» või «koordinaatide alguseks»... Einsteinil tuli kunagi vastata taolistele vastuväidetele. Ta tõi sellistel juhtudel tavaliselt võrdluseks rongi liikumise. Füüsikaliselt ja matemaatiliselt on täiesti ükskõik, kas arvata, et liigub rong ja rööpad seisavad paigal või vastupidi, vaadelda sündmust sel kombel, et rong seisab, aga rööpad jooksevad vastassuunas. Kuid muidugi, tähendas Einstein

teravmeelselt, ütleks vedurijuht, et ta kütab ja õlitab vedurit, mitte ümbritsevat ruumi, ja võiks füüsikuteleteoreetikutele täpselt seletada, mis toimub. Ent too täiesti arukas põhjendus ei lükka ümber füüsikaseadust kõigi üksteise suhtes ühtlaselt ja sirgjooneliselt liikuvate «taustsüsteemide» võrdõiguslikkusest. Seepärast ei saagi jaamas vaguniaknast naaberrongi vaadates kohe aru, kumb hakkas liikuma, meie oma või vastutulev...

Astronaudid võiksid tõepoolest karistamatult ja tõevastu eksimata vahetada arutlustes raketi ja Maa kohad, kui poleks üht pisiasja.

Küsimus on selles, et kaks koordinaatsüsteemi, «Maa» ja «Rakett», pole v õ r d s e d. Raketi kiirus muutub liikumise vältel vähemalt neli korda: kiirenemine Maalt startimisel, aeglustumine maandumisel Luige tähtkuju 61. tähele, uus kiirendus tagasitee algul ja uus aeglustumine Maale finišeerimisel. Seepärast ei tohi koordinaatsüsteemi «Rakett», erinevalt koordinaatsüsteemist «Maa», sugugi pidada k o g u a e g ühtlaselt ja sirgjooneliselt liikuvaks. Ja järelikult pole astronautidel õigust arutleda samal kombel, nagu teevad seda mahajäänud maaelanikud. Neil on teised liikumistingimused.

Muidugi tahaks astronautidele kangesti ette öelda ühe mõtte, mis näib jälle muutvat neid võrdõiguslikeks maaelanikega:

«Meie kallid kaasruumlased, miks ei vaidle te Einsteinile vastu, öeldes, et vaatlete raketi aeglustumis- ja kiirendumisperioode nii, nagu ei aeglustuks ja kiireneks mitte rakett, vaid Maa. Öelge Einsteinile: «Meie lendame neil minuteil edasi ühtlaselt ja sirgjooneliselt, aga kiirust muudate teie koos kõigi Maa peale jäänud maaelanikega.»»

Tuleb tähendada, et astronaudid tunneksid end niisugusest etteütlemisest solvatuna: me oleksime pahaaimamatult nende suhu pannud seisukoha, mille pool sajandit tagasi esitas mõnitavas vormis Philipp Lenard, õpetatud lurjus Lenard, tulevane fašist, keda neil lehekülgedel kahjuks veel meenutada tuleb. «Hakaku rong järsku ebaühtlaselt liikuma,» sõnas Lenard. «Kui nüüd... rongis kõik pilbasteks lendab, väljas aga terveks jääb, siis, arvan ma, ei kahtle ükski k a i n e l t m õ t l e v inimene, et just rong muutis äkitselt liikumist, mitte aga ümbrus.» Oletades, et Einstein ei kuulu kainelt mõtlejate hulka,

järeldas Lenard kahjurõõmsalt, et ta on relatiivsusteooria nii lihtsal viisil ümber lükanud.

Samal ajal kinnitas ta ainult veel kord teooria õigsust. Relatiivsusteooria väidabki, et koordinaatsüsteemid «rong» ja «rööpad» on samaväärsed ainult senikaua, kuni vedur muudab järsku oma liikumist. Ja astronaudid ei võtaks meie «lenardlikku etteütlemist» omaks. Nad vastaksid, et kiirenduste ja aeglustuste perioodidel tajuvad nad reaalselt iseendal kiirenduse piinarikast mõju, maaelanikesse see aga ei puutu. Kiirendused pole üldse relatiivsed, vaid absoluutsed. Nad tekivad sellest, et kehale mõjuvad mingisugused jõud. Ja nende jõudude rakenduspunkti (raketti) ei saa suvaliselt üle viia teisele kehale (Maale).

Kui lavale ilmuvad kiirendused, kui «taustkehad» ei liigu üksteise suhtes enam lihtsalt inertsi mõjul, s. t. ühtlaselt ja sirgjooneliselt, siis saab sõnaõiguse ü l d i n e r e l a t i i v s u s t e o o r i a, mille Einstein töötas välja hiljem, 1916. aastal. Üldine teooria näitab, et lõppude lõpuks, raketi k o g u teekonda arvestades, juhtub kõik nimelt nii, nagu siin juttu oli: astronaudid jäävad suhteliselt nooreks, pärast Maale tagasi pöördumist ning uuesti maaelanike kaasruumlasteks saamist ei osutu nad siiski enam nende kaasaeglasteks...

Niisiis, lubagem endale veel üks väike vabadus.

● Kandume XXI sajandist üle tundmatusse minevikku. Mis siis, kui inimesed juba kunagi varem tajusid maiste sekundite ja sajandite relatiivsust?

Aastat kolmkümmend tagasi lugesid poisikesed õhinal Frederick Soddy suurepärast raamatut aatomi ehitusest ja radioaktiivsusest. Soddy oli tuntud teadlane, suure Rutherfordi mõttekaaslane, ja pedantseile professoreile võib näida ebaväärikana, et raamatus sisaldus palju ebateaduslikke ja nagu asjasse mittepuutuvaid lennukaid mõtteid. Kuid neid erutas aine ehituse kohta käivate uute inimteadmiste ebatavalisus. Üks mõtetest pidi lausa rabama iga lugeja kujutlust.

...Mida kujutab endast legend paradiisist? Võib-olla pole see ainult vaevatud inimese unistus tulevasest küllusest ja õiglusest? Võib-olla on see mälestus? Võib-olla oligi Maa peal kord «paradiis» — inimeste käsutuses tasuta aatomienergia ja kõigi tarvis kõike nii palju kui

tahad? Siis aga tulid äkitselt katastroofid, geoloogilised või kosmilised, ja uhtusid merre, põletasid maha, pühkisid meie planeedi pinnalt selle kõrge tsivilisatsiooni? Võib-olla kadus see vee alla koos Atlantisega? Võib-olla kadus koos Kuuga, kui Vaikse ookeani nõgu on tõepoolest Maa küljest eemaldunud Kuu kunagine ase? Meile pole tähtis, mida ütlevad selle kohta arheoloogid, kosmoloogid ja lõpuks filosoofid. Nad muidugi muigavad, aga kõige kohusetundlikumad ja igavamad nende hulgast isegi pahandavad... Kuid me fantaseerime ja vajame seda kunagist tsivilisatsiooni ainult raketodroomina Maalt lahkunud galaktikalaevale.

Frederick Soddy fantastiline mõttekäik lõppes sellega, et legend paradiisist võib olla mälestus ammu hukkunud aatomitsivilisatsioonist. Aga meie söandame minna pisut kaugemale: tol aatomiajastul võisid inimesed ehitada ka aatomrakette. Või footonrakette. Nad võisid kosmoselaevade kiirust suurendada ükskõik millise valguse kiirusele lähedase kiiruseni. Ja kord asusid nad ekspeditsioonile Magalhãesi Pilvede poole.

Kaugus sinna on «tühine» — kosmose mastaabis muidugi — kõigest 120 000 valgusaastat. Nad ei arvutanud meist kehvemini ja neile oli muidugi selge, et ekspeditsioon ei jõua Maale tagasi enne 240 000 maapealse aasta möödumist.

Entusiastid kosmonautide sõpruskonnast otsustasid pikemalt mõtlemata igaveseks hüvasti jätta kõigi kaasaegsetega. Nad mõistsid suurepäraselt, et lennates Magalhãesi Pilvedeni, mida tookord muidugi teisiti nimetati, lendavad nad inimkonna ja Maa kujuteldamatusse tulevikku, et kui nad tagasi jõuavad, ei ole enam neid rahvaid, kes nende ajastul Maad asustasid, kaovad endised linnad ja riigid, muutuvad tundmatuseni keeled. Nende laeva kiirus erines valguse kiirusest nii vähe, et kella käik raketi pardal pidi maiste kelladega võrreldes aeglustuma 20 000 korda. Oma laevakalendri järgi pidid nad kuus aastat sinna ja kuus tagasi lendama.

Nad asusid teele. Ja toonased ajalehed ei hakanud avaldama raamitud teateid — see oli elu-ate jaoks mõttetu. 240 000 aastat! Lahkumine alatiseks. Kuulutati välja ülemaailmne pidulik lein nende auks, kes elavaina taevasse läksid, vabatahtlikult ja mehiselt. Neile püstitati eluajal ranged, rahulikud mälestusmärgid. Ja sellega kõik lõppeski.

Kuid miks tuli meile pähe nii kummaline kujutlus? Põhjus: pool sajandit tagasi, 1908. a., kihutas Tunguusi taiga kohal meteoriit. Selle päritolu pole senini kindlaks tehtud.* Fantastiliste romaanide autor Aleksandr Kazantsev esitas tõestamata hüpoteesi planeetidevahelisest laevast, mille kõrge tsivilisatsiooniga marsielanikud Maale saatsid.

Kütkestav oletus Teadmishimuliste Vennaskonna poisikeste jaoks! Kuid me näeme kohe: võib muretult fantaseerida ka siis, kui inimkonna teeneid Marsi kujuteldavate tundmatute kontosse ei kirjutata.

1908. a. võis Maale tagasi pöörduda too legendaarne laev, mis 240 000 aastat tagasi oletatavast maisest paradiisist Magalhãesi Pilvedele suundus. Selline fantaasiapööre pole sugugi halvem. Eks ole, selles on isegi midagi nukralt ligitõmbavat.

... Ainult kaheteistkümne aasta võrra vananenud astronaudid kunagisest tsivilisatsioonist ei tundnud oma suurepäraste optikariistadega ära lähenevat Maad. Üksnes mandrite kontuurid meenutasid neile esialgu minevikku. Kuid mida lähemale nad jõudsid, seda võõramaks muutus Maa. Mis aga peaasi — seda ei osanud nad kuidagi ette näha! — Maalt olid kadunud kosmoselaevade vastuvõtujaamad. Keegi ei saanud neid maandumisel aidata, koordinaate dikteerida, kuulda küsimusi ja anda vastuseid, ühesõnaga, teha kõike, mida teinuksid nende kaasaegsed ja milleta muistne laev ei saanud õnnelikult maanduda.

Teel olid nad nii tihti erutusega mõelnud tehnika grandioossest progressist Maal: 240 000 aastat pidevat edasiliikumist! Kogu kaheteistkümne kosmoseaasta kestel olid nad teinud igasuguseid oletusi sel teemal, vaielnud ja isegi tülitsenud tühiste lahkarvamuste pärast, kuid kunagi ei vallanud neid rahutus. Nad olid veendunud, et uued inimesed muidugi teavad neist — ja mitte ainult muistendite, vaid täpsete astronoomiliste tabelite järgi. Ja nad oletasid, et maailmaruumis juba täiesti kodunenud uued maaelanikud võtavad nende laeva vastu kuskil Linnutee läheduses. Kui seda ei juhtunud, aeglustasid nad

* On esitatud mitmesuguseid oletusi. Kõige tõenäolisem ja paremini argumenteeritud neist on nähtavasti see, mille 1962. a. algul esitas NSV Liidu Teaduste Akadeemia Presiidiumi akadeemik V. G. Fessenkov: 1908. a. toimus Tunguusi taiga kohal üliharuldane sündmus — Maa kokkupõrge komeedi tuumaga.

liikumist ja lootsid vastuvõttu päikesesüsteemi piirimail. Et kedagi polnud näha, Maani aga jäi ainult mõni maapealne lennutund ja kiirust tuli veel tunduvalt vähendada, siis sattusid nad esmakordselt ärevusse.

Kuid neile ei tulnud nüüdki pähe, et kunagine tsivilisatsioon võis mingitel katastroofilistel põhjustel hävida, et inimkond pidi kõike otsast peale — kivikirvest ja ükskordühest — alustama. Neile ei tulnud pähe, et maaelanikel on praegu alles mingisuguse uue ajaarvamise 1908. aasta ja et alles 80 minuti eest laevakella ehk 3 aastat tagasi maapealse kella järgi, 1905. aastal, sai inimkond uuesti teada aabitsaseaduse $E = mc^2$ ja aja aeglustumise seaduse liikuvail kehadel... Ei, selline mõttetus ei võinud neile pähegi tulla. Ja nad hukkusid.

Maalt ei saa nii muinasjutuliselt pikaks ajaks karistamatult lahkuda. Aga kahju neist noormeestest, ka nemad olid kord poisikesed! — lõpmata kahju, eks ole?

«Tsipa liiga sünge,» ütles mulle üks vana sõber, kui oli selle lehekülje ära kuulanud. «Tõepoolest on neist noormeestest kahju. Ent võib ka midagi muud kujutleda: need võisid olla marslased tollest kaugest ajastust, mil Marsi teadus astrofüüsik I. S. Šklovski lennuka, vähepõhjendatud ja samuti tõestamatu mõtte kohaselt suutis luua Marsi tehiskaaslased...»

See variant peaks meeldima kõigile, kes on uskunud ja usuvad elusse ühel Maale kõige lähemal planeedil. Muidugi eeldab I. S. Šklovski, et tänapäeva Marsil enam kõrgemaid eluvorme ei leidu. Ja siis on loomulik, et fantastiline Marsi kosmoselaev, mis siirdus kunagi Magalhãesi Pilvede poole, leidis 1908. a. eest tühja koduplaneedi. Mida oleksid marslased pidanud tegema metsistunud planeedil, külmal ja ebasõbralikul? Nad otsustasid suunduda naabruses paiknevale Maale, mis nende äralennu ajal veel asustamatuks osutus. «Võib-olla on sinna Maale ilmunud peale primitiivsete kahejalgsete olendite meiesarnaseidki?» mõtlesid nad. Ootamatu ja etteaimamatu katastroof ei lubanud neil maanduda. Ja ongi kõik. Ja tolle taevakeha saladus, mida sest ajast Tunguusi meteoriidiks nimetatakse, jäi avastamata.

Kuid kas meie tuju läks sellest paremaks, kui asendasime maaelanikud marslastega? Mõningane vahe on muidugi olemas: neist ebamaistest astronautidest pole mingit reaalset kujutlust, nad on meie jaoks abstraktsioon.

Kuid ikkagi on kahju, et nad hukkusid, kahju, et me nendega ei tutvunud...

Sellistele ootamatutele teedele meelitasid kaks mateeria elementaarosakest, valgusosake ja aineosake, tavaline footon ja talle järele kihutanud prooton-miljardär Dubna kiirendajast. Ent need kõrvalepõiked polnud ilmaasjata tehtud. Mõned põhiseadustest, mille järgi elab kiire ja kerge elementaarosakeste maailm, muutusid reaalsemaks ja tajutavamaks. Ja me nägime, et kui seadused tungivad homse päeva tehnilisse progressi, kerkivad meie ette, kes me elame raskete ja aeglaste maiste asjade maailmas, uued enneolematud probleemid. Mõnel neist on otsene side inimelu ja inimlike tunnetega, eks ole?

● Hulk lehekülgi tagasi, kui füüsik ja semstvotegelase habemega vana kooliõpetaja hakkasid valguskiire tagaajamise mõttetuse üle arutlema, tõotas esimene teisele: «Peagi jõuate ise relatiivsusteooria tähtsate füüsikaliste ideedeni.» Ja nüüd on õpetaja käes kord küsida, millal see lubadus täitub.

«See ongi juba täitunud!» naeratab füüsik. «Te jõudsite tõepoolest ise ajaliste ja ruumiliste suhete relatiivsuseni looduses, massi sõltuvuseni kiirusest, energia ja massi ekvivalentsuseni. Kõik need on aga relatiivsusteooria füüsikalised ideed. Mitteajaloolises järjekorras, ilma valemite ja range detailsuseta, kuid üldiselt võrdlemisi järjekindalt, mis aga peaasi, — täiesti paratamatult — jõudsite oma kahtlustele vastust otsides nende ideedeni. Üle poole sajandi on möödas ajast, mil Einstein visandas pildi uuest maailmamehhaanikast, kuid tuleb tunnistada, et tänapäevalgi pole kerge sellest tehtud järeldustega harjuda.»

Ja füüsik lisab, et kunagi ütles kuulus matemaatik Lagrange Newtoni kohta: «Tema on kõige õnnelikum inimene: maailmasüsteemi saab avastada ainult üks kord.» Lagrange eksis. Nüüd teame: seda võib teha vähemalt kaks korda. Einstein oli teine k õ i g e õ n n e l i k u m.

Mitte ükski füüsikaline teooria pole inimeste teadvuses sellist tormi esile kutsunud. Lenin kirjutas Einsteinist põhjendatult kui «suurest ümberkujundajast loodusteaduses». Loodusteaduses üldse, mitte ainult mehhaanikas, mitte ainult füüsikas! Seda on kerge mõista: 1905. a. sai inimkond teada, et endised loodusteaduslikud kujutlused ajast ja ruumist tuleb asendada uutega. Jutt polnud mitte

üksikuist füüsikalistest kujutlustest, mitte detailide parandamisest endises maailmapildis, vaid revolutsioonist vaadetes materiaalsete kehade liikumise seaduspärasustele. Sellist teaduslikku revolutsiooni ei saa millegagi võrrelda. Tõsi, kahe aastakümne pärast, meie sajandi 20-ndate aastate keskpaiku, mil kujunes lõplikult välja mikromaailma kvantmehhaanika, elas loodusteadus üle veel ühe niisama sügava «aluste vapustuse». Kuid selleks uueks revolutsiooniks olid paljud füüsikud relatiivsusteooria iseärasuste poolt psühholoogiliselt ette valmistatud: pärast Arktika vallutamist oli Antarktikaga kergem toime tulla. Kaht kaasaegse loodusteaduse revolutsiooni lahutava kahe aastakümne kestel ilmus üle 5000 raamatu ja artikli Einsteini mehhaanika avastuste kohta. Need olid seda liiki avastused, mis ei või kuuluda ainuüksi füüsikutele. Ja mis siis imestada, et relatiivsusteooriast kirjutasid filosoofid, publitsistid, kirjanikud, riigitegelased, ajaloolased, isegi teoloogid. Aga kõik sai alguse 1905. aasta väikesest käsikirjast, mis kandis tagasihoidlikku ning mitte väga palju tõotavat pealkirja «Liikuvate kehade elektrodünaamikast» ning avaldati kitsalt spetsiaalse väljaande «Annalen der Physik» 17. köite 5. vihikus, teaduslikus väljaandes, mida ei tollal ega hiljemgi kaugeltki mitte kõik teoreetikud ei pidanud obligatoorseks numbrist numbrisse jälgida.

Väike käsikiri — 30 lehekülge teksti! — muutus hindamatuks ajalooliseks dokumendiks. Ja sellega on seotud üks suurepärane episood, mis ei puuduta üksnes Einsteini ideid, vaid ka tema saatust ja ajastu traagikat, mil ta töötas ja elas. Jutustamata sellest episoodist jätta ei saa.

1933. a. algul, kui Hitler võimule tuli, polnud Einsteini õnneks Saksamaal. Ta pidas Kalifornias loenguid. Natsid vihkasid teadlast, tema arvele pandi kolm «kuritegu»: Einstein oli mitteaarialane, antifašist, sõjavastane. Hiljaaegu enne tema Ameerikasse sõitu valis Amsterdami sõjavastane kongress ta tagaselja sõja- ja fašismivastase võitluse alalise komitee liikmeks. Euroopa võttis Einsteini vastu koletislike teadetega: fašistid olid rüüstanud ta maja Potsdami lähedal, Berliinis oli tema pea eest lubatud 50 000 marka. (Ei tea, kas on saanud teatavaks inimeste nimed, kes niisuguse ettepaneku tegid ja kes selle kuluartikli hitlerliku Saksamaa eelarves kinnitasid. Võib-olla kuulus idee gestaapo ametnikule Eichmannile ja füüsikust gestaapolasele Lenardile?)

Elanud mõni kuu Belgias mereäärses suvilas, mida politsei natslike provokaatorite ja mõrtsukate eest kaitses, oli ta sunnitud ka siit põgenema! Saksa piir oli liiga lähedal. Pagulase saatus tõi viiekümne nelja aastase Einsteini lõpuks vaiksesse ülikoolilinna Princetoni teisel pool ookeani.

Ta oli alati eemale hoidnud otsesest poliitilisest tegevusest. Ent viha ja vastikus fašismi vastu jäid temas siiski tugevamaks kui võõrastus poliitika ees. Ja kogu maailma antifašistid teadsid, et oma õiglases võitluses võivad nad ikka arvestada ookeanitaguses üksinduses elava suure teadlase jäägitut toetust. Tema autoriteet oli kõigil mandreil piiritu. (Egas muidu poleks juba kümnendail ja kahekümnendail aastail tulnud tema nimele kirju kõige napisõnalisema aadressiga: «Euroopa. Einsteinile».) Ja ükskord, 1936. a., kui Hispaanias käis sõda ja ameerika antifašistid organiseerisid vabatahtlike pataljoni «Abraham Lincoln», pöördusid nad Einsteini poole ootamatu palvega: nad palusid temalt relatiivsusteooria käsikirja, kuulsat 1905. aasta käsikirja. Kas on tarvis seletada, milleks seda Hispaaniale traagilisil päevil vaja läks? Kollektsionäärid olid valmis käsikirja eest hiiglasummat maksma, raha läks aga vabatahtlikele varustuse muretsemiseks hädasti tarvis.

Kavatsus oli lihtne, Einsteini nõusolekus ei kahelnud keegi, kuid ... käsikirja tema paberite hulgas Princetonis ei olnud. Lihtsalt ei olnud. Talle meenus, et käsikiri jäi omal ajal ajakirja «Annalen der Physik» arhiivi. Kui natsid, kes Saksamaal «mitteaaria teadust» hävitasid, polnudki relatiivsusteooria originaali veel ära põletanud, siis oli igatahes võimatu seda kätte saada. Mida teha? Einstein ise pani ette lahenduse: ta jättis kõrvale kõik käsilolevad tööd ja kirjutas kuulsad kolmkümmend lehekülge käsitsi ümber ...

Nii ilmus artikli «Liikuvate kehade elektrodünaamikast» teine autograaf. Relatiivsusteooria sooritas inimkonnale teist korda revolutsioonilise teene, ainult seekord täiesti ebatavalise abstraktse füüsikalise teooria jaoks. (Hiljem, sõja lõpul, 1944. aastal, sattus 1938. aasta käsikiri Ameerika Ühendriikide Kongressi raamatukokku — see osteti endiselt omanikult ära 6 miljoni dollari eest.)

Aga pöördugem tagasi füüsika juurde.

Kas tuleb kolmas «kõige õnnelikum» peale Newtoni ja

Einsteini? Kahtlemata. Absoluutset ja lõplikku teadmist pole olemas, sellele võib ainult läheneda nagu valguse kiirusele. Aga kui jõuab kätte selle kolmanda aeg, ütleb ta Einsteinile needsamad sõnad, mida Einstein ütles Newtonile oma teoses «Üht-teist autobiograafilist»:

«Andesta, Newton, Sa leidsid ainsa tee, mis Sinu ajal suurima teadusliku loova ande ja mõttejõuga inimesele võimalik oli. Sinu loodud mõisted jäävad praegugi juhtivaiks meie füüsikalises mõtlemises, ehkki nüüd me teame, et püüdes vastastikuseid seoseid sügavamalt mõista, peame need mõisted asendama teistega, mis seisavad vahetu kogemuse sfäärist kaugemal.»

Ideed, millega tutvusime, on tõepoolest üsna kaugel igapäevaste kogemuste ringist. Aga selle kindlakskujunenud kogemuse ees seisavad veel suuremad katsumused. Üks neist juba ähvardab meid. Tuleb lahendada viimane footoniga seotud kahtlus: kas footon on o s a k e?

● Kogu jutt sai alguse rahest ja tuulest, elektromagnetilise energia kvandi kuulutamisest tõeliseks osakeseks. Aga lõppevat näib see footoni tõukamisega niisuguselt auväärselt troonilt. Ajalugu näib nagu tagasi pöörduvat vana tava kohaselt, et «kõik käib ringi»: kord juba jäid Newtoni korpuskulid alla võitluses eetri valguslainetega. Kas tõesti tabab uusi korpuskuleid — Einsteini footoneid — sama saatus? Nii küll näib, kuid asi pole siiski täpselt samaviisi: me veendume jälle, et ajaloo ringid pole ratas, milles jookseb orav, pole liikumine mööda suletud ringjoont («ei ole midagi uut päikese all»), vaid kujutavad endast avarduva dialektilise spiraali tiire — liikumist laiuti ja ülespoole.

Millest tekib kahtlus, kas footon on osake? Ikka tema piirkiiruse pärast. Selle kiiruse pärast kaotab osake kolmanda mõõtme, lennusuunalise pikkuse. Ta muutub täielikus ajatuses lendavaks lamedaks viirastuseks, sest nagu teada saime, on «footonkella» iga sekund — igavik.

Muidugi tuleks kõigepealt küsida, mis on üldse osake. Tõtt öelda pole küsimus kerge. Ja meil tuleb selle juurde veel kord tagasi tulla! Ärgem siis targutagem liiga kavalalt. Oletame, et see on ammugi selge. Kui meile toodaks kandikul tõeline osake, kas me siis tõesti «ei tunneks teda ära»? Küsimus ongi selles, et ei «tõelist» osakest ega ka ütleme, gravitatsioonivälja ei saa kandikul serveerida!

Mida ka ei räägitaks, iga osake selle sõna tavalises mõttes, tavalises igapäevases kujutluses, on füüsikaline keha ehk, kui soovite, kehake, mis i s e loob oma mahu — oma piiritletuse ja eraldatuse ümbruskonnast. I s e, s. t. tänu sisemiste seoste jõududele, ilma välisseinte abita, ilma teiste kehade ja jõudude osavõtuta.

Tähendab, küsimus osakesest ei olegi nii raske? Ei, see on siiski väga keerukas. Näete, taevas hõljub üksik pilv. Selle piirjooned on eemalt vaadates selgesti näha. Ent kui selline pilveke istub tuuletul suvisel südapäeval Aragatsi nõlval, valge, korrapärane, kompaktne, ja mäkke roniv maastikuauto suubub sellesse, siis kaovad äkki kõik selged piirid ja nende tõmbamine osutub täiesti võimatuks: selgub, et nad on muutlikud, ebamäärased, just nagu neid polekski.

Kui me «sõidaksime aatomisse» ja ringi vaataksime, ei õnnestuks meil kindlaks teha, kus aatom lõpeb: me ei taipaks, kuhu tuleb lüüa piirivaiad. Ja kääbus-Michelson prootonil näeks vaeva seletamisega, mille peal ta õieti istub. Osakestel pole välisseinu. Piljardikuulidega, maailmahoone muutumatute ehituskividega, oleme alatiseks hüvasti jätnud.

Piirideta piiritletus! — siit algavadki raskused. Ent nendega me võitlema ei hakka, selleks et nad meid ei võidaks. Kuidas lugu ka poleks, on selge, et «tõelist» osakest saab kandikul serveerida. Ja see on peamine. Ta on «asi».

Aga footon? Kuidas teda serveerida? See on igast aspektist võimatu. Footon ei saa paigal seista — siis teda lihtsalt ei ole. Ent kandik ei saa footoni kiirusega liikuda. Aga kui footon on siiski «asi», siis täiesti ebatavaline.

Iga vaatleja seisukohast puudub tal maht, on olemas ainult kaks mõõdet, kolmas on kadunud. Seepärast ei saa footonile paigutada ühtki kujuteldavat vaatlejat, seepärast ei saa footonile isegi mõtteliselt asetada kella — see ei näitaks aega, ei saa footoni külge kinnitada joonlauda — see ei näitaks pikkust, vähemalt mitte lennu suunas.

Ühesõnaga, footon ei saa olla tavaliseks t a u s t k e h a k s.

Muuseas, kui füüsik ja tema oponent hakkasid nullväärtusega seisumassist kõiki hämmastavaid järeldusi tuletama, alustasid nad sellest, et mitte mingisugune

füüsikaline keha ei jõua valgusosakesele järele. See tähendab, et pole võimalik leida sellist ruumi ja aja t a u s t k e h a, mille suhtes footon seisaks paigal. Kuid kas ei kerki pähe üks vastuväide: aga mis siis, kui võtta aja ja teepikkuse (järelikult ka kiiruse!) taustkehaks mõni teine footon. Nad lendavad kõrvu ja seisavad teineteise suhtes nähtavasti paigal, järelikult pole neid kumbagi olemas, mõlema mass kaob. Aga kuna nad mõlemad seejuures siiski eksisteerivad, siis... Teiste sõnadega, kui footon võiks olla taustkehaks, siis satuksime väga raskesse olukorda. Ent niisugust osa ei saa ta juba põhimõtteliselt etendada: tema käsutuses ei ole selleks vajalikku kella ega pikkust näitavaid mõõtepulki, s. t. tal pole millegagi mõõta võõrast kiirust ja kirjeldada võõrast liikumist.

● Kas meid peab hämmastama asjaolu, et footoni portrees esineb niisuguseid «mitteesemelisi» jooni? Mis on siin siis ootamatut? Kiirguskvandid pole üldse aine, vaid mateeria teise eksisteerimisvormi — jõuväljade — esindajad. Kas poleks kummaline, kui valgusosakestes ei avalduks nende füüsikaline loomus?

Aga valguse loomus ei tekita enam ammugi kahtlusi: see on lainetusprotsess eet... Hea, et ma sõnal sabast kinni sain. Ei, eeter on füüsikalisest maailmapildist kadunud. Kuid lained jäid. Ilma nendeta poleks võimalik mõista paljusid nähtusi, eelkõige difraktsiooni, s. o. valguse paindumist takistuse taha. Varem rääkisid teadlased eetri elektromagnetilisest võnkumisest. Aga kui võnkuv keskkond osutus ebareaalseks, mis seda siis asendas maailmapildis? Mitte miski! Sai selgeks, et valgus ise on materiaalne.

Kas mäletate Majakovski värssi «...kui meile jõuab surnud tähtede valgus»? Kaugete taevakehade valgus tuleb meieni miljoneid aastaid. Täht võib surra, kuid tema noorusaegne valgus on ikka alles teel meie poole.

Varem mõeldi: sinna, kuhu valgus pole veel jõudnud, pole jõudnud eetrivõnked, kuid eeter ise on seal igavesti olemas, oli, on ja jääb.* Nüüd on selge, et sinna pole

* Akadeemik Joffe, kes oli Einsteinist ainult aasta noorem, jutustab oma mälestustes: «Juba neljandas klassis, kui ma olin 12-aastane, hämmastas mind füüsika tunnis seletus, et valgus kujutab endast maailmaeetris levivaid laineid. Õhtul, püüdes kujutleda lambi, Päikese ja tähtede valgust, taipasin, et paratamatult

jõudnud valguse mateeria ise — elektromagnetiline väli, selle energia-mass. See voolabki ruumis valguse kiirusega laiali. Mis ja kuidas väljamateerias võngub, see on iseküsimus. Kuid nüüd on vähemalt arusaadav, miks igasuguse pikkusega elektromagnetilised lained, alates kõige pikematest raadiolainetest ja lõpetades kõige lühemate gammalainetega, levivad ühesuguse kiirusega. See nagu polegi nende oma kiirus, vaid *välja mateeria* kiirus, kus nad tekivad, selle materiaalse olemuse kiirus, mis väljub kiirgusallikast ja hakkab eksisteerima viimasest olenematult.

Varem vilksatas meie ees pildike: õngenööri otsa seotud kivi võngub tiigivees, tekitades järjest uusi ja uusi laineid. Mida kiiremini kivi võngub, seda sagedamini veerevad lained. Kiiremate võngete jaoks on ajaühikus rohkem energiat tarvis. See antakse kivilt edasi lainetele ja need kannavad selle harjadel edasi kaldale. Kui kivi sooritab sekundi kestel ühe võnke, veereb temast üle üks laine. Kui aga võngete arv on kümme korda suurem, veereb sekundi kestel eemale kümme lainet ja nad kannavad ära vastavalt rohkem energiat.

Nüüd peab fantaasia tegema väikese kangelasteo: kujutleme, et tiik on muutunud hiiglasuureks ookeaniks, nii et vahemaa kivist kaldani on 300 000 kilomeetrit, ja selles ookeanis ärgu olgu mingisugust vett. Kiiraku niidi otsas rippuv kivi ise midagi lainekujuliselt võnkuvat ja tõtaku see «miski» valguse kiirusega kalda poole. Üks võnge sekundis — ja üks laine sekundis veereb kaldani. Sada võnget — ja sada lainet põrkab sama ühesekundilise ajavahemiku kestel vastu kallast. Aga kivi võngete hoog on ikka samasugune ja seepärast toovad sada lainet kaasa täpselt sada korda rohkem energiat.

Kui lihtne: kujutletavast kivist — lainete allikast — kiirguvat energiat, mida meie «eimiski» edasi kannab, võib määratleda laineharjade arvu järgi ookeanis! Viime väi-

---

tuleb järeldada: eeter täidab kogu maailmaruumi, kust valgus tuleb, ja isegi sellised piiritud kaugused, kus valgust ei ole, kuid kuhu see kunagi võib jõuda, aga seni pole seal eetrit tarvis. Niisugune sihitu pillavus looduse poolt näis mulle nii loomuvastase ja mõttetuna, et ma hakkasin kahtlema valguseetri hüpoteesis ega usu seda sest ajast alates. Lootsin, et valguse loomusele leitakse mõni teine lahendus.»

Einstein leidiski lahenduse.

kese mõttelise kangelasteo lõpule: jälgime kumbagi võnget. Esimene andis ainult ühe laine, kuid kivist välja saadetud «eimiski» levis üle kogu ookeaniavaruse. Laine oli lausk, märkamatu. Teine energiakogus tekitas sada lainet, kuid ka need levitasid «eimiskit» kogu ookeanile, kuna see «eimiski» eemaldub kivist mõlemal juhul ühesuguse kiirusega. Ja sinna, kus enne oli üks laine, mahtus nüüd sada. Igaüks on sada korda lühem, kuid samal põhjusel ka järsem, selgepiirilisem, tajutavam.

Kindlasti puutub silma, et saja laine loomiseks pidi kivi kulutama rohkem «eimiskit», sest nagu ühe laine puhulgi, kattis see ikkagi sekundi jooksul kogu ookeani. Pole vaja olla naine, et kohe mõista: volditud seelikule kulub rohkem riiet kui sirgele. Ja pole vaja olla ehitaja, et mõista: lainelistest kividest katus on raskem kui siledaist.

Sada lainet tõid kaldale rohkem kivi poolt kulutatud «eimiskit» ja sellega koos kivi poolt kaotatud energiat. Võib-olla on «eimiski» ja energia lihtsalt üks ja seesama?

Niisiis kiirgab võnkuv elektron ruumi elektromagnetilise välja. Mis see on? Samuti «eimiski»! Nagu elektri enda, nii ka välja kohta ei ole midagi rohkemat öelda. Kuid meie jaoks on kõige tähtsam fakt, et väli kannab endas energiat. Ta kannab portsjonite kaupa ära võnkeallika energiat. Ja nüüd võime kas või ligikaudu kujutleda, kuidas neis annustes ilmneb kiirguse laineline loomus. Valgusenergia erinevad annused ehk kvandid erinevad üksteisest elektromagnetilise välja võnkesageduse ehk elektromagnetiliste lainete pikkuse poolest.

Seaduspärasuse võib matemaatiliste tähistega üles kirjutada ja siis näeme kuulsat Plancki valemit

$$E = h\nu,$$

kus h on jääv suurus, «maailmakonstant»,
ν — võnkesagedus ja
E — kvandi energia.

See valem on oma hämmastavas lihtsuses niisama ilus kui Einsteini seadus osakeste energia ja massi seose kohta. Ei, ta on veel lihtsam. Ja nagu näeme, kaob siin juba erinevus välja ja aine vahel...

«Violetne footon on punasest kaks korda suurem.» Vaevalt et me sellist lauset kuuldes kujutleme, nagu oleks violetne korpuskul rohkem «punnis».

Kui ahvatlev oleks footoneid võrrelda laineliste katusekividega: kõik nad on ühesuguste mõõtmetega, kuid violetse kivi lained on kaks korda tihedamad kui punasel, järelikult ka kaks korda lühemad ja materjali on selle valmistamiseks kulutatud kaks korda rohkem kui punasele naabrile. Ainult õnnetuseks ei saa midagi öelda footonite geomeetriliste mõõtmete kohta, ja neis ei võngu mitte energia-mass ise, vaid elektri- ja magnetvälja tugevus (või jõud). Ühesõnaga, tabada kõiki footoni iseärasusi elulise võrdluse abil on võimatu. Asjatu on tema tarvis mehhaanilist mudelit otsida. Otsingud on määratud ebaõnnestumisele.

Kui footon on vastastikuses mõjutuses elektroniga ja annab talle ära oma energia, meenutavad teadlased piljardikuule, nende kokkupõrget. Ja tahtmatult tekib mulje, et valgusosake on tõepoolest osake ja ainult osake! Kas tal mass on? On. See mass on tema energia. Liikumissuund on? On. Kiire suund. Mida siis veel tarvis on?

Kui footonite tee kaardub takistuste taha, meenuvad teadlastele lained. Ja nüüd tekib mulje, et valgus on tõepoolest lainetus ja ainult lainetus. Kas elektromagnetilises väljas on teatud sagedusega võnked? On. Kas välja pidevus on ilmne? Ilmne. Mida siin siis veel tahta?

Tuleb välja, et ühel juhul on tegemist rahe, teisel tuulega. Aga tegelikult? Selline küsimus kerkib tahtmatult keelele. Samal ajal on ta mõttetu. Mõttetu, sest nii üks kui ka teine leiab t e g e l i k u l t aset. Footonite käitumine osakestena on füüsikaline reaalsus. Footonite käitumine lainetena on samuti füüsikaline reaalsus.

Isegi lainelise katusekivi puhul võib kergesti märgata kahesuguseid omadusi. Kui kivi kukub katuselt alla ja riivab möödakäija pead, ei märka too sugugi kivi lainelisust, seevastu tajub täiel määral tema massiivsust. Ent kui poisike jookseb kukalt hõõruvast õnnetust jalakäijast mööda ja astub palja jalaga terveks jäänud kivile, siis ei saa ta mingisugust ettekujutust selle massist, see-eest aga tunneb õige valusasti kivi lainelisust. Milline see kivi siis tõepoolest on?

Footonil on kahene olemus: ta on laine-osake!

Näete, ajalugu ei teinud sugugi täisringi. Newtoni valguse korpuskuleid asendasid Huygensi valguslained, seejärel aga tulid korpuskulid-lained — «kentaurid», nagu neid aastat viisteist tagasi nimetas meie tuntud teoreetik

M. A. Markov. (Müütilisi loominimesi meenutas ka Lääne füüsik ja filosoof F. Franck.) Aga «kentaur:degi» korpuskulaarsus pole sugugi selline, nagu kujutles oma osakesi Newton, ja nende lainetaolisus on päris teist laadi, kui mõtlesid kunagi laineteooria pooldajad.

Kujutlus lainetest-osakestest või osakestest-lainetest on XX sajandi füüsika saavutus. Ja kummalise kujutluse järeldused on ootamatud. Need on nii ootamatud ja sügavad, et üks mikromaailma teaduse loojaid, Louis de Broglie, nimetas lainete-osakeste kahesuse avastamist «kõige dramaatilisemaks sündmuseks kaasaegses mikrofüüsikas».

Kui neid sõnu oleks lausunud kirjanik või ajaloolane, poleks keegi imestanud. Igaüks oleks ainult mõelnud, et rääkida füüsikalistest ideedest kui dramaatilistest sündmustest pole võib-olla kõige kohasem, kuid ka vaielda ei tasu: on teada, et kirjanikud armastavad oma mõtteid kõlavalt, ajaloolased aga pateetiliselt väljendada... Kuid ideede dramatismist hakkas rääkima teadlane ise! Ja rohkem kui kord tuleb meil tajuda, et tal on õigus.

Aga nüüd on vaja nende reisimärkmete alguse juurde tagasi pöörduda, et lõpuks vaadata, kuidas füüsikuil õnnestub nähtamatut ja kuuldamatut ilmseks teha.

KUUES PEATÜKK

- Romantika ilma romantikata.
- Lõigud ühetoonilisest filmist.
- Kes on need udust tunnelite ehitajad?
- Füüsikul oli õigus muiata.
- Lendab relativistlik osake!
- Mida teha üksikasjadega?
- «Laulvad elektronid».
- Pillamise ajalugu.
- Majandusime graatsia.
- Aragatsi legendi algus.
- Miraažid, miraažid...
- Kas õhulossidest jäävad varemed?

Juhuslikult mällu kerkinud pilv Aragatsil seisab mul ikka silme ees. See kutsub tollele lootuste ja pettumuste mäele, kuid meenutab teadusest kaugel seisvaid asju. Mu.de, võib-olla polegi need nii kauged?

... Maastikuauto jäi äikeses toppama. Õieti jäi ta mudasse kinni, kuid ümberringi oli äike. Ümberringi, mitte meie kohal. Välgud ei sarnanenud siin mitmeharuliste taevapragudega ega siksakiliste hoiatusmärkidega «Ettevaatust! Kõrgepinge!» Otse vasakul ja paremal lipsasid kivirahnude tagant välja tuhmid tulekerad. Ja otsekohe veeres mürin mööda ülal- ja allpool asuvaid kiviseid nõlvu.

Keegi teravmeelitses, et Aragatsil on valguse ja heli kiirused vist ühesugused. Kuid see teravmeelsus ei leidnud poolehoidu: veeojad uhtusid autot ja ähvardasid tee

täiesti läbipääsmatuks muuta, auto vajus järjest sügavamale.

Aga juhtus see juba juunis, mil kevad oli lõpuks jõudnud Ararati orust Aragatsi harjadele. Õnnis aastaaeg. Kuid siin oskab seegi inimestele riukaid mängida. Hommikul teatati mäelt raadio teel: «Ilm on suurepärane.» Pilve Aragatsi nõlval ei võetud muidugi arvesse. Kuid keskpäeva paiku hakkas see paisuma ja tõmbus sinakaks. Aragatsi füüsikute juhataja Artemi Isaakovitš Alihhanjan hoiatas autojuhti: «Pange ketid peale!»

Kuid noor autojuht ei kuulanud sõna. Ta jättis auto jalatsiteta ega pannud endalegi vattkuube või presendist tormiriietust selga. Nüüd oli ta ilus roheline pintsak troopikavihmast läbi ligunenud ja füüsikud kirusid teda sõnu säästmata ning aitasid jõudu säästmata. Pikk viivitus oli erakordselt ebasobiv, äikese käes istumine aga erakordselt lootusetu, Kuid ma mõtlen, et autojuhi kergemeelsus käis risti vastu mitte ainult momendi olukorrale, vaid kogu Aragatsi mägilaboratooriumi ajaloole.

Aragatsiga ei tohi naljatada. Kohalikud elanikud hoiatavad selle eest. Maastikuauto juht mängis vist alles puust veoautode ja papist tankidega, kui füüsikute ekspeditsioon kõige raskemal sõjaajal läbi metsiku teedeta maastiku üles mäeharjade poole rühkis; kui Mustjärve äärde kerkis kaljude ja külmade tuulte keskele esimene kosmilise kiirguse uurijate telklaager; kui ainult koormaeeslid suutsid kivistel järsakutel töökindlate maastikuautode osa etendada; kui petlike teeradade kurvide taga varitsesid usaldavaid inimesi «seikluste kurjad vaimud»; kui uljus või hooletus võisid maksta inimelusid ja ootamatud lumetormid, pilkane pimedus, ettenägemata varingud võtsid tõepoolest aeg-ajalt seda kallist andamit mäe asukailt, mäe asustamise pioneeridelt.

Just nagu sõjaveteranid armastavad Aragatsi laboratooriumi vanad töötajad igal puhul meenutada jaama ajaloo algperioodi. Kümmekond aastat tagasi jutustas kirjanik Jekaterina Strogova sellest huvitavas olukirjelduses «Aragatsi mäel».

Sellest ajast on kogunenud ja koguneb järjest uusi mälestusi. Neis on vähem kohta ebamugavustel ja hädaohtudel. Neis leidub vähem seda, mida nimetatakse romantikaks, nii nagu seda on vähem ka ookeanilaeva

sõidus võrreldes purjekatega. Tõenäoliselt kaob romantika täiesti, kui asfaldilint lookleb kuni Mustjärveni ja kõrgepingeliini tornid jõuavad väikese asulani 3250 meetri kõrgusel, kui asula ise laieneb, sest Aragatsi pioneeride järel ehitavad sinna oma laboratooriumi tõenäoliselt ka teiste alade teadlased — kõik, kel on kasulik olla taevale lähemal. Aga suvel hakkavad jerevanlased puhkepäevadel Aragatsil käima mäestikuõhku hingamas ja paadiga sõitmas. Ja kui kellelgi tuleb pähe humaanne mõte ehitada Karageli kaldale turismibaas ujula ning suusajaamaga ja väike taevavõlvi naabruses asuv restoran, kus pakutaks armeenia forelli, kuid ilma armeenia konjakita (see on niisugusel kõrgusel keelatud), siis antakse füüsikutele võib-olla õigus sellele nime valida. Võib-olla otsustavad nad sellele panna kõlava, kuid ainuüksi neile arusaadava nime «Meson». (Mitte prantsuspärase *maison* ehk maja, vaid füüsikalise termini, mis kõlab samuti, kuid on täiesti teistsuguse mõtte ja päritoluga.)

Vaevalt kahetsevad uurijad esialgse ebamugavuste ja hädaohtude romantika kadumist: tööd on parem teha olukorras, kus sunnitud kangelaslikkusele kulub minimaalselt jõupingutusi. Kuid sõnas «meson» jääb nende jaoks alati elama Aragatsi innustav pioneerivaim.

Mind vaevab kahtlus, kas sellistest asjadest nagu teadlaste töö üldse on tarvis kõnelda kõrges stiilis? Pidulike sõnaühendite varjus lipsab märkamatult mööda reaalne elu. See muutub legendiks. Aga ükskõik millisest üritusest osavõtjad ei loo ju oma elulugusid, nad lihtsalt töötavad. Niisamuti ka inimesed Aragatsil — nad lihtsalt töötavad. Töötavad, väsivad, kiruvad halba ilma, loodavad ja ärrituvad, kui mõni asi välja ei tule, ei armasta ülemuste norimist, torisevad ühetooniliste boršide ja lambaliha pärast, kirjutavad kirju ja igatsevad kohtumisi, rõõmustavad, kui on juhus laskuda alla õhtuste Jerevani tulede juurde, ning jällegi töötavad, töötavad, töötavad. Ei heieta mõtteid oma erakordsusest ega näe oma elus midagi legendaarset peale võib-olla nende harvade episoodide, mille kohta neid ahnelt küsitlevad kohalesõitnud ajakirjanikud, aimamatult sundides mäeelanikke tõusma hetkeks kõrgemale iseendast ja raskest Aragatsi argipäevast. Ja kui mõtled äkki vältimatust muigest, millega nood inimesed loevad kätteõpitult ülevaid, ehkki täiesti siiraid sõnu oma romantilisest tööst ja elust, siis jäävad sõnad

kurku kinni ning pooltõepärane ilukõne katkeb poolelt silbilt.

... Ülalt mäelt tõin ma mälestuseks kaasa väljanurutud kingituse — jupi filmilinti, kõigest neli kaadrit. Need pole portreed ega maastikud, seal ei leidu inimesi ega loodust. Kuid ausõna, paremat mälestust Aragatsist poleks saanudki kaasa võtta. Kui vaatad neid vastu valgust läbi suurendusklaasi, siis satud lõputute väikeste, kuid hämmastavate sündmuste keerisesse, mis on neile kaadreile jäädvustatud.

Tõsi, sündmused vaikivad lumetormidest ja jonnakate inimeste aastatepikkusest kannatlikkusest; see-eest jutustavad nad otsiva inimmõtte hämmastavaist — jälle hämmastavaist! — seiklustest, mis tõid teadlased Aragatsile.

Neli kaadrit... Kas seda on palju või vähe? Meile uudishimulikele jätkub ühestki. Seda, millest igaüks neist jutustab, jätkuks küllaga täismetraažilise põneva sündmustikuga filmi jaoks: nii palju mitmesuguseid sündmusi ja paljude saatuste ootamatuid ristumisi, sünde ja surmigi kajastub seal.

Nende sündmuste tegelased on elementaarosakesed.

Kui me tõusime Aragatsile, et näha, mil kombel nähtamatu ja kuuldamatu ilmseks muutub, teadsin ma juba, et sellistele filmidele ongi pildistatud see, mida näib olevat täiesti võimatu pildistada. Ja muuhulgas mesonite sündimine ning surm, nendesamade mesonite elukäik, milles jäävad elama Aragatsi pioneerivaim ja Aragatsi draama.

Kuigi see draama kuulub juba füüsika ajalukku ning pole võimalik midagi parandada, jutustan ma olevikus, sest nähtamatu ja kuuldamatu ilmseks muutmise põhiprintsiibid ja isegi meetodid on Aragatsil olnud ning jäävad ka edaspidi samasugusteks nagu kõikjal.

Kaadrid näevad välja selliselt, nagu oleks keegi kavatsenud muusikat mustale koolitahvlile üles kirjutada ja tõmmanud sellele korrapäraseid jooni nagu noodipaberile. Ent kui meie ees on tõeline filmilint ja meile viirastuvad tõelised filmid, siis jäägem teatrialaste võrdluste ringi. Pealegi on need meeldivalt piltlikud.

Dekoratsioonid on igas kaadris, kui palju neid ka ei vaataks, ühesugused: lava must täisnurkne pind on heledate joontega horisontaalseteks vöönditeks jaotatud. Just nagu oleks tegevuspaigaks kaasaegse karkasshoone mitu

korrust ja lavapilt kujutaks alustatud konstruktivistliku ehituse maketti läbilõikes.

Lava on Wilsoni kambri sisemus. Selle pime ruum on õhukeste tina- või vaskplaatidega kihtideks — korrusteks — jaotatud. Et oma rolli etendada, ilmuvad kosmilised osakesed kambrisse vabatahtlikult, ükshaaval, üksteisega kokku leppimata, eelnevate proovideta ja küsimata, kus on sissekäik.

Nende ilmumine on täiesti juhuslik! Neil pole tarvis erilisi pingutusi peale mõningase energiakulu, et tungida läbi seinte kambrisse: osakeste läbitungimisvõime on nende talent, mis annab õiguse filmist osa võtta. Kuid ka Aragatsi filmistuudio-laboratooriumi füüsikuil on oma kindlad õigused: nad on režissöörid ja operaatorid ega ole sugugi kohustatud filmima igaüht, kel on selleks eeldusi.

See meenutab väga tõelisi filminäitlejate proovivõtteid: režissöör katsetab iga rolli jaoks paljude kandidaatidega, enne kui valib välja kõige sobivama osatäitja. Tõsi, hiljem võib selguda, et valik ebaõnnestus: tõelisi andeid leidub harva, kerge on eksida.

Niisugune on ka füüsikute töö Aragatsil: nad otsivad aastate kaupa uusi elementaarosakesi kosmilises kiirguses ja pildistavad ainult neid tõeliste novaatorite kandidaate, kel õnnestub vähemalt õigesti etendada eeldatavat osa. See on esimene ja kohustuslik nõue. Sellele vastavad vähesed või suhteliselt vähesed osakesed neist, mis kambrisse ilmuvad. Kuid millised neist tõepoolest osutuvad veel tundmatuiks «algallikaiks», see ei selgu filmimise ajal, vaid hiljem, pärast filmitud materjali põhjalikku läbiuurimist.

On siiski arusaamatu, kuidas füüsikud veendumusele jõuavad, et osake etendas oma osa õigesti, et teda tasub edaspidiseks uurimiseks filmida. Edu üle saab otsustada alles siis, kui töö on juba tehtud. Aga kui see on tehtud, mida siis õieti filmida? Ei saa ju juhuslikku külalist lavale tagasi tuua ja paluda kõike korrata?

On aeg öelda, millises filmis osakesed mängivad. Siis selgub kõik. Filmi nimetus on meile tuttav — «Ionisatsioon».

Wilsoni kambrit nimetatakse udukambriks. Selles võib tõepoolest kergesti moodustuda udu, nii et udukamber polegi kujund, vaid täiesti tehniline nimetus. See on küllastatud piiritusauru ja mõne gaasi seguga. Kui kambri

mahtu kiiresti suurendada, siis aur jahtub veidi, ülekküllastub ja on valmis muutuma vedelikutilgakesteks. Nii tekib külmadel hommikutel uduloor niiskete madalike kohale, kus õhk on veeauruga ülekküllastatud. Wilsoni kambris on piiritusudu alati tekkevalmis. Puuduvad ainult tibatillukesed tolmuterad ehk teadlaste keeles rääkides kondensatsioonitsentrid, mille ümber sadestuksid niiskusetilgakesed. Kui kambrisse ilmuksid mingite aatomite laetud ioonid, sobiksid need sellesse ossa suurepäraselt.

Film «Ionisatsioon» algab hetkest, mil kosmilised külalised tungivad pimendatud lavale. Suure energiaga osakesed hakkavad kohe oma varandust kulutama kokkupõrgetel gaasi aatomitega. Rebides neilt ära väliskatte elektrone, jätavad nad rajale laetud aatomikilde — ioone, Faraday rändureid. Pierre Auger, kes Teise maailmasõja lõppaastal kirjutas raamatu kosmilisest kiirgusest, võrdles suure energiaga osakesi vaenlase mootorratturitega: rahvahulga sekka tungides lömastavad nad ettejäävaid inimesi, nende tee on surma tee. Rahuajal saame läbi ilma veriste metafoorideta. Ioone ei maksa nimetada lömastatud laipadeks ega kildudeks: ega nad nii eriti sarnased polegi. Laetud ioonid on neutraalseist aatomeist elujõulisemad, neilt oleks just nagu langenud ükskõiksusemask, oleksid nagu avanenud meeldivad, energilised näod: ülekküllastunud auru molekulid kleepuvad ioonide külge, moodustavad nende ümber tilgakesi, mis valgustamata lava pimedusest kahkjalt silma paistavad.

Kitsas uduniit venib kosmilise osakese taga, tähistades ioonide rida, mille too on oma teel loonud. Nüüd tuleb jupiterlambid sekundi murdosaks sisse lülitada, toimunu pildistada, ning film ongi valmis. Nähtamatu ja kuuldamatu muutub ilmseks.

Kuid võtet ei tohi alustada ei liiga vara — udujälg peab olema välja kujunenud — ega ka liiga hilja — udu hajub ja jälg valgub laiali. Ühesõnaga, peaaegu sünkroonselt toimub neli sündmust: osake ilmub Wilsoni kambrisse, kambri maht kasvab selleks, et luua auru ülekküllastust, lülitatakse sisse valgus ja kaamera. Nii on korraldatud võtted Aragatsi füüsikalises filmistuudios. Ja muidugi toimub kõik automaatselt: osake ei hoiata oma ilmumisest. Ta lendab valguse kiirusele lähedase kiirusega ja teda silmas pidada on mõeldamatu. Osake i s e peab andma käskluse võtteks! Füüsikud on kõik korraldanud nii, et ta

tõepoolest seda teeks. Ja käsklus täidetakse vastuvaidlematult.

Siin on jällegi tööle rakendatud ionisatsioon.

Kosmiline osake lendab ülalt — langeb taevast. Udukambri kohal kohtab ta metalltorudest barjääri. Ka torusid täidab gaas. Neil on õhukesed seinad. Igaühesse on tõmmatud peenike traat. Need on Geigeri-Mülleri loendajad, mis on niisama kuulsad kui Wilsoni kamber. Barjäärist mööda lipsates ei pääse osake lavale: loendajad moodustavad kambri kohal tiheda katuse. Kuid selline katus pole takistuseks kosmosest saabunud külalisele: ta tungib vaevata läbi teele ette jäänud toru. Gaasi neutraalseid aatomeid tabab loendajas sama saatus mis udukambriski: osake rebib nende küljest elektrone ja aatomid muutuvad ioonideks. Kuid Wilsoni kambris ei tõtta ioonid kuhugi, neid ei tõmba miski külge, vastupidi, sümpaatselt tundmatutena on nad ise aurumolekulide jaoks külgetõmbetsentriteks. Aga loendajais on ioonid tõelised rändurid. Neid tõmbab ligi torus asuv traat: see on nimelt pinge all.

Ioonid suunduvad kohe traadi poole. Tekib rüselus ja isegi kaklus: tõttavad gaasiioonid ise tegutsevad juba samal kombel nagu kosmiline osake esialgu. Teel traadi poole rebivad nad ära elektrone oma hiljutiste kaksikvendade, teiste neutraalsete gaasiaatomite väliskatteist. Muidugi, ioonide energia on kosmilise osakese energiaga võrreldes tühine, kuid see-eest on neid palju. Ja kuigi igaüks tekitab suhteliselt vähe uusi ioone, kasvab laetud laviin kiiresti. Ligikaudu miljondiku sekundi kestel tekib lühike, kuid üsna tugev elektrivoolu löök — elektriimpulss. Noh, aga kuidas impulss t ö ö l e panna, see on juba puhttehniline küsimus.

Siinkohal lõpeb füüsikute osa ja algavad inseneride mured. Vooluimpulssi võimendades võivad nad sellega teha kõik, mida soovivad, kas või lülitada selle abil sisse valgusreklaam tulevase turismibaasi «Meson» kohal. Praegu lülitavad need impulsid Aragatsil sisse filmimisseadet.

... Laboratooriumis on vaikne. Ainult laborandid vestlevad poolihääli. «Millal sul puhkus on?» — «Ei tea veel. Aga Jerevanis on praegu lõbus...» — «Räägitakse, et Saroyan pidavat siia sõitma, kas oled kuulnud?» — «Ah, jäta!» Ja järsku kostab midagi piitsaplaksu ja sügava ohke

taolist. See tähendab, et andekas osake lendas meist mööda ja jäädvustus filmilindile: ohkas mahtu suurendav Wilsoni kamber, süttisid võimsad lambid ja valgustasid lava, ning sellesse mürasse kadusid filmiaparaatide katikuavajate klõpsatused. Osakese tekitatud vooluimpulss tegi oma töö!

Ning uuesti on laboratooriumis vaikne. Laborandid kummarduvad aparaatide kohale. Vaatluspäevikusse ilmuvad andmed võpatanud osutite näitude kohta. Kui kaua vaikus kestab, seda ei tea keegi: vajalikud osakesed tulevad ilma sõiduplaanita ja neid on harva.

● Filmikaadrid, mida ma praegu vastu valgust vaatan, pole sugugi kõige õnnestunumad (seepärast nad mulle kingitigi). Meenub, kuidas Artemi Isaakovitš Alihhanjan Aragatsi laboratooriumis stereoskoobi kohale kummardudes ja järjekordset täisvõetud l'nti vaadates ütles: «Võtted on hilinenud: jäljed pole küllalt selged.» Laborandid nõustusid vaikides.

Kuid olulisem oli muu.

Linti vaadates ja seda laboratooriumi suure arveraamatuga võrreldes rääkis Alihhanjan tasa: «Ei, see on muidugi prooton.» Või: «Siin on kõige tõenäolisemalt müümeson.» Stereoskoobis edasikeritav lint suriseb ja jälle kostis seesama entusiasmita hääl: «Ka siin on tüüpiline prooton.» Või: «Kerge meson, see on selge.»

Füüsik tundis osakesi ära jälgede järgi nagu kogenud jahimees metsloomi. Ette juhtusid kõik vanad tuttavad ja just see ei äratanudki teadlases mingisugust vaimustust. Lindile olid jäädvustunud osakesed, mis näitlemisproovi suurepäraselt sooritasid, kuid ka ilma spetsiaalse uurimiseta paistis füüsikule silma, et tema ees pole neid jälgi, mida ta näha igatses.

«Need jäljed» ... Aga mis see tähendab? Kas osakese hetke jooksul jäetud allkirja järgi võib tema kohta tõesti midagi kindlat teada saada?

Keegi tuli huvitavale võrdlusele, et Wilsoni kambris lendab osake oma udujäljes nagu kärbes metroo tunnelis. Seegi on veel liiga heldelt öeldud, imeheldelt: kärbse asemel peaks võtma mõne lendava viiruse, et pisutki mastaapi tabada. Ja kas pole suurepärane, et selle grandioosse tunneli rajab tibatilluke ehitaja silmapilgu jooksul. Seejuures on meie ette ilmunud tunnel ainult mälestus ehitajast,

teda ennast seal sees enam pole: teinud oma töö, tekitanud ioonid, mis omakorda panid aluse uduniidile, muutus osake uuesti nähtamatuks, s. t. lahkus kambrist, lagunes või neeldus aines. Rajatud tunneli tüübi, selle massiivsuse, mõõtmete ja kõveruse järgi otsustavad teadlased ehitaja võimsuse ja iseloomu üle.

Nii muutub füüsikute töö sarnaseks arheoloogide otsingutega: neid, kes püstitasid Egiptuse püramiidid või Teeba kükloopsed müürid, pole Egiptuses ega Teebas enam ammu olemas, mõttetu on lootus neid n ä h a, kuid töötulemuste järgi võib nende kohta paljugi eksimatult järeldada, paljugi üle aga vaielda. Muide, Teeba müürid kerkisid nii kauges minevikus, et juba vanad helleenid otsisid vastust küsimusele, kes need ehitanud on. Tekkis legend meretagustest hiiglastest — ühesilmalistest kükloopidest. Ja mis siis, kas see seletas halvasti hiiglasuurte kivide müüri ladumiseks kulutatud muinasjutulist energiat? Seletus oli hea — lihtne ja julge. Häda oli ainult selles, et niisugune «teooria» rääkis vastu kõigile inimese kogemustele, kõigile kujutlustele inimsoost. Hiiglased? Ükssilmad? Ei, ei, nagu füüsikud räägivad, «see ei lähe läbi». Tuleb otsida muid võimalusi.

Udutunnelite nähtamatud ehitajad sooritavad Wilsoni kambris tõepoolest legendaarseid tegusid. Kes nad siis on, need ehitajad?

Ühe silmanähtava loogilise järelduse võib teha otsekohe: neil osakestel on elektrilaeng, sest neutraalsed osakesed ei suuda aatomeid ega molekule ioniseerida. Igal kaadril on palju udujälgi peale selle peamise, mille jättis külaline, kes ise juhtis filmimist Aragatsil. Ja need jäljed on erinevad, leidub pikki ja lühikesi. Kutsumata osakesed, kes jätsid nii ebaviisakalt oma jälgi lavale, kus neid üldse ei kavatsetud filmida, võisid kaamerasse tungida väljast — ülalt, alt, kõrvalt —, võisid aga tekkida temas endas. See on meile praegu absoluutselt ükskõik. Seevastu pole sugugi ükskõik, et jälgede erinevused peavad nähtavasti kajastama mingeid tähtsaid erinevusi osakeste endi omadustes.

● Esialgu paistab, et udukambri võimalused on väga tagasihoidlikud: see lubab teada saada, kas mikroosakesed on laetud või mitte. Kuid ärge unustage: ta muudab nähtavaks nende teed. Ainuüksi seepärast tasus Cambridge'i

füüsikul Charles Wilsonil ohverdada aastaid oma elust udude uurimisele, et lõpuks jõuda komplitseeritud leiutiseni.

Ta tegi selle haruldaselt sobival ajal, 1912. aastal. Kõigest aasta varem oli Ernest Rutherford tõestanud aatomituuma olemasolu ja algas tuumafüüsika hoogne areng. Aga kaks aastat varem oli austerlane Hess näidanud, et Maale jõuab «kõrgustest tulev kiirgus», ja algas niisama tormiline kosmiliste osakeste füüsika areng. Sel ajal saidki mikromaailma uurijad instrumendi, mis osutus neile niisama oluliseks kui mikroskoop bioloogidele ja teleskoop astronoomidele.

Kord püstitab inimkond mälestusmärgid väljapaistvatele leiutustele — instrumentidele, masinatele, aparaatidele, konstruktsioonidele. Esimese tehiskaaslase mälestusmärk on selle lootuse kehastus. Need monumendid püstitatakse kollektiivse mõistuse auks, mis väärib pronksi, marmorit, terast! Iga leiutise omandamine ja täiustamine on paljude peade ja käte töö. Ainult esmaavastaja hilisemate, tihti tundmatute kaasautorite poolt «lahtimõtestatuna» avanevad kõik leiutisse kätketud võimalused.

Nii oli ka Wilsoni kambriga, millele kuulub kord postament maailma ühe ülikoolikeskuse väljakul.

Kahekümnendate aastate paiku tuli noor ja veel tundmatu teadlane sellele, et paigutas udukambri magnetvälja. Tollal oli töö magnetväljadega andeka eksperimentaatori kireks. Kord katsetas ta alfaosakestega — heeliumi aatomi tuumadega. Need joonestasid kambris ilusaid selgeid radu, sirgeid valgeid uduniite. Teadlane arutles: magnetväli peaks neid jooni kõverdama, ta ju kallutab laetud osakesi sirgjooneliselt teelt kõrvale. (Nii sunnib Dubna kiirendajas magnetväli kiirelt lendavaid prootoneid mööda ringjoont liikuma.)

Kuid mille poolest võisid kõverteed sirgjoonelistest paremad olla? Väga lihtne: udujälgede kõverdumine tõotas uusi andmeid osakese kohta.

Liikuv laeng paneb magnetvälja kallutavale jõule vastu seda edukamalt, mida suuremad on laetud keha mass ja kiirus. Rasket osakest on sirgjooneliselt teelt raskem kõrvale kallutada kui kerget, kiiret aga raskem kui aeglast. See on iseendast selge. Kõigil heeliumi aatomi tuumadel on ühesugune mass, kui jätta kõrvale õige väikesed erinevused, mis on tingitud nende mitte päris võrdsetest

kiirustest. Tähendab, valguse kiirusest kaugete kiiruste korral, kui selline ligikaudsus on lubatud, võib alfaosakeste udusleppide järgi otsustada nende kiiruse üle: aeglastel on jälje kõverus suurem, hoogsamail väiksem.

Teadlane sai kõverdunud jäljed, ja osakesed udukambri laval hakkasid kohe hoopis rohkem jutustama kui enne. Selleks teadlaseks oli Pjotr Leonidovitš Kapitsa, kelle nime nüüd kõik nii hästi tunnevad.

Aga seejärel, samuti kahekümnendail aastail, tegi noor ning alles tundmatu uurija kosmilistele osakestele esmakordselt ettepaneku end pildistada Wilsoni kambris, mida läbib magnetväli. Kosmilised osakesed hakkasid uduselt lavalt välja lobisema uusi tähtsaid andmeid oma omadustest. Praegu on selle füüsiku nimi kõigile tuntud — Dmitri Vladimirovitš Skobeltsõn.

Laetud osakeste lihtsaimaks saladuseks on laengu märk. Pluss või miinus? Magnetjõudude mõjul pöörduvad nad ühele poole, kui on laetud positiivselt, ja teisele, kui on laetud negatiivselt. Nii on Aragatsi võtteil paljud jäljed paindunud vastassuundades, ehkki osakesed lendasid koos, ülalt alla. Järelikult on ilmne, et nende laengud olid erineva märgiga.

Teised andmed nii lihtsad pole. Neid ei saa Wilsoni kambri fotodelt nii kergesti välja lugeda. Isegi osakeste kiiruse üle ei osata otsustada ainuüksi jälgede kõveruse järgi: osakestel võivad olla väga erinevad massid.

Siin on kaks ühtemoodi kõverdunud jälge. Mis neid jättis, raske ja aeglane või kerge ja kiire? Liikumise aeglust võib kompenseerida suur mass. Kindlalt võib järeldada ainult üht: m a s s i j a k i i r u s e k o r r u t i s oli mõlemal juhul ühesuurune. «Osakestel olid võrdsed i m p u l s i d, neil oli ühesugune l i i k u m i s h u l k,» nii ütleksid füüsikud erialases keeles.

See on teine saladus, mille magnetväli osakestelt kohe kätte sai: nende impulsi suurus! Kuid miks asetada siia hüüumärk? Füüsik muigaks niisugust küsimust kuuldes.

On olemas ammu avastatud põhiline loodusseadus — impulsi jäävuse seadus, liikumishulga jäävuse seadus. See, kes on jahipüssist lasknud, on tundnud seaduse mõju omaenda õlal. Enne lasku olid püss ja kuul paigal. Nende kiirused — nii eraldi kui ka koosvõetuna — võrdusid nulliga. Ühine impulss samuti. Pärast lasku peaks see säilima, s. t. jääma nulliks. Aga kuidas see võimalik on: kuuli

kiirus ja samuti impulss on nüüd suured? Kahtlemata. Kuid on veel püss. See võis samuti saada impulsi ja seejuures niisama suure, ainult vastassuunalise. Sel juhul jääks kuuli ja püssi impulsside summa endiselt võrdseks nulliga. Nii lugu tegelikult ka on: püss annab meie õlale tagasilöögi, ise «lendab» tagasi, seepärast et kuul lendab edasi. Kuid «lendab» peab paigutama hanejalgadesse: et saada kuuliga võrdset impulssi, ei vaja püss suurt kiirust, kuna tal on suur mass.

Uraani tuuma lagunemine meenutab püssilasku. Lendab välja kuul — alfaosake. Järelejäänud raske tuum peab tagasi põrkama. Seda võib kontrollida. Wilsoni kambris saab vaadelda tagasipõrganud tuumade udujälgi. Jah, füüsikud nimetavad neid just nõnda, — «tagasipõrganud tuumad» —, jäljendades jahimeeste ja suurtükiväelaste keelt.

Nüüd alles võime täiel määral hinnata, kui tähtis on elementaarosakeste impulsi tundmine. Hüüumärk oli õigustatud.

Aragatsi filmivõtteil esineb murtud udujooni. Mitte kõverdunud, vaid murdunud, just nagu oleks osake lennanud, lennanud ning äkki järsult kõrvale pöördunud. Tähelepanu! Osakesega juhtus lennu ajal midagi väga tõsist. Võib tähele panna, et jälg on murdekohas muutunud — peenemaks, nõrgemaks või vastupidi. Selles punktis on endine osake nähtavasti kadunud, uus aga tekkinud ja kõrvale lennanud.

Osakese lagunemine lennu ajal? Mis siis, see on mikromaailmas igapäevane sündmus. Kuid üks osake lendas lagunemispunktist edasi nurga all, tõestades silmanähtavalt, et tema kiirus on teistsugune kui esimesel, vähemalt suuna osas. Tähendab, ka impulss on teistsugune, kuna tal on alati kiiruse suund. Kuid kuhu jääb siis impulsi jäävuse seadus? Püüdkem toimunust aru saada.

Seadus ise näitab füüsikuile kätte väljapääsu raskest olukorrast. Et bilanss oleks tasakaalus, peab lagunemispunktis veel keegi pärima osa esimese osakese impulsist. Nähtavasti ei sündinud murdekohas mitte üksainus osake, vaid vähemalt uute mikrokentauride paar, millest ka teine nurga all minema lendas, ainult teises suunas.

Ent kui osake jagunes kaheks, miks kulgeb siis lagunemiskohast ainult üks jälg? Kus on teine? See loomulik küsimus tundub saatuslikuna. Aga esitades küsimuse veidi teisel kujul, leiame otsekohe vastuse. Tuleb pärida, miks

pole teist jälge n ä h a. Seepärast, et teise tekkinud osakese järel ei veni udukiirt — ta ei loo oma teel ioone, sest ta on n e u t r a a l n e.

Teisiti ei saaks ollagi. Lagunenud osake pidi pärijatele jätma mitte ainult impulsi, vaid ka laengu. Aga kui üks pärijatest suutis joonistada udujälje, siis teisele enam laengut ei jäänud.

See on väike näide eksperimendi ja teooria võimsast liidust. Isegi jälje puudumisel udukambris on tähendus! Seal, kus meie ei märka absoluutselt mitte midagi, näeb füüsik vaimusilma ees äralendavat osakest. Füüsikutel on nalju, mille sool on mõistetav ainult neile endile. Räägitakse, et 1960. a. teoreetilisel seminaril Kopenhaagenis Niels Bohri juures demonstreerinud Hans Bethe naljapärast täiesti musta fotot — ilma ainsagi udujooneta! — ja ütelnud: «On selge, et siit lendas läbi neutraalne osake, mis lagunes hiljem kaheks uueks neutraalseks... Eksperimentaatoreil pole selle kohta muidugi midagi öelda, kuid meie, teoreetikud, peaksime tähelepanuväärse foto üle järele mõtlema...» Kõik hakkasid naerma, ehkki kõigile nähtavasti meenus, et aastat kolmkümmend tagasi juhtus «algaluste» avastamise ajaloos tõepoolest midagi sellesarnast.

Nii hakkas elementaarosake neutriino füüsikute kujutluses elama veerand sajandit varem, kui õnnestus lõplikult veenduda, et ta elab ka looduses, s. t. eksisteerib tõepoolest. Aga esialgu mõtlesid teadlased ta lihtsalt välja kui kolmanda kehakese jäävuse seaduste bilansi jaoks. Lugu oli nõnda.

Paljud radioaktiivsed ained kiirgavad alfakiiri — heeliumi aatomi tuumi, paljud aga beetakiiri. Need on tavalised elektronid. Kõige lihtsam oleks vaadelda beetalagunemist samuti kui alfalagunemist: tuum eraldus elektronist samal kombel nagu püss kuulist! Kuid selgus, et elektronidest püssikuulid lendavad nii, kuidas neile pähe tuleb, ja tagasipõrganud tuumad «löövad vastu õlga» teisiti kui tavaliste laskude korral.

Hiljuti surnud silmapaistev füüsik Wolfgang Pauli mõistis beetalagunemist uurides, et siin on mängus kolmas keha. 1931. aastal «mõtles ta välja» uue, tillukese kaliibriga kuuli, mis p e a b elektroniga koos tuumast välja lendama. Kahe aasta pärast nimetas suur itaallane Enrico Fermi beetalagunemise teooriat luues Pauli vii-

rastusliku kuuli hellitlevalt «neutriinoks», s. t. väikeseks neutroniks, neutronikeseks: osake on ju neutraalne.

Peab muu hulgas ütlema (reisimärkmeis räägitakse tavaliselt kõigest «muu hulgas»), et Enrico Fermil olid omad põhjused olla õrn tuuma elementaarosakese — neutroni vastu, mille 1932. aastal avastas inglane James Chadwick.

Kuid kõigepealt tuleb tähendada, et teadlaste üldise arvamuse kohaselt oli Fermi peaaegu ainus füüsik maailmas, kelles geniaalne eksperimentaator ühines geniaalse teoreetikuga. Ta oli pealaest jalatallani teoreetik ja jalatallast pealaeni eksperimentaator. Tema naise mälestustes leidub lõbus episood:

«... Vaatamata Enrico teoreetilistele näpunäidetele, kuidas keskküttekollet kütta, ei tõusnud meil temperatuur üle 8°. Tegin juttu topeltakendest. Enrico... istus kabinetti ja süvenes ülipikkadesse arvutustesse... Tagajärjed olid vähejulgustavad: välisõhu sissetungimine oli nii tühine, et topeltakendest poleks mingit kasu olnud. Alles mitu kuud hiljem andis Enrico nõusoleku akende ostmiseks. Ta oli arvutused uuesti läbi vaadanud ja leidnud, et oli kümnendmurrus koma valesse kohta asetanud.»

Kuid füüsikute hulgas peeti Fermit eksimatuks.

Tookord, kui ta töötas välja radioaktiivsete aatomite beetalagunemise teooriat, liikusid tal mõttes juba paljutõotavad katsed neutronitega. Ta otsustas nendega pommitada järjest kõiki keemilisi elemente ja avastas peagi, et paljud aatomid kaotavad pärast neutroni neelamist püsivuse. Nad muutuvad kunstlikult radioaktiivseiks. Sellise radioaktiivsuse olid hiljaaegu enne seda avastanud Irène ja Frédéric Joliot-Curie, nii et polnud nagu midagi hämmastavat. Lihtsa ja silmanähtava loogika järgi arvati, et mida energilisemad on pommitavad osakesed, seda tõenäolisemalt muudavad nad aatomeid ebapüsivaks. Kuid Fermi laboratooriumis Roomas avastati midagi täiesti vastupidist: aeglased neutronid andsid paremaid tulemusi kui kiired. Lihtsalt nagu ime.

Esimesena märkas «imet» noor Bruno Pontecorvo. Ta oli tookord 25-aastane. Rooma laboratooriumis töötasid sellal kõik niisama noored kui tuumafüüsika isegi. Ka «paavst», Enrico Fermi oli ainult veidi üle kolmekümne aasta vana. Ja eksperimenteeriti lõbusalt — noorusliku kannatamatuse ning leidlikkusega, väga itaaliapäraselt.

Itaaliapäraselt? Ei, vaevalt oli see rahvuslik stiil, sest nüüd, mil Bruno Pontecorvost on saanud oma kolleegidele Bruno Maksimovitš Pontecorvo, Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia korrespondentliige, maailmakuulsa nimega teadlane, võib ta komplitseeritud eksperimentaaltööde juhendajana ühes Dubna laboratooriumis näha noortes nõukogude aatomiuurijates, kelle jaoks tema ise on nüüd «paavst», neidsamu paindliku ja lõbusa leidlikkuse jooni. Need on teadusenoorte internatsionaalsed jooned, kui uurijad teavad, et nad teevad ajalugu, ja usuvad tulevikku.

1934. aasta sügisel laskis Enrico Fermi koos Bruno Pontecorvo ja teiste õpilastega neutronite allika ning nendega kiiritatud hõbesilindri kuldkalakeste basseini. Seal, laboratooriumi aias asuva vana purskkaevu juures, veendus Fermi, et vesi aeglustab neutroneid suurepäraselt. Ta mõistis juba, et aatomid haaravad aeglasi neutroneid paremini seepärast, et need lendavad tuumadest mööda aeglasemalt, s. t. on kauem nende naabruses. Kuid Fermi ei teadnud tookord veel, et uraani tuumad muutuvad selliseid neutroneid haarates just nagu kahekordselt radioaktiivseks. Ei teadnud, et tuumad peaaegu poolduvad, vabastades tuumasiseste seoste tohutu suure energia. Ta ei aimanud veel, et paneb nende katsetega Rooma purskkaevu juures aluse tulevastele tuumareaktoritele.

Kuid eks ole, tal oli ju alust hellitada õrnu tundmusi neutronite vastu? Ja küllap seepärast saigi Pauli nähtamatu kuul tema suust liigutava nime «neutronike» — neutriino.

Aga veerand sajandit hiljem, 1956. aastal, muutus neutriino äkki päevakangelaseks: sellega olid seotud teadlasi rabanud uued sündmused elementaarosakeste maailmas. Kas pole siis selge, et füüsikul oli tõepoolest õigus muiata meie hämmelduse üle selle kohta, mida võib anda mingisuguse impulsi tundmine. Kuid tal oli veel üks põhjus muigamiseks, mitte nii keerukas, ent niisama oluline.

● Kui teile öeldakse, et toa põrandapind on nii ja nii suur, mida võite siis öelda tema pikkuse ja laiuse kohta? Mitte midagi kindlat. Tuba võib olla nii ruudukujuline kui ka koridoritaoline. Sama lugu on ka impulsiga, massi ja kiiruse korrutisega: selle väärtus ei ütle midagi massi ega kiiruse kohta e r a l d i.

Kuid õnneks on veel üks kergesti mõõdetav suurus, mis sõltub osakese kiirusest ja massist — tema liikumise energia. Kui saaks ka energia teada! Siis avaldab osake kohe mõlemad saladused, nii massi kui ka kiiruse. Loodus ei klammerdu tõepoolest oma saladuste külge, ta on valmis neid vasakule ja paremale jaotama, jutustama millal tahes ja kellele tahes, kui aga keegi oskaks kuulata ja aru saada. Kõneldes osakese «saladustest» tunnistame, ise seda märkamata, ainult oma «pimedust» ja «kohmakust». Kahe tundmatu — kiiruse ja massi — leidmiseks on tarvis kaks võrrandit. Impulsi suurus lahendab küsimuse poolenisti: annab ühe võrrandi. Energia võib anda teise.

On vaja kuulda, mida jutustavad kosmilised osakesed udukambri laval oma energiast. Seal esinevad nad uurijate ees udutunnelite ehitajatena. Tunneli kõverus sõltub impulsist. Aga massiivsus ja pikkus? Nähtavasti energiakulust, milleks osake on võimeline, tema energiaressurssidest ja heldusest.

Ioonide paari loomiseks Wilsoni kambris peab osake kulutama ligikaudu kolmkümmend elektronvolti. Osakesel tuleb teel t ö ö t a d a, et tekiksid udu moodustumise tsentrid! Aga kui tema jõud otsa lõpeb, peatub ta ja udujälg katkeb.

Laetud osake töötab oma elektrivälja varal. Selle abil mõjutab ta vastutulevate aatomite elektrone, rebides neid tuumade küljest lahti. Mida aeglasemalt osake lendab, seda rohkem tekib ioone, seda jämedam on jälg. Kuid järelikult on ka osakese kulud suuremad: varandus saab kiiremini otsa. Aga seda oli niigi vähe, sest osakese energia pole suur. Ta ehitab küll massiivse, kuid lühikese tunneli. See on tema vaesuse ja pillavuse tagajärg.

Siin on aga kiire osake — miljardär, just nagu Dubna prooton. Kas tema oma hiiglasuure lennukiiruse tõttu üldse jõuab ühe teeühiku kestel kuigivõrd märkimisväärselt tööd teha? Kas jõuab ta pisutki hiiglasuurest energiast kulutada ioonide loomiseks? Muidugi osutub tunnel õige pikaks: energiat on osakesel kui palju tahes, miljardeid elektronvolte. Ent kas rikkus ei tee teda ihnsaks? Kas ei kuluta ta oma kiiruse tõttu nii vähe, et tunnel tuleb armetu, päris läbipaistev, vaevalt märgatav? Milleks asetada udukamber siis kosmiliste kiirte alla, kus erilist huvi pakuvad just suurte energiatega osakesed?

Muidugi peab relatiivsusteooria seletama, miks on selliste ülikiirete osakeste jäljed Wilsoni kambris siiski nii suurepäraselt nähtavad. Just niisugused, maapealses laboratooriumis oleva vaatleja suhtes ülikiiresti liikuvad osakesed demonstreerivad käegakatsutavalt massi kasvamist kiiruse tõttu, oma aja aeglustumist ja oma pikkuse lühenemist. Seepärast nimetataksegi neid osakesi *relativistlikeks*, nende elu on täiesti relatiivsusteooria seaduste võimuses («suhteline» on ladina keeles «relativus»).

Laetud osakese elektriväli ümbritseb teda igast küljest, nagu atmosfäär ümbritseb Maad, ja osakesel pole sugugi vaja aatomiga «peadpidi kokku põrgata», et temalt elektroni ära rebida. Osake riivab aatomeid oma elektriväljaga, kui nood tunglevad piki tema lennutrassi. Nii kõrvetab hõõguva valumetalli kuumus juba eemalt.

Kuid on olemas nähtamatu piir, mille taga kuumus pole ohtlik. On nähtamatu piir, mille taga lendava osakese väli muutub nii nõrgaks, et ei jõua enam elektroni mööduvalt aatomilt ära tõmmata, s. t. ei jõua aatomit iooniks muuta.

Kujutlege, et sulametallile puhub tugev tuul. Pealetuult võib sellele üsna lähedale minna, kuid külje pealt tuleb veel kaugemale hoiduda: kuumusepilv surutakse lühemaks, aga külgedel valgub see kaugemale.

Lennaku relativistlik osake läbi gaasi. Kas ei muuda hiiglasuur kiirus osakese väljagi niisama nagu massi, aja kulgu, pikkust? Seda tuleb oodata kõige üldisematest kaalutlustest lähtudes: väli on samuti täiesti materiaalne ja tema jõud peavad sõltuma ruumi ning aja omadustest. Sõltuvus on keerukas, kuid füüsikud on selle muidugi dešifreerinud.

Selgus, et lendava osakese elektriväli muljutakse lennu suunas kokku, kuid see-eest valgub see kõrvale laiali, nagu sulametalli kuumus vastutuule käes. Kui kiirus on valguse kiirusega võrreldes väike, on kokkusurumine päris märkamatu, nagu on märkamatu ka keha massi suurenemine väikese kiiruse korral. Kuid relativistlikke osakesi ümbritsev elektriväli muutub ühe füüsiku väljenduse kohaselt «pannkoogiks», s. t. lapikuks, laiaks kettaks. Ja mida suurem on kiirus, seda laiem on pannkook.

Gaasi aatomid peavad relativistliku osakese trassist kaugemale hoidma, kuna selle «kuumus» võib kõrvetada ka hooletuid eemalseisjaid. Aga kuna aatomid ei tea, et

lendab selline külaline, ei hoia nad kõrvale. Nii tulebki välja, et ehkki osake tõttab, jõuab ta tekitada küllalt ioone, selleks et luua enda taha mitte armetult läbipaistvat, vaid küllalt tihedat udutunnelit.

See on väike näide relatiivsusteooria täiesti reaalsest sekkumisest «mateeria algaluste» uurijate laboratoorsesse töösse.

Mass on muutlik, relatiivne ja sõltub kiirusest. Energial on mass. Mass varjab endas hiiglasuurt energiat. Kõik on juba need poole sajandi vanused tõed omaks võtnud või nendega leppinud ja harjunud, kuna tõendid on üsnagi mõjuvad: vesinikupomm, hiiglasuured kiirendajad, aatomijäälõhkuja.

Kuid ajaliste ja ruumiliste suhete muutlikkusest mõtlevad paljud salajas veel samal kombel kui ühe humoristliku ja nukra kirjaniku kangelanna. «Ah,» mõtles see, «tühi jutt! Kaval matemaatika, abstraktsed värgid, tegelikult pole seda kellelegi tarvis . . .»

Kuni inimesed pole footonraketil täheruumi sööstnud, las vastab siis vähemalt tagasihoidlik maapealne udukamber naeratades: «Ei, seltsimehed, tuleb välja, et see polegi tühi jutt!»

● Alles nüüd mõistan ma, kui palju liigseid küsimusi esitasin Aragatsil ja Jerevanis, kuidas ajasin koormatud inimestel pead kirjuks, ekspluateerisin nende elukutselist kannatlikkust, lõunamaist südamlikkust ja idamaist külalislahkust.

Ma ei tea nüüd, mida nende vastustega peale hakata, kuhu panna isegi kõige huvitavamad üksikasjad nende tööst. Peaasi aga — ma ei tea, kuidas siin nende detailidega toime tulla. Ja pealegi pole ma üldse kindel, et neid tarvis läheb.

Iga ala spetsialistid elavad üksikasjade rahutus meres. Asjasse pühendamatud upuvad selles otsekohe. Kas teil on olnud juhust kuulda, kuidas suurmeistrid ja meistrid malest räägivad? «Käik a5 esines esmakordselt 1902. aastal Tšigorini partiis tundmatu simultaanimängija vastu, kuid hiljem näitas Aljohhin, et Merano variandis . . .» Ei-ei, kui te tahate teada saada, mis imeasi see male õieti on ja mängust pealegi naudingut tunda, siis ärge pöörduge meistrite ega suurmeistrite poole. Te ei taju mitte niivõrd objekti suurust kui just enda tühisust.

Kuulates füüsikute vestlusi kosmilisest kiirgusest ja elementaarosakestest, tundsin ma ahastusega, kuidas üksikasjade süvameres põhja vajun. Ammuseid ülikooliaastaid poleks nagu olnudki, kuid mahajäämuse võis kuidagi likvideerida, vahelejäetust jagu saada. Hullem oli muu: kaasaegne füüsikaline maailmapilt kattus silmanähtavalt suuremate ja väiksemate pragudega nagu vanaaegne fresko. Või nagu sile veepind ei peegelda virvendama hakates enam selgesti ei taevast, kaldaid ega ümbritsevat maailma...

Algul tundus kõik tähtsana. Detailide koorem kasvas. Purunes lootus veel kunagi pinnale kerkida. Ma ei näinud enam tõepoolest üksikasjade taga tervikut, sest mind ehmatas detailide hulk ja keerukus. Nii hirmutavad tüütute kommentaaridega raamatud, kui igal leheküljel on kolm rida põhijuttu ja nelikümmend rida ptiikirjas džunglitaolisi täiendusi-selgitusi. Põhiline lipsas eest, ja pragude ning lõhede labürindist polnud väljapääsu.

Selline on kaasaegne teadus. Tema hämmastaval pinnal kasvab iga probleem ja küsimus haruliseks puuks: faktid, faktid, faktid — kontrollitud ja vaieldavad; oletused, hüpoteesid, teooriad — paikapidavad ja paikapidamatud; tabelid, graafikud, fotod, viited, nimed, nimed, nimed — tuntud ja tundmatud... Mind ehmatas see, mis oli tegelikult meie päevade teaduse jõud, tema edu pant, tema hoogsa arengu põhjus: teadlaste jõupingutuste paljusus, nende sidemete internatsionaalsus, otsingute mitmeharulisus ja laius.

Kuid väljapääsu polnud ja ma andsin endale tõotuse loobuda üksikasjadest. Mida vähem neid tuleb, seda varem, seda selgemini tõuseb esile peamine. Ja ma püüdsin seda tõotust pidada. Ent jõudis kätte järg jutustada veidigi sellest, kuidas hangivad elementaarosakeste uurijad andmeid oma hoolealuste kohta. Vestlusse ilmusid Wilsoni kamber, Geigeri-Mülleri loendaja, Kapitsa ja Skobeltsõni magnetväli, impulsi ja energia mõõtmine. Ning järsku ei taibanud ma enam, mis on peamine, mis üksikasjad.

● Miks vaikin ma Wilsoni kambrist rääkides difusiooni-, luminestsentsi-, mullikambrist? Ka seal jätavad osakesed nähtavaid jälgi. Neil hiljem leiutatud katseriistadel on aga hiiglasuured, hindamatud eelised.

Nähtavaid jälgi jätavad osakesed paksukihilistesse fotolintidesse. Meetodit hakkas 30-ndail aastail välja töötama nüüd juba meie hulgast lahkunud füüsik L. Mõssovski Leningradist. Teised viisid meetodi täiuseni ja tegid selle abil silmapaistvaid avastusi. Kuidas siis võiks jutu käigus fotolintideta läbi saada? Wilsoni kamber on sisuliselt juba ajalugu.

Ja ma istungi segaduses, teadmata, millest rääkida, millest vaikida.

Siis aga veel laetud osakeste loendajad. Neid leidub tuumalaboratooriumides kümneid ja sadu. Nad võtavad osa kõigist mateeria algaluste uurijate saavutustest, kõigist kavatsustest, kõigist lootustest. Miks nimetasin ma Geigeri-Mülleri loendajat ainult paari sõnaga? Kas see on õiglane?

Ja miks ei rääkinud ma midagi Hans Geigerist endast? Ta oli ju Rutherfordi lähim abiline, tema õpilane ja assistent, kui suur inglane 1911. aastal veendus aatomituuma olemasolus. Geiger sooritas otsustavaid katseid, mis tema õpetaja oli kavandanud, ja Rutherford nimetas teda «alfaosakeste loendamise deemoniks», imetles tema andekust, oli hämmastunud väsimatusest. («Geiger töötas nagu ori».) Kas tohtisin vaikida sellest, et Esimese maailmasõja aastail pidasid õpetaja ja õpilane, sakslane ja inglane, «verivaenlased», salajast kirjavahetust erapooletuis maades elunevate sõprade kaudu; et Geiger aitas nii igapäevastes asjades kui ka töös sõjavangis viibivaid inglise füüsikuid, oma õpetaja õpilasi, nende hulgas kuulsat Chadwickit, neutroni avastajat, tookord alles noort uurijat. Alatul ja ennasttäis natsionalismil polnud võimu suurte teadusemeeste mõistuste ja hingede üle. Miks unustasin ma kõik selle, kui jutt oli Hans Geigeri loendajast?

On raske ohverdada ükskõik milliseid üksikasju, teaduslikke, ajaloolisi või lihtsalt inimlikke...

Kui me hakkasime rääkima uurijate asendamatust mõõteriistast, kas võib siis ütlemata jätta, et nende käsutuses on teisi niisama tähtsaid loendajaid: stsintillatsiooni-, proportsionaalsed, Tšerenkovi loendajad... Kas autoril on õigus valida oma jutustuse jaoks välja seda, mis talle pähe tuleb?

Ja jällegi: kas mul on õigus minna pärast Tšerenkovi mainimist kohe edasi, jutustamata, kuidas akadeemik

Vavilovi aspirant kakskümmend viis aastat tagasi sattus ootamatult nähtusele, mida varem polnud märgatud. ... Pavel Tšerenkov, tulevane teadlane, uuris uraani ühendite lahuste helendumist gammakiirte mõjul. Seejuures avastas ta päris uut liiki helenduse: selgus, et ka puhtad vedelikud, kus uraanist pole jälgegi, helendavad nõrgalt gammakiirte mõjul.

Uut märgata on suur teene. Aga pärast nägemist mitte mööda minna, s. t. tõepoolest avastuse uudsusse uskuda, pole väiksem teene.

Vastupidi, see on palju suurem teene, kui teaduse tõtlikus tempos näida võib. Teadlased on uue nähtuse korduvalt pettuseks kuulutanud, kirjutanud tundmatu paratamatute juhuste ja eksperimendivigade arvele. Pärast aga kahmasid nad peast kinni: «Meie märkasime seda ju ennegi!» Mäletan ülikoolipäevilt lugu laborandist, kes sai hooletuse eest käskkirja, ehkki terve optikakatsete seeria seletamatutes veidrustes polnud süüdi mitte tema, vaid senitundmatu mikronähtus. Veidrusi ei osatud kohe hinnata... Lugu juhtus Moskva ülikoolis ammu, 20-ndail aastail, kuid sellised lood ei vanane.

Kas oleks siis õiglane vaikida millestki ainuüksi seepärast, et see «miski» on «detail», vaikida sellest, kuidas akadeemik Sergei Ivanovitš Vavilov 1934. aastal otsekohe ja täiel määral hindas oma õpilase avastuse uudsust; kuidas õpetaja momentaanselt ütles, et uues helenduses pole süüdi gammakvandid, vaid elektronid, kuidas Tšerenkovi efekti selgitamiseks ühendasid oma jõupingutused kahe nõukogude koolkonna teadlased: Leningradis akadeemik Vavilov ja Moskvas akadeemik Mandelštamm; kuidas kolm aastat hiljem andsid I. M. Frank ja I. J. Tamm lõpetatud teooria valguse kiirusest suurema kiirusega läbi aine lendava elektroni kohta; kuidas Tšerenkov hiljem uusi katseid korraldas, mis kinnitasid kõiki teooria järeldusi; kuidas meie uurijate ühistöö rikastas maailma füüsikat uute teadmiste ja uue meetodiga suure energiaga laetud osakeste kiiruste ja masside määramiseks; kuidas avastuse veerand sajandi pikkune ajalugu jõudis 1958. a. lõpule Nobeli preemia määramisega meie teadlastele, kelle hulgas kahjuks polnud enam akadeemik Sergei Ivanovitš Vavilovit.

Kas võis loobuda nende põgusate ridadegi lisamisest Tšerenkovi loendajate meenutamisel?

Te näete: üksikasjad tasuvad kohe kätte nende kuritarvitamise eest — anna ainult kiusatusele järele ja oledki sees.

Vilksatas lause elektronidest, mille kiirus on suurem valguse kiirusest, aga me pöördusime just äsja hetkeks tagasi relatiivsusteooria juurde ega ole muidugi unustanud, et valguse kiirus jääb kättesaamatuks piiriks kõigile füüsikalistele kehadele, millel on seisumass. Kas niisuguse vastuolu võiks selgitamata jätta? Selge, et ei. Niisiis veel paar sõna Tšerenkovi efektist.

Küsimus on selles, et kiiruste tõeline piir — 300 000 kilomeetrit sekundis — on valguse kiirus ainest vabas ruumis. Kuid läbi aine valgus nii kiiresti ei liigu, miski nagu segab. Mis siis nimelt? Nähtavasti footonite keerukad vastasmõjud osakeste ja väljadega.

Pole põhjust mõelda, et ainesse tunginud footon aeglustab oma liikumist ja pärast ainest väljapääsemist jõuab tühjuses jälle valguse kiiruseni. Sellised aeglustumised ja kiirendused pole footonil võimalikud, te kindlasti mäletate seda. Toimunut tuleb kujutleda nii, et piki valguskiire lennujoont tekib aines omapärane footonisurmade ja -sündide ahel: aatomid neelavad langevaid energiakvante, ergastuvad ja jõuavad jälle püsivasse olekusse, kiiranud enne välja teisi kvante. Kogu see askeldamine võtab aega. Tuleb välja, et valgus liigub läbi aine aeglasemalt kui läbi tühjuse. Ent tema uus kiirus on lihtsalt vastasmõjude — ergastuste ja rahunemiste — leviku kiirus, mida tekitab ainet läbiv valguslaine. Ja on selge, et ainest väljub hoopis teine footon, mitte see, mis sisse lendas. «Toda» footonit pole enam ammu olemas, on ainult tema kauge järeltulija... Summaarne efekt on järgmine: valguse kiirus on vees ainult 225 000 kilomeetrit sekundis, aga teemandis 120 000. Kuid sellise kiiruse võib elektron kergesti saavutada. Ja mitte ainult elektron. Dubna prooton-miljardär liigub võrreldamatult kiiremini kui valguslaine vees või klaasis, rääkimata juba teemandist. Sellised valgusest kiiremad laetud osakesed kutsuvadki esile Vavilovi ja Tšerenkovi avastatud helenduse.

Asi ise käib nõnda.

Gammakiiritusel langeb vedelikule väga energiliste footonite rahesadu. Need sunnivad varisema viljapäidaatomeid ja varustavad neist väljalöödud teri-elektrone hiiglasuure kiirusega. Elektronid lendavad läbi vedeliku

nagu laetud relativistlikud osakesed läbi Wilsoni kambri. Kuid üldiselt pole kiirete elektronide päritolul tähtsust. Nagu udukambrisse, nii võivad laetud osakesed tungida ka vedelikku või mõnda teise keskkonda väljastpoolt, mitte aga selles tekkida. Lõpuks pole üldse obligatoorne, et need osakesed oleksid elektronid. Kogu asi on selles, et osakesed peavad olema laetud ja omama valguse kiirusest suuremat kiirust keskkonna jaoks, mida nende tee läbib. Need võivad olla Dubna prootonid, kosmilised osakesed, aatomituumade killud, ühesõnaga — ükskõik mis.

Populaarsetes juttudes Vavilovi-Tšerenkovi efekti kohta selgitatakse valgusest kiiremate laetud osakeste kiirgamist tavaliselt järgmiselt.

Nende elektriväli töötab teel meile tuttava näidise järgi: kõrvetab oma «kuumusega» vastutulevaid aineaatomeid ja molekule, püüdes luua ioone. Kuid väljal ei jätku selleks alati jõudu ega aega: lendab «ülirelativistlik» osake! Sageli asetuvad riivatud aatomite elektronid tuumade suhtes ainult ümber, s. t. ei tule päriselt ära, vaid nihkuvad normaalseist püsivaist asendeist ebapüsivaisse. Teisiti öeldes, ühtesid aatomeid lendava osakese elektriväli ioniseerib, teisi aga ainult ergastab, s. t. viib tasakaalust välja.

Kuid nüüd jõudis hoogne osake aatomist mööda. Kulutanud elektronide ergastamiseks pisut energiat, liikus tema väli ettepoole, et edasi töötada. Mis aga samal ajal juhtus riivatud aatomitega? Vaevalt pööras osake neile selja, kui ergastatud elektronid tõttasid tagasi pöörduma endisse, püsivasse olekusse. Nad andsid ootamatult saadud energia ära: see kiirati välja elektromagnetiliste lainete portsjonite näol. Et aga energia oli suhteliselt väike — väli jõudis aatomeid ju ainult ergastada —, siis on ka portsjonid suhteliselt väikesed, just sellised, nagu nähtava valguse footonid.

Aga toimunu süüdlane — ülikiire osake — on valguslainete tekkepaigast juba kaugel: see lendab läbi aine kiiremini kui valgus. Elektromagnetilised lained j ä ä v a d temast m a h a ja moodustavad tema taga hajuva valguskoonuse. Nii tekib torpeedokaatri taga merel hajuvate lainete koonus. Kuid lained roomavad merel aeglaselt laiali, neid võib kaua vaadelda. Tšerenkovi valgusslepp silmapilkselt mööda lendava osakese taga kaob otsekohe:

see paistab lühikese sähvatusena, lakoonilise signaalina «Osake lendas mööda!»

Kõik on arusaadav.

Valgust kiirgavad selle keskkonna aatomid, kus valgusest kiirem osake endale teed rajab, aga mitte osake ise, kuid tema on selle kiirguse ergutaja, algpõhjus. Ta kulutab sellele oma energiat. Aga kui nii, siis võib samuti nagu Tamm ja Frankki märgata Vavilovi-Tšerenkovi helenduses väga originaalset loodusnähtust.

Kujutleme, et elektromagnetilisi valguslaineid kiirgab välja ülikiire osake ise, mis satub hämmastavasse olukorda: ta liigub läbi keskkonna kiiremini, kui võib seal liikuda tema enda elektromagnetiline väli! Näiteks, meie Dubna prooton, mis on laetud energiaga kümme miljardit elektronvolti, suudab lennata läbi vee kiirusega peaaegu 290 000 kilomeetrit sekundis, aga tema elektromagnetiline väli ei saa sellist vägitegu sooritada: valgus võib vees sekundi kestel läbida ainult 225 000 kilomeetrit. Olukord on tõepoolest kummaline: väli jääb osakesest maha. (Nii jäävad meie ettepoole sirutunud kehast maha mantlihõlmad, kui me jookseme väga kiiresti. Jäävad maha ja pidurdavad liikumist. Nad segavad meid, sundides asjatult energiat kulutama ja jooksu aeglustama.)

Mahajääv väli pidurdab osakest. See kaotab energiat. Kuid energia on ju koondunud tema välja endasse. Ja piltlikult võib öelda, et osake kaotab oma välja, kaotab portsjonite, s. t. kvantide kaupa. Ta kiirgab valgust! (Olukord on umbes samasugune, kui me rebiksime jooksu ajal oma mantlihõlmu tükkhaaval ära, et sellest koormast vabaneda.) Nii ilmub valgusest kiirema osakese taha seesama valgusslepp, millest juttu oli.

Kui mürsk või reaktiivlennuk lendavad ülehelikiirusega, siis kuuleme erilist iseloomulikku vilet või undamist. See on nende «helislepp». «Just seepärast,» ütles Igor Jevgenjevitš Tamm oma kõnes Nobeli preemia saamise puhul Stokholmis, «kui me selgitasime, et Vavilovi-Tšerenkovi kiirguse mehhanism on samasugune, hakkasime nähtust nimetama «laulvateks elektronideks».»

Sealsamas Stokholmis, rohkem kui kakskümmend aastat pärast «laulvate elektronide» teooria loomist, andis Igor Jevgenjevitš huvitava tunnistuse, mis peaks meid meie taipamatuses lohutama. Selgus, et kui matemaatiliselt oli kõik juba peaaegu lõpule viidud ja õiged valemid

paberil kindlalt aset võtnud, ei suutnud ei tema ise ega ka Ilja Mihhailovitš Frank ikkagi leppida mõttega, et elektronid liiguvad läbi keskkonna valgusest kiiremini. «Kuidas see võimalik on?» küsisid nad teineteiselt ja mõtlesid välja mitmesuguseid viise, «mis meie endigi jaoks praegu juba käsitamatud on,» ütles I. Tamm Stokholmis, viise, kuidas vabaneda vastuolust relatiivsusteooriaga. Alles järgmisel päeval pärast nende esimest ettekannet «laulvate elektronide» kohta Akadeemia Füüsika Instituudi seminaril avanesid nende silmad äkki lihtsa tõe ees, et vastuolu Einsteiniga on täiesti näiline: elektronidele on keelatud valguse kiirus tühjuses, ainult tühjuses, mitte keskkonnas!

Te näete üksikasjade hinda; aina uued ja uued üksikasjad... Tahtmatult meenub Chaplini lõputu makaron, millega on võimatu toime tulla.

Kuidas siis jääb üksikasjadega? Kas anda kiusatusele järele? Uppuda? Ei, tõotus oli omal kohal. Ja kui sellest tuleb praegu jälle üle astuda, siis ainult seepärast, et on tarvis ikkagi lõpuni jutustada, kuidas füüsikud määravad kosmiliste osakeste energia, kuidas nad saavad teada nende kiiruse ja massi.

● Udujoon Wilsoni kambris — see on osakese energiapillamise ajalugu. Kui ta peatus ning jälg katkes, siis tähendab see, et osake oli täiesti laostunud. Nii võib udutunneli pikkuse ja massiivsuse järgi otsustada, mis läks osakesele maksma teekond mööda kambrit, milline oli tema kineetiline energia lavale ilmumise momendil.

Aga kui osake ei peatunud, vaid joonistas oma udujälje läbi terve kambri ülalt alla, tungis põhjast läbi ja kadus teadlaste vaatlusväljast, mis siis? Ta viis ju endaga kaasa kulutamata energiat ega vaevunud teatama, kui suur see oli. On selge, et siis ei ütle jälje uurimine teadlastele osakese esialgse varanduse kohta mitte midagi peale selle, et nähtavasti oli see üsnagi aukartustäratav.

Nüüd võib endale lõpuks selgesti ette kujutada, missugust rolli peavad osakesed õigesti etendama, et ära teenida õigust osavõtule teaduslikest momentfilmidest. Läbinud loendajate barjääri udukambri kohal, peavad nad kogu oma energia heldelt kulutama ioniseerimiseks Wilsoni kambris: nad peavad seal·p e a t u m a. Aga kui nad seda ei tee ja hoiavad osa energiarikkusest varjul,

ei õnnestu neil end pildile jätta. Režissööre-füüsikuid petta ei saa — see võimalus on välistatud!

Kambri *alla* on Geigeri loendajatest moodustatud samasugune tihe barjäär nagu selle *kohalegi*. Peatumatult lendav transiitosake, mis pole jõudnud end udukambris lõplikult tühjaks kulutada, tungib alumisse barjääri. Seal tekitab ta samasuguse lühikese elektrilaine kui ülemiseski. Aga filmimist korraldav seade on välja mõeldud niiviisi, et teine löök annulleerib esimese mõju. Ei pahvata põlema jupiterlambid, ei laiene udukamber, ei plõksu kaamerate katikud. Petlik osake jääb tundmatuks, vilksatab jäljetult mööda. Füüsikuil pole temaga midagi peale hakata.

Igast õnnelikust ideest püüavad teadlased välja pigistada kõik mis võimalik. Wilsoni kamber magnetväljas oli õnnelik idee. Kuid Aragatsil on kamber ja väli lahus. Kõik toimub niisamuti, nagu jutustasime, ja siiski hoopis teisiti.

Põhimõte on selles, et režissöörid-füüsikud sunnivad end filmida soovinud osakest esialgu demonstreerima impulssi, seejärel aga energiat. Nad pildistavad külalist kaks korda: esialgu lennul läbi tugeva magnetvälja, kui ta näitab oma tee kõverdumist, seejärel aga lennul läbi udukambri, kus ta näitab, millised energiakulutused on talle jõukohased.

Kõik oleks hea, kui ei jääks arusaamatuks, kuidas õnnestub füüsikuil fotografeerida osakese lendu väljaspool Wilsoni kambrit. Millega tähistab ta oma teed, enne kui jätab udujälje? On kerge taibata: juba enne kambrisse jõudmist kuulutab osake oma jõudmisest Aragatsile lühikese elektrilöögiga teele sattunud Geigeri loendajas. See hetkeline vool annab käskluse võtteks, kuid ta võiks sooritada ka lihtsama töö: süüdata väikese lambikese kilbil.

Ülejäänu on lihtne geomeetria. Ülalt alla langedes kohtab osake oma teel mitte üht, vaid mitut tihedat Geigeri loendajate barjääri. Seade meenutab riiulit: barjäär barjääri kohal nagu riiul riiuli kohal. Aga kõrval asuval kilbil on samasugused tillukeste neoonlampide read: ridu on niisama palju kui barjääre; niisama palju kui on loendajaid, on ka lambikesi. Igas reas süttib just see lambike, mis sai oma loendajalt signaali: «Mind külastas äsja osake!»

Nii tekib kilbil — seda nimetatakse kõlavalt valgus-

tablooks — neoonpunktiir nagu linnareklaamil. Punktiir kordab osakese reaalset teed.

Nüüd on tarvis ainult lisada, et loendajatega riiul asub tugeva magneti pooluste vahel. (Selle tassimine Aragatsile ajal, mil tee lõppes Bürakani juures ja kindlateks maastikuautodeks olid ainult pisikesed eeslid, kujutas endast tõelist vägitegu.) Magnetväli muudab kosmilise külalise tee ringjoone kaareks ning neoonpunktiir valgustablool kajastab kaare kõverust. Iga ringjoone võib taastada kolme punkti järgi. Nii taastavad füüsikud kosmilise osakese kaarekujulise tee magnetväljas, et saada teada tema impulssi, liikumishulka, s. t. massi ja kiiruse korrutist.

Tormanud läbi magnetvälja ja tähistanud oma tee neoonlambikeste sähvatustega, tungib osake udukambrisse ning satub uuesti riiulile, mis kujutab endast horisontaalsete tina- ja vaskplaatidega korrusteks jaotatud lava. Miks on siin vaja korruseid, miks plaate?

Te mäletate, osake peab Wilsoni kambris peatuma, et oma energiat lõpuni kulutada. Plaadid aitavad tal seda teha: tungimine läbi millimeetripaksuse plii nõuab osakeselt niisama suurt jõukulu kui sajameetrisest õhukihist läbitungimine. Kui plaati poleks, peatuksid udukambris ainult väga nõrgad osakesed, ülejäänud puuriksid selle läbi, jutustamata füüsikuile oma energiavarudest.

Nii jõudsimegi laboratoorsete detailide lõpuni, ehkki füüsik ütleks, et siin need alles algavad!

Sooritanud kõik, mida tahtsid uurijad-režissöörid, läbinud magnetvälja koos loendajate barjääridega ja peatunud ühes udukambri plaatidest, raporteerib osake väsinult: «Ma mängisin oma osa õigesti: joonistasin ausalt kaare magnetipooluste vahel ja kulutasin ausalt kogu energia udujoone moodustamisele, neoonlambikesed põlevad alles ja jälg pole laiali valgunud. Palun fotografeerige!» Ja siis avanevad aparaatide katikud: ühed aparaadid jäädvustavad valguspunktiiri tablool, teised uduse trassi Wilsoni kambris.

● Eksperimentaatorite ideed on tihti teravmeelsed. Harvemini on neil visuaalne, skulptuurne kujukus. Või graafiline selgus. Kui eksperimendi juures torkavad silma mainitud jooned, siis hakkad mõtlema, et teadlases peitub ka kunstnik.

Alati ja kõikjal nõuab füüsik oma katseilt andmete täpsust, nende ühetähenduslikkust ning täielikkust. Katseseadme loomiseks annab kaasaegne tehnika teadlase käsutusse arvutult võimalusi. Ole hea ja vali! Vähehaaval langevad ära ebakindlad, liiga kallid või mõnel muul põhjusel teostamatud variandid. Ja ikkagi jääb lõpuks veel valik: katset võib korraldada nii, aga saab ka teisiti... Millel peatuda? Sel viimasel hetkel, kui kõike on juba vaetud, lakkab teadlane tõenäoliselt olemast häireteta töötav loogiline masin.

Temas virgub ka kunstnik. Ta hakkab järsku hoolitsema selliste kontrollimatute ja mittekohustuslike asjade eest, nagu lihtsus, graatsia, piltlikkus ja proportsionaalsus... Mitte keegi ei saa täpselt öelda, mis see õieti on. Kui neid omadusi pole — olgu siis raamatus, maalis, helindis, eksperimendis või isegi matemaatilises valemis —, ei märgata tihti nende puudumist. Aga kui nad olemas on, tajub igaüks seda rõõmuga.

Graatsia ilmneb nähtavasti minimaalsetes jõupingutustes maksimaalse resultaadi saavutamiseks. Umbes samuti mõtles Tšehhov graatsiast kunstis. Tuumafüüsika eksperimentides hämmastab eriline «majandusime» graatsia — nähtamatu ja kuuldamatu ilmseks ning tajutavaks muutmise lihtsus.

Ma tahan, et te koos minuga tunnetaksite Aragatsi filmivõtetes mitte ainult seiklusvaimu, vaid ka kunstnikuhinge. Seda leidub seal möödapääsmatult, uskuge mu sõnu, kui jutustatu pole teid veel veennud.

... *Hodos* tähendab kreeka keeles «tee», *skopeo* — «vaatan». Loendajatest barjääride rida kosmilise osakese teel koos neoonlampidest valgustablooga nimetatakse õigusega hodoskoobiks, aparaadiks, mis näitab osakese teed.

Hodoskoop magnetväljas pluss Wilsoni kamber on üks Aragatsil väljamõeldud seadme, magnetilise massspektromeetri variante. Variant on pärit 50-ndate aastate algusest.

Nimetuses kajastub kogu sealsete füüsikute režissööritöö mõte.

Kogu mõte, kogu paatos, kõik lootused, kõik raskused, kogu kibedus, kogu nende pikki aastaid kestnud töö visadus.

Tõepoolest, impulssi ja energiat ei mõõdeta Aragatsil

uudishimust, vaid üheainsa eesmärgiga — määrata võimalikult täpselt kindlaks üksikute osakeste m a s s. Sellega koos määratakse kindlaks ka kiirus kui teine tundmatu kahest võrrandist (impulss-energia) koosnevas süsteemis. Kiirusegi vastu tunnevad füüsikud asjalikku huvi, kuid siiski on see teisejärguline asi. Ta pole osakese alaline omadus, vaid ainult varandus, mida võib võrdse eduga koguda ja kaotada. Kiirusest osakeste olemus ei sõltu: elektron jääb elektroniks, ükskõik kas ta seisab paigal või liigub, niisama nagu inimene ei muutu millekski muuks seepärast, et jalakäijast saab õhureisija.

Aga osakese s e i s u m a s s — see on oluline, jääv, mittekogutav omadus! Samuti kui elektrilaeng, määrab ka seisumass osakese o l e m u s e enda. Või on määratud selle olemuse poolt. Miks see nõnda on, seda füüsika tänapäeval veel seletada ei oska, kuid et see kahtlemata nii on, räägivad teadlastele kõik mikromaailma uurimise kogemused, kõik teaduse faktid.

Muidugi on seisumass suhteline nagu paigalseis isegi. Peatunud udukambris, lendab osake ikkagi koos Maaga ümber Päikese kiirusega 30 kilomeetrit sekundis. Päikese suhtes on tema seisumass teistsugune kui Maa suhtes. Ent mõõtes osakeste liikumisenergiat ja -hulka Maal paiknevais laboratooriumides, saavad õpetlased teada kosmosetulnukate maapealse seisumassi.

Osakesi võrreldakse nende masside põhjal, nii nagu Mendelejevi ajal eristati elemente nende aatomkaalude järgi. Muidugi õppisid keemikud tundma ka paljusid teisi keemiliste elementide omadusi ja unustasid aatomkaalu hoopis, kui nad rääkisid näiteks ühtedest ainetest, et need on metallid, aga teistest, et need on metalloidid. Nii on ka tänapäeval: füüsikud teavad elementaarosakestest juba palju, mitte ainult nende massi, aga kui 19. sajandil avastati uusi elemente, vastasid füüsikud kõigepealt küsimusele: «Kui suur on nende aatomkaal?» Kui meie päevil tekib lootus, et on veel tundmatuid mateeria elementaarosakesi, hakkab füüsikuid otsekohe vaevama küsimus «Kui suur on nende seisumass?»

Isegi küsimus osakeste laengust nihkub tagaplaanile ja on kergesti lahendatav. Peaasi — «milline on nende seisumass».

Vikerkaar on spekter. Ladina keeles tähendab see «nähtav». Päikese spektri vikerkaares on eri värvi valgus-

kiirte elektromagnetilise võnkumise sagedused erinevad. Seepärast räägitaksegi «sageduste spekter». Spektri mõistet võib rakendada iga kord, kui on olemas ühelaadiliste suuruste selgesti eristatav järgnevus: «kiiruste spekter», «energiate spekter», «masside spekter».

Kui vennad Alihhanov ja Alihhanjan neljakümnendate aastate algul suurte lootustega oma aastaid kestnud kosmiliste osakeste uurimisi alustasid, püüdsid nad loomulikult rajada laboratooriumi taevalähedasse kõrgusse, sinna, kus atmosfäär pole veel niivõrd hõre, et seal oleks raske hingata ja töötada, ent kus õhu tihedus ja neelamisvõime on siiski küllalt väikesed, selleks et aparaatidele langeks palju rohkem kosmilisi osakesi kui all orus. Ja niisama loomulikult nimetasid nad aparaadi mass-spektromeetriks; neid huvitas m a s s i d e s p e k t e r tillukeste ainekübemete voos, mis saabub Maale maailmaruumi sügavusest, ja teiste mateeriakübemete valinguis, mis on tekkinud Maa atmosfääris endas.

Ja kui me rääkisime «kosmosekülalistest», «kosmosetulnukatest», siis polnud see mitte niivõrd täpne kui just ilus: Aragatsi peapaviljonis võivad end võrdse õigusega pildistada niihästi kaugusest tulnud osake kui ka täiesti maine osake, mis on sündinud õhus või koguni laboratooriumi lae aines. Kui kummaline see ka pole, aga «mateeria algaluste» uurijaile on need sekundaarsed osakesed isegi huvitavamad kaugetest külalistest.

Miks? Seepärast, et kauged külalised on teadlastele ammu tuntud aatomituumad. Rõhuvas enamuses on need lihtsad vesinikutuumad, tavalised prootonid.

Muidugi ei saanud füüsikud sellest otsekohe aru.

Kahekümnendail aastail mõeldi, et kõikjale tungiv kosmiline kiirgus on lihtsalt väga energilised footonid, teisiti öeldes, gammakvandid. Ja ainult need. Neid nimetati isegi ultra-gammafootoneiks ja keegi ristis kosmilise kiirguse enda ultrakiirteks. Kaua oli käibel see vana nimetus, milles nii kujukalt kajastus uurijate kunagine eksitus.

Kui footonitehüpotees oli ümber lükatud, hakkasid füüsikud mõtlema, et kosmosest tulevad meile elektronid. Kuid ka selline oletus osutus vääraks.

Prootoniteni jõudis järg alles neljakümnendail aastail. Ja selleski, et teadlased lõplikult veendusid kaugete külaliste t u u m a päritolus, oli palju teeneid meie kosmose-

uurijail-eksperimentaatoreil, kes korraldasid uurimusi mägedes ja stratosfääris.

Muidugi ei erine kosmilised prootonid mitte millegi poolest maise vesiniku tuumadest ja iseendast nad vaevalt ärataksid elementaarosakeste uurijais teravat huvi. Kogu huvi, mida füüsikud, eeskätt eksperimentaatorid, nende vastu tunnevad, on läbinisti omakasupüüdlik: kosmosest meieni lendavad prootonid on täiesti tasuta varustatud kolossaalse energiaga. Kulutused nende kiirendamiseks võttis enda kanda maailmaruum, mille eest eksperimentaatorid on talle üpris tänulikud. Peaaegu valguse kiirused — need kümned, sajad, tuhanded ja isegi miljardid miljardid elektronvoldid energiat, millega on laetud maailmaruumi sügavusest tulijad, muudavad nad asendamatuks füüsikalistes eksperimentides, mida loodus ise tahtmatult õhuookeanis korraldab.

Need prootonid on tõepoolest võimas kosmosevasar, mis taob vastu Maad nagu alasil puhkava atmosfääriaine pihta. Hoobid kutsuvad esile hindamatuid tuumamuundumiste sädemeid.

Ja mis kõige hinnatavam — elementaarosakeste endi muundumisi.

Siinkohal laskuvadki «mateeria algaluste» uurijad peenima alkeemia valdkonda. Ja nad teavad, et neid varitsevad igasugused ootamatused. Need sädemed, need sekundaarsed osakesed — õigupoolest ei vääri nad enam ülevat ja salapärast nimetust «kosmiline» — toovad «algaluste» maailmast nii hämmastavaid uudiseid, mida tõeliselt kosmilised prootonid kunagi teatada ei võiks. Sündinud selliste prootonite vägivaldsest sissetungimisest aine sisemusse, reedavad sekundaarsed osakesed aine struktuuri saladusi. Ja on kerge mõista, miks akadeemik D. V. Skobeltsõn mõni aasta tagasi sõnas: «Ma mõtlen, et kui jälgida viimase aja füüsika ajalugu, siis osutub lehekülg meie teadmiste arengust kosmiliste kiirte kohta võibolla üheks huvitavamaks ja haaravamaks.»

Kolme aastakümne kestel on kosmiline sekundaarkiirgus jutustanud füüsikuile heldelt uudise uudise järel, üks ootamatum kui teine. Kiirte koosseisu uurimine ärataski eksperimentaatoreis lootuse avastada uusi elementaarosakesi filmimisega lootuste ja pettumuste mäel.

... Küllap teid juba pahandavad need pealetükkivad, kuid arusaamatud sõnad. Miks «lootuste mägi»? Miks

«pettumuste mägi»? Kas pole juba aeg seletada, milles siin asi on? Olen nõus, ammu on aeg. Ja kohe saab kõik iseendast selgeks. Aga samal ajal muutub võib-olla tuntavamaks mitte ainult seiklusvaim (ja kunstnikuvaim) «algaluste» uurimisel, vaid ka dramatism, mis käib kaasas eksperimentaatorite otsingutega nähtamatus ja kuuldamatus elementaarosakeste maailmas.

● Ma usun tõepoolest, et Aragatsile tekib aja jooksul terve teaduselinn. Näen mõttes Kara-geli kaldaid asustatuina: kosmoseuurijate vanade laboratooriumide naabrusse kerkivad uued majad, asfaltteed, kasvuhooned, põhjamaiselt kasinad, kuid elavad aiad. Seal on bioloogiajaam ning selle kõrval võib olla vulkanoloogide oma, edasi aga ilmauurijate, füsioloogide, geofüüsikute ja mine tea veel kelle püstitatud hooned. Taamal, kõrgemal asub aga turismibaasi mägihotell. Ning selle kohal helendab võib-olla tõepoolest nimetus «Meson». Millegipärast kujutlen ma täiesti reaalselt pilkases ööpimeduses neoonsõna, mis meenutab nende otsinguid, kes nii palju tegid Aragatsi taevaaluse vallutamiseks. (1960. aasta sügisel vilksatas ajakirjanduses teade, et elektrikõrgepingeliin on jõudnud juba Kara-gelini. Tähendab, mootor on mäel vait jäänud ning vool tuleb orust!)

Ja kangesti tahaksin kujutleda, mida vastavad Aragatsi elanikud uudishimulikele turistidele, kui need esitavad loomuliku küsimuse, miks tuli kellelgi pähe siia taevasse joonistada neoontorudega arusaamatu teaduslik termin «Meson».

«See on terve pikk lugu . . .» vastab põliselanik. «Jutustamine läheks pikale . . .»

«Aga üldjoontes?»

«Noh, kui just üldjoontes . . .»

Küllap põliselanik muigabki vargsi: talle meenub, kuidas Ilf ja Petrov omal ajal märkisid, et Idamaal jutustatakse tingimata legende õnnetuist kaunitaridest, keda armukadedad despoodid rannakaljudelt mägijärvedesse heitsid. Paatoslikud rändlegendid kohanimede romantiliseks tõlgendamiseks! Siin aga on teaduse proosa, aastad ühetoonilist tööd, must järv ilma ilusate legendideta. Kuid võib-olla mõtleb ta, et iga aeg loob o m a muistendid? Mis aga nende romantilisusse puutub, siis pole veel teada, mida eelistatakse.

Kui põgus ka poleks põliselaniku jutustus, alata tuleks tal siiski kaugelt: sõna «meson» tekkest.

See ilmus teadusse mikromaailmast pisut enne sõda.

1935. aastal oli noor jaapani teoreetik Hideki Jukava, nagu paljud teisedki teoreetikud tollal, hõivatud mõtisklustest tuumajõudude olemuse üle. Alles kolm aastat enne seda oli lõplikult kindlaks tehtud, et aatomituumad koosnevad prootoneist ja neutroneist, ühtviisi massiivsetest osadest, mis on peaaegu 2000 korda raskemad elektronidest. Kuid jäi täiesti arusaamatuks, mis jõud hoiavad neid osakesi koos, moodustades tugevuselt mitte millegagi võrreldava aatomituumade pakendi.

Võib-olla seletub see külgetõmbejõududega? Ei, need on liiga väikesed. On vaja 38 nulliga arvu, et näidata, mitu korda on need jõud väiksemad jõududest, mis prootoneid ja neutroneid tuumades seovad.

Võib-olla seletub kõik elektromagnetiliste jõududega? Ei, see on ilmne totrus: kõik prootonid on ühesuguse laenguga ja nad ei tõmbu, vaid hoopis tõukuvad eemale. Neutroneil aga pole üldse elektrilaengut: nad on neutraalsed. Mõlemat liiki tuumaosakesed on küll tillukesed magnetid, ent ka magnetkülgetõmbejõud on 100 korda nõrgemad jõust, millega põrkasid kokku füüsikud, tahtes purustada prootonite ja neutronite seost tuumas.

Sai selgeks, et on olemas mingisugused erilised tuumajõud. Nende omapära seisab kõigepealt selles, et nad on hiiglasuured võrreldes kõigega, mida füüsikud varem tundsid, kuid nad mõjuvad väga väikestel kaugustel, nii tühistel, et ammenduvad täielikult juba päris tuuma lähedal. Jukava mõtiskles küsimuse üle, kuidas siis tuumaosakesed üksteist vastastikku mõjustavad.

Aasta varem sundis sama küsimus kaua töölaua taga istuma Moskva teoreetikut Igor Jevgenjevitš Tamme. Tema elav mõte liikus niisama kergesti kui ta isegi, tuntud alpinist ja rändur, ning meelitas teda üha sinnapoole, kus olid käinud vähesed ja kus veel keegi polnud tallatud radu leidnud.

Vaevalt avastati 1932. aastal neutron, kui I. Tamm mõistis, et lõpuks ometi on leitud osake, mis koos prootoniga moodustab kõik aatomituumad. Sedasama taipas ka teine meie füüsik, D. Ivanenko. Peagi sai teatavaks, et neutron võib muunduda prootoniks, elektroniks ja selleks kolmandaks tibatillukeseks osakeseks, mille «mõtles välja»

Wolfgang Pauli beetalagunemise selgitamiseks ja mida Enrico Fermi hakkas hellitlevalt nimetama neutronikeseks, neutriinoks. Need eksperimentaatoreilt saadud uued andmed panid teoreetik Tamme mõtlema: «Aga kas ei teki võimsad ja arusaamatud tuumajõud sellest, et tuumaosakesed vahetavad kogu aeg elektrone ja neutriinosid?»

Niisuguse kummalise vastasmõju idee oli uus ja ootamatu. Tamm hakkas arvutama. (Teoreetikud visandavad oma füüsikaliste ideede matemaatilised portreed paberile alati vähestele mõistetavate konksudega — nad on «tahtmatud abstraktsionistid».) Vastasmõju elektronide ja neutriinode vahetuse abil osutus tugevaks, kuid siiski mitte piisavalt.

Ent uue tee trass oli rajatud.

Aasta pärast leidsid Moskva teoreetiku ideed Jaapani saartel võimsa vastukaja. Hideki Jukava sammus Tamme jälgedes. Tema mõttekäik oli lihtne: «Jah, nähtavasti on Tammel õigus. Ebatavalised tuumajõud tekivad tänu ebaharilikule mehhanismile, kuid niisama selge on, et prootonid ja neutronid on omavahel seotud mingite teiste osakeste vahetuse kaudu, mitte elektronide ja neutriinode kaasabil.»

Kahekümne kaheksa aastane jaapani teoreetik arutles oma sajandi pojana, kui ta hakkas otsima teooria jaoks vajalikke osakesi. Ta meenutas Einsteini, kes oli kolmkümmend aastat tagasi esimesena Plancki kvante tõsiselt võtnud, uskunud nende füüsikalisse reaalsusse. Jukava kujutles, et prootoneid ja neutroneid ümbritseb tundmatu jõuväli täpselt niisamuti, kui liikuvaid laenguid ümbritseb elektromagnetiline väli. Muidugi on need tuumajõuväljad üsna omapärased — võimsad ja ruumis teravalt piiritletud —, kuid miks mitte oletada, et nendegi kohta kehtivad Einsteini kvandikujutelmad.

Footonid on elektromagnetilise välja kvandid, teisiti öeldes, nende väljade mateeria portsjonid. Tõenäoliselt on ka tuumaenergia olemas portsjonite, s. t. tuumajõuvälja kvantide kujul.

Nii nagu footonid, on ka kvandid täiesti reaalsed. Ja kõik! Tõenäoliselt ongi nad nendeks osakesteks, mida üksteisele heidavad ja mille abil on seotud prootonid ja neutronid. Nende tuumakvantidega tuleb Tamme skeemis asendada liiga «nõrgad» elektron ja neutriino.

Millised need osakesed pidid siis olema?

Jukava hakkas loomulikult samuti arvutama.

Tuli välja, et tuumajõuvälja kvantidel peab erinevalt footoneist olema ka seisumass. Teiste sõnadega, nad ei saa liikuda valguse kiirusega. Jukava andis neile nimeks «rasked footonid». Peale selle pidi nende iga olema väga lühike, pärast on nad aga sunnitud lagunema seleksamaks elektroniks ja sellekssamaks neutriinoks, millest mõtles Tamm. Tundmatute osakeste eluea sai Jukava suurusjärgus miljondik sekundit (10^{-6}), seisumassi aga 200—300 korda suurema kui elektroni mass. Lõpuks on neil olemas laeng — pluss või miinus.

Kui tundmatu osakese portree oli visandatud, tuli ta veel «näo järgi ära tunda», mikromaailma asukate seas üles leida.

Tollal, kolmekümnendate aastate keskpaiku, oli elementaarosakeste nimestik veel väga lühike. Kolm osakest, mis moodustasid kõik aatomid: e l e k t r o n, p r o o t o n, n e u t r o n. Valguse energiat-massi kehastasid f o o t o n i d. Ja veel p o s i t r o n i d, elektronide positiivselt laetud kaksikvennad, kellega nad paaris sünnivad, kui hävib küllalt massiivne footon. (Mäletate, meid erutas küsimus, mis saab footonist, kui ta hävimisohus pidurdub? Just niiviisi juhtubki sobivail tingimustel: ta tekitab uusi osakesi.) N e u t r i i n o olemasolu oli vaja veel laboratoorselt tõestada.

Selline oli eksperimentaatorite ja teoreetikute saak pärast neljakümneaastast mikromaailma ja selle asukate hoolsat uurimist: viis avastatud ja üks problemaatiline elementaarosake!

Tänapäevaks on nimestik peaaegu viiekordseks kasvanud, nii et võib-olla polnudki küllusesarve kujund raamatu alguses eriti liialdatud.

Kuid kõige huvitavam on see, et tollal, aastal 1935, ei tundnud füüsikud veel ühtki osakest, mille mass oleks olnud kerge elektroni ja raske prootoni vahepealne. Näis, et loodus polnudki haigutava lõhe täitmise eest hoolt kandnud. Paistis, et kogu maailma mitmekesisuse loomiseks polnudki tal vaja mingeid teisi osakesi peale nende, mida juba tunti.

Jukava ennustas: on olemas vahepealse massiga elementaarosakesed, elektronist raskemad ja prootonist kergemad, mille hämmastavaks omaduseks on eluea lühidus.

Muide, kas see omadus ongi nii kummaline? Tasub

vaid alustada juttu elementaarosakeste maailmast keeles, millega inimesed kõnelevad elusolendite maailmast, ja tuumakvantide eluea lühidus tundub täiesti õigustatuna. Sest kui neid looduses leidub, siis läheb neid tarvis ainult selleks, et teostuksid võimsad tuumavastasmõjud. Aga need vastasmõjud leiavad aset nii väikestel kaugustel, et tuumajõuvälja kvantidel pole otsest vajadust kaugele rännata, järelikult ka kaua elada. (Palun ärge ainult võtke sellist väidet kui Jukava ennustatud osakeste eluea lühiduse rangelt teaduslikku seletust. See on üksnes vahemärkus, puhtalt piltlikkuse jaoks, et kas või kobamisi looduse arusaamatuste pimeduses orienteeruda.)

Hideki Jukava ennustas veel, et tema «välja mõeldud» osakesed peavad ilmuma kosmilises sekundaarkiirguses: kui primaarkiirgus jagab Maa atmosfäärile võimsaid hoope, võivad aatomituumad õhumolekulides teha läbi sisemisi muundumisi ja «loksutada» ruumi oma tuumajõuväljade energiat. Selle energia pritsmed on tuumaenergia kvandid. Liikudes hiiglasuurte kiirustega võivad nad eluea lühidusest hoolimata enne lagunemist läbida pikad vahemaad. Tähendab, neid on võimalik püüda.

Möödus kaks aastat. Kord märkas koos Neddermeyeriga töötav ameerika füüsik Anderson fotol udujälge, mille joonistas ebatavaline osake. Aimates, et on tegemist millegi ebaharilikuga, otsustas Anderson teha detailseid mõõtmisi ja arvestusi. Jälje kõverus, pikkus ja massiivsus tunnistasid, et seekord oli udutunneli rajanud elektronist raskem, kuid prootonist kergem ehitusmeister. Tema mass oli ligikaudu 200 korda suurem kui elektronil ja 9 korda väiksem kui prootonil.

Teadlaste vana traditsiooni kohaselt otsida teaduslike terminite tüvisõnu vanadest klassikalistest keeltest andis Anderson uuele osakesele kreekakeelse nime «mesotron» või «meson» (sõnast «mesos» — vahepealne, keskmine, sest avastatud osakese mass oli just niisugune.)

Pärast meenutati, et juba 1933. aastal avaldas saksa eksperimentaator Kunze täpselt sama tüüpi arusaamatu jälje foto nagu Andersoni mesoni jälg. Kuid siis ei pööratud sellele mingit tähelepanu, vaid mõeldi: «Küllap see on katseviga.» Seda lihtsalt ei oodatud! Ka olemata jäänud avastuse autor ise ei oodanud tollal, et mingid senitundmatud elementaarosakesed võivad talle enda olemasolust teatada. Kordus sama, mis veidi varem positroniga.

Selle avastas 1932. aastal toosama õnnelik eksperimendimeister Carl David Anderson. Kuid esmakordselt vaatles positroni jälge juba 20-ndate aastate lõpul Dmitri Vladimirovitš Skobeltsõn. Ehkki ta oli niisama kõrget klassi eksperimentaator, ei oodanud ta jälge ega uskunud selle olemasolusse...

Peagi määrati Andersoni mesoni mass suure täpsusega: ligikaudu 207 elektroni massi. Ja muidugi osutus see ebapüsivaks. Tema eluiga tehti täpselt kindlaks: ligikaudu kaks miljondikku sekundit. ($2 \cdot 10^6$). Avastati mõlema laenguga mesonid: negatiivselt laetud nagu elektron ja positiivse laenguga nagu positron. Lõpuks selgus, et kosmiline kiirgus on tõepoolest mesonite ehtne looduslik taimelava.

See oli muide huvitavaim fakt. Siin leidis ootamatult suurepärase kinnituse relatiivsusteooria. On meeldiv tunnetada, et pärast eelnevaid peatükke suudame toimunut juba väärilisel hinnata. Juhtus aga nii...

Füüsikud veendusid: mesonid sünnivad tuumamuundumistel küllaltki suurel kõrgusel, kuskil stratosfääris. Sellest hoolimata jõuavad nad lagunemata lennata maakerale. Neid on Wilsoni kambrites registreeritud merepinnal ja isegi sügaval vee all. Mil viisil on see võimalik, kui nende eluiga on kaks miljondikku sekundit? Muidugi, nad lendavad kolossaalsete kiirustega. Energia on hiiglasuur. Seepärast suudavadki nad takistamatult tungida läbi aukartustäratava paksusega ainehulkade. Kuid siiski, kui suur ka poleks mesonite kiirus, on see väiksem valguse kiirusest, kuna neil on seisumass... Aga isegi valgus läbib kahe miljondiku sekundi vältel kõigest 600 meetrit. Tuleb välja, et kõige kiiremadki stratosfääris sündinud mesonid peaksid sealsamas lagunema, lähenedes Maale vaevalt poole kilomeetri võrra. Samal ajal suudavad nad läbida 5, 10, 15 kilomeetri pikkuse tee ja hukkuvad alles pärast seda. Mida see siis tähendab?

Aga seda, et nad on relativistlikud osakesed ja Newtoni mehhaanikast neile ei piisa: tuleb käiku lasta Einsteini seadused.

On mõtet küsida, missuguse kella järgi mõõdeti mesonite eluiga. Te ju mõistate, et see on äärmiselt tähtis! Kell käib kiirel mesonil märksa aeglasemalt kui Maal, mille suhtes ta lendab hiiglasliku kiirusega. Relativistlikul mesonil voolab aeg nagu kujuteldava footonmooto-

riga kosmoselaeval: «mesoniaasta» võib võrduda kümne, kahekümne, kolmekümne «Maa aastaga» või koguni mitme sajandiga. Kõik sõltub mesoni kiirusest Maa suhtes, sellest, kui lähedane on see valguse kiirusele.

Ent footonlaev on seni fantaasia, aga Andersoni mesonid reaalsus, igapäevane reaalsus, millega füüsikud kokku põrkasid. Nii lubas mesoni kummaline omadus — elu kiirevoolulisus — aimata tulevaste astronautide saatust. Tekkis võimalus katse teel veenduda, et neid ootab lõputu noorus, mis ostetakse maapealse aja kaotamise hinnaga: see kosmosenukrus, millest juba juttu oli.

$2 \cdot 10^{-6}$ sekundit on mesonite elu o m a aeg. Füüsikud nuputasid välja, kuidas seda vahetult nendesamade uduste fotode kaasabil mõõta. Eksperimentaatorid jälgisid, kuidas väga aeglane meson peatub ning seejärel laguneb, kiirates välja kiire elektroni ja neutriino, millele ta pärandab oma energia-massi. Kaks miljondikku sekundit — see on mesoni eluaeg mesonikella järgi.

Kuni lendab hiiglakiire meson, jõuab maapealsel laboratooriumikellal ühe miljondiku «mesonisekundi» jooksul mööduda 10, 20, 30 või veel enam maapealse sekundi miljondikku! Meie aga mõõdame mesoni kiirust maapealsete kilomeetrite ja sekunditega. Seepärast suudab stratosfääris sündinud meson eluea lühidusele vaatamata läbida mitte pool kilomeetrit, vaid 10, 20, 30 korda suurema vahemaa, s. t. 5 m a a p e a l s e t kilomeetrit, 10, 15 ... Ja udukambrid võtavad ta külalislahkelt vastu isegi õhuookeani põhjas — merepinnal. Seda enam aga Aragatsi mäeharja kõrgusel, kus taevas on tervelt kolme kilomeetri võrra lähemal.

Hideki Jukava võis rõõmustada: kõik tema ennustused läksid täide. Milline teoreetilise ettenägelikkuse võidupäev! Ja kõik oleks tõepoolest hea, selge ja lihtne, kui ... kui Andersoni avastatud mesonid oleksid tõepoolest olnud Jukava ennustatud mesonid. Ent nähtamatu ja kuuldamatu uurimisteed on keerukad.

... Nii igikaugelt alustab Aragatsi põliselanik tõenäoliselt jutustust neoonreklaamist Kara-geli kohal. Uudishimulik turist võib kaotada kannatuse.

«Teate, vanad legendid uppunud kaunitaridest olid, ausõna, lühemad ja arusaadavamad.»

(Ma mõtlen, et ta pelgab lisada «ja huvitavamad».) Põliselanik aga muigab.

«Ma hoiatasin, et lugu tuleb pikk.»

Ja võib-olla seepärast, et muie pole just päris rõõmus, palub nõutu turist ikkagi jätkata, ainult uurides turistide tavalise kannatamatusega:

«Missuguse mesoni auks teil see neoonkiri siis põleb, kas Andersoni avastatud või Jukava ennustatud mesoni auks?»

«Ei ühe ega teise. See pealkiri on lootuste ja visaduse auks. Lugu oli järgmine . . .»

«Üldjoontes muidugi?» vihjab turist viisakalt.

«Ärge kartke, kõige üldisemais.»

● Nüüd kujutlege, kuidas neljakümnendate aastate algul füüsikute arvates elementaarosakeste maailm välja nägi. Selle elanikkond oli kasvanud veel ühe kaksikute paari võrra, mis väga meenutasid elektroni-positroni: need olid kaks m e s o n i t, positiivne ja negatiivne.

Kõik füüsikud tunnustasid vastuvaidlematult, et on leitud just nimelt Jukava tuumakvandid. Aga just need kvandid puudusid «täiuslikust pildist», et seletada osakeste vastasmõju aatomituumades. Jälle näis, et kõik mikromaailma elanikud on juba avastatud ja pole erilist põhjust oodata uute külaliste ilmumist.

Muidugi ei maksa mõelda, nagu oleks see olnud raudne veendumus. Ei, keegi poleks hakanud seda valju häälega tõestama. Polnud veel olemas, nagu muide praegugi, elementaarosakeste üldist teooriat. Ei olnud ja pole tänapäevalgi sellist teooriat, mis võiks eksperimentaatoreile nende otsinguil juba ette lootust anda või, vastupidi, hoiataks: «Ärge nähke tühja vaeva, mingeid uusi osakesi loodusel varuks pole!»

Ainus kindel ennustus, mille teooria tegi juba 20-ndail aastail ja mis on jõus tänaseni, on iga osakese peegeltelsiku, antiosakese olemasolu. Kuulsa inglise teoreetiku Paul Diraci ennustusel oli väliselt väga lihtne päritolu: Einsteini energia-massi valemis esineb ruutjuur, ruutjuurel on aga alati kaks märki: pluss ja miinus. Tähendab, igale osakeste massi väärtusele peab vastama mitte üks, vaid kaks «vastupidist» osakest. Dirac ei jäänud kohe oma ennustust uskuma. Akadeemik Tamm, kes tollal tihti Diraciga kohtus, jutustas, kuidas alati vaikiv inglane oli tookord mures oma prognoosi pärast, muutudes sel teemal kõneldes isegi jutukaks. Aga Diraci enda töödest võib

välja lugeda, et algul pidas ta elektroni antiosakeseks positiivselt laetud prootonit. Teda hämmastas ainult hiiglasuur erinevus mõlema osakese masside vahel. Kui käsitamatuna näib selline eksitus tänapäeval! Oleks võinud omaenda ennustusest kas või lahti öelda! Kuid seda Dirac ei teinud. Ja mõne aasta pärast, aastal 1932, kinnitas seda esmakordselt tõelise antielektroni, positiivselt laetud positroni avastamine. Uue osakese mass oli täpselt võrdne oma negatiivse laenguga kaksikvenna massiga.*

Kuid neljakümnendate aastate algul oli kõik nagu vaikne ja silmapiiril polnud mingit vihjet uute, senitundmatute osakeste olemasolu kohta. Ning äkki juhtus, et ebatavaliste perspektiivide hingemattev eelaimus — eelaimus, mis suudab teadlasi innustada palju aastaid kestvaks kangelaslikuks tööks ja kannatlikkuseks, — haaras tervet rühma meie kosmosefüüsikuid eesotsas andekate, osavate vendade Alihhanovi ja Alihhanjaniga.

Neil olid juba seljataga pikad tööaastad akadeemik Joffe kuulsas Füüsika ja Tehnika Instituudis Leningradis, kus alustasid oma teed kümned meie nimekamad uurijad: Aleksandrov, Artsimovitš, Kapitsa, Kikoin, Kurdjumov, Semjonov, Skobeltsõn, Hariton, Spivak, Frenkel, Šalnikov... (Sel loetelul polegi lõppu!)

Ärgem unustagem, et sellesse kohorti kuulus ka meilt enneaegu, viiekümne kaheksandal eluaastal lahkunud akadeemik Igor Vassiljevitš Kurtšatov (1902—1960). Kui eelnevatel lehekülgedel oli vestluses teaduse üksikasjadest

* Võrdlemisi hiljuti — 1964. aasta algul triumfeeris teooria Brookhavenis raske osakese avastamisega, millele teoreetikud juba varem olid nimeks pannud oomega-miinushüperon. See ennustus järeldus paratamatult omapärasest elementaarosakeste perioodsuse tabelist, mille koostasid silmapaistvad ameerika füüsikud Murray Gell-Mann ja George Chew ning varem tundmatu iisraeli füüsik Yuval Ne'eman. Elementaarosakeste süstemaatika aluseks võtsid nad energia, impulsi, laengu ja teiste põhiliste suuruste, sealhulgas Gell-Manni poolt 50-ndate aastate keskpaiku avastatud «veidruse» jäävuse seadused. Jäävuse seadustega on seotud mikromaailma sümmeetria seadused. Tulemusena ilmusid teooriasse elementaarosakeste sümmeetrilised grupid — «ülimultipletid». Ühes sellises grupis oli tühik — eksperimentaalselt avastamata osake. Selle mass ennustati teooria poolt peaaegu automaatselt — ligikaudu 3350 elektroni massi. Automaatselt ennustati ka, et elektrilaeng on negatiivne ja eluiga 10^{-10} sekundit. «Eksperimentaatorid otsivad seda osakest kirglikult,» kirjutasid Chew ja Gell-Mann 1964. aasta veebruaris. Ning kirglikele otsinguile kaasnes peagi täielik edu. See sundis kõiki tunnustama uue teooria viljakust.

juttu Enrico Fermi neutronikatsetest, siis oleks samas võinud jutustada sellestki, kuidas samal ajal, 1934. aastal, asus aatomituumi neutronitega pommitama ka noor Leningradi füüsik Igor Kurtšatov. Ma ei teinud seda üksnes seepärast, et katse seletada tema teaduslike otsingute olemust veaks meid tuumafüüsika rägastikku. Kuid tahaks lisada, et sellest ajast muutusid neutronid ja aatomituum Igor Kurtšatovi eluaegseks teaduslikuks kireks. Ja täiesti seaduspäraselt sai neil neljakümnendail aastail, kuhu kuulub see neutronilugu, Igor Vassiljevitš Kurtšatovist meie aatomifüüsikute pea, aatomiteaduse ja -tööstuse organisaator. Aja jooksul saavad tema elu ja tegevus erutava jutustuse teemaks aatomisajandi karmidest teedest, lootustest ja saavutustest...

Kuid pöördugem tagasi Aragatsile. Vennad Alihhanov ja Alihhanjan olid sellestsamast Leningradi kohordist. Ja 30-ndail aastail olid nad nii eraldi kui ka koos uurinud tervet rida keerukaid aatomi- ja tuumaprobleeme. Kosmilised kiired olid neljakümnendate aastate algul juba nende headeks tuttavateks.

1940. aasta lõpul köitis vanema venna Abram Isaakovitš Alihhanovi tähelepanu üks mõistatuslik ebakoht eksperimendi andmeis kosmilise kiirguse käitumisest. Nähtavasti on üleliigne täpselt selgitada, mis teadlasi seal segadusse ajas. Kuid kas te mõistate, et tolles hämmelduses — aga hämmeldus ei kuulu jõuliste inimtundmuste hulka — peitus torm.

Lühike torm füüsikas ja kauaaegne torm inimsüdameis. Tuleb ikkagi lähemalt seletada.

Jutt on kosmiliste osakeste omadusest muuta vastutulevaid aatomeid ioonideks, omadusest, mis on ainult laetud osakestel. 1940. aastaks oli kosmilises sekundaarkiirguses teada kaks sellist kaksikosakeste paari: elektron-positron ja kaks mesonit.

Juba varem olid füüsikud hakanud sekundaarkiirgust pehmeks ja kalgiks jagama. Jaotus oli täiesti tinglik, ent väga kujukas: seati paigale kümne sentimeetri paksune tinaplaat ja jälgiti langevate osakeste saatust. Ühed tungisid sellest läbi (neid nimetati kalkideks), teised jäid tinasse pidama (neid nimetati pehmeteks). Siin ilmnes piltlikult tohutu suur vahe pehme ja kalgi kiirguse energiate vahel. Peagi tõestati, et pehmed on esimesed kaksikud, elektron ja positron, kalgid aga teine paar, mesonid.

Nimelt nende, massiivsemate ja seepärast sama kiiruse korral ka energilisemate jaoks on läbipaistev isegi paks tinatükk.

Kuid mis siis Alihhanovi mõtlema pani? Asi oli selles, et mõõtmised rikkusid pisut seda selget pilti pehmete ja kalkide kiirte koostisest: pehmed tekitasid aines märksa rohkem ioone, kui oodati nende elektron-positronse koosseisu järgi. Teadlaste keeles nimetatakse niisugust vastuolu pehme komponendi anomaalseks käitumiseks.

Igasugune anomaalia on uurijate jaoks ebameeldivus ja õnn. Ebameeldivus seepärast, et pole teada, milles on põhjus. Ja õnn samuti seepärast, et pole teada, milles on põhjus.

Alihhanov tegi kõige loomulikuma oletuse: kas ei leidu pehmes kiirguses pisut raskeid aeglasi prootoneid, mis võivad oma teel vigastada palju rohkem aatomeid (kas mäletate Pierre Auger' sõjaaegset võrdlust ionisatsiooniprotsessi kohta?) kui relativistlikud kiired elektronid. Kui selline lisand on olemas, kaob vastuolu.

Nende aeglaste prootonite päritolu kohta ei saanud tollal veel midagi öelda. Kuid Alihhanov aimas juba, et need on nähtavasti pärit Maa atmosfäärist, kujutades endast primaarkiirguse kahuritulega purustatud aatomituumade kilde.

Noorem vend Artemi Isaakovitš Alihhanjan oletas, et aeglasi prootoneid ei ole pehmes komponendis mitte vähe, vaid et igaüks neist on nõrgem ionisaator, kui arvab Alihhanov.

Ühesõnaga, tundmatu ümber tekkis otsekohe vaidlus nagu alati. Ja nagu alati võis selguse tuua ainult eksperiment. Ja ka anomaaliat ennast tuli veel detailselt tundma õppida.

Nii vaikselt sai alguse Aragatsi torm.

See algas juba aastail, mil maa kohal möllas Suure Isamaasõja raju. Ja algus oli tõepoolest legendaarne (sellest polnudki noorel erkrohelises pintsakus autojuhil ettekujutust). 1942. aastal, pärast tagasipöördumist ühe sõjalistehnilise ülesande lahendamiselt mereväeteenistuses, vaevatud evakuatsioonipäevade pooltegevusetusest Kaasanis, kuhu oli kogunenud palju füüsikuid, keda armeesse ei võetud, saanud toetust akadeemikutelt Joffelt ja Kapitsalt, otsustas Alihhanjan korraldada esimese ekspeditsiooni Aragatsile.

Tookordne Teaduste Akadeemia Armeenia Filiaali juhataja Jossif Abgarovitš Orbeli nimetas ekspeditsiooni «sõjalis-kosmiliseks». See ütles kõik. Aga füüsikud rääkisid tollal enda kohta poolnaljatamisi-poolkurvalt: «Me oleme seepärast füüsikud, et teeme füüsilist tööd.» See jäi poolnaljaks-pooltõeks paljude aastate vältel. Aragatsi eksperimentaatorid sarnanesid esimeste meresõitjate-maadeuurijatega: nad ehitasid ise enda jaoks laevad...

Sõja lõpuks valitsesid Aragatsil kõigi mõtteid sõnad «kolmas komponent». Arvukad mõõtmised lubasid Alihhanovil ja Alihhanjanil anda arusaamatule anomaaliale oodatud seletuse. Nad tõestasid: kosmilises kiirguses on peale pehme ja jäiga olemas kolmas komponent. Ja need on tõepoolest p r o o t o n i d, peaasjalikult prootonid. Peagi selgus, et vendade vaidluses jäi õigus nooremale: prootoneid oli suhteliselt rohkesti.

Võib mõista erutust, mis valdas Aragatsi füüsikuid! Nad said kaaluka viite sellele, et kosmilises kiirguses peavad hiiglasuurt osa etendama tuumaprotsessid. Seejuures olid paljud füüsikud tollal veendunud (ja tõestasid seda oma töödes), et prootoneid kosmilises kiirguses üldse ei esine. Teised arvasid, et prootonite lisand on midagi teisejärgulist, äärmiselt ebaolulist, «ainult hobuseraud», nagu sõnas selle kohta Alihhanjan. Aga tulevik näitas peagi, et kosmilised prootonid on «hobune ise».

Avastatud kolmanda komponendi uurimise huvides hakkasid Aragatsi füüsikud füüsilise töö inimesteks, selle huvides tassisid nad sinna laboratooriumiseadmed magnetilise analüüsi jaoks, selle huvides hakkasid nad metsikul mäel linnaelu sisse seadma. Töö aga käis. Ja tuli aeg, mil Aragatsi füüsikud tundsid, et nad on uue, võrratult tähtsama avastuse lävel.

Masside spektrit kujutavad eksperimentaatorid lainelise kõverana millimeetripaberil. Laineline on ta seepärast, et ühtede massidega osakesed on olemas ja avastatakse eksperimendis, teiste massidega osakesi aga pole ja neid ei avastata. Kui osakesed on olemas, tõuseb joon vastava väärtuse kohal kõrgemale. Kui osakesi pole, siis kõverjoon langeb. Kosmiliste osakeste masside spekter on üleni siksakiline. Millist kõverjoont ootasid Aragatsi füüsikud oma uurimiste tulemusena? Nad teadsid juba, et peale elektronide on seal veel kaks harja: mesonite ja

prootonite oma. Nende vahel on aga vagu. Kuid suureks hämmastuseks märkasid füüsikud, et asi pole sugugi nii!

Mesonite harja (mass ligikaudu 200) ja prootonite harja (mass ligikaudu 2000) vahelisse vakku tekkisid kühmud. (Nii võib kahe mäeharja vahel näha küngaste ahelikku.) Erutav ootamatus! Kust tulid need küürukesed masside spektris? Äkki tähendavad need, et kosmilises kiirguses võivad iga hetk ilmuda seni märkamatud, tundmatud elementaarosakesed? Kujutlege, millised tundmused pidid valdama Aragatsi füüsikuid!

Iidne Aragats sai lootuste mäeks.

1946. aastal kõlas Kara-geli kaldal uus, mitmuslik sõna v a r i t r o n i d. Ainsuslikuna polekski see tekkida saanud, sest sõna pidi kajastama nende ebapüsivate tundmatute osakeste mitmekesisust, paljuvariantsust, mis jonnakalt tekitasid kühme mesoni- ja prootoniharjade vahele. Füüsikud ei suutnud veel «näo järgi ära tunda» iga uut võimalikku osakest, kuid tookordsed mõõtmised massspektromeetril sisendasid veendumust, et tegemist on senitundmatute mikromaailma asukatega.

Kui palju on loodusel varuks selliseid tundmatuid asukaid? Juba mõte ise, et nad o n o l e m a s, et pole haigutavat tühikut mesonite ja prootonite vahel, juba see mõte ise oli tohutu suure, epohhiloova tähtsusega «algaluste» tunnetamisel. Ent kui palju neid veel tundmatuid osakesi on?

Oli kiusatus vaadelda iga kühmu spektrikõveral kui kindlat tunnust vastava massiga osakese olemasolust. Selleks pidi olema päris kindel, et ei mõõteriista ega ka saabuvate osakeste omadustes pole midagi, mis võiks luua petlikke sakke — omapärast miraaži.

... Tahaks katkestada põliselaniku kujutletava jutustuse, et lausuda mõni sõna omalt poolt.

Neil aastail polnud mul juhust Aragatsil viibida ja ma ei tundnud veel Artemi Isaakovitš Alihhanjani, kes juhatas mägilaboratooriumi. Ja ma ei tea, mida tema ning ta kaastöötajad üle elasid. Paistab, et kõige lihtsam oleks seda küsida Alihhanjanilt endalt, hulk aastaid pärast möllanud tormi. Kuid ma ei söandanud seda siiski teha. Ikka segas mõte, kas ei näi säärane uudishimu õigustamatu teise inimese «hinge tükkimisena». Millegipärast aga tundub mulle, et nendel nädalatel ja kuudel, mil elati üle kuulmatut teaduslikku õnnestumist, esinesid Alih-

hanjanil ootamatute kahtluste tunnid. Ootamatud ja põhjendamatud kahtlused: teisele inimesele ei oskaks neid seletada ja mõistuslike väidetega neist lahti ei saa. (Inimene muutub äkki süngeks, käib ringi vaikselt ja sõnaahtralt, siis aga ärritub kellegi ettevaatamatust sõnast ja keegi ei mõista, mis juhtus, «mis kärbes teda hammustas». Aga midagi ei juhtunud! Inimene lihtsalt mõtleb.) Millegipärast kujutlen ma ikka ei tea mitmenda õise paberossi ärevat tulesilma Alihhanjani pimedas toas Aragatsil...

Algul joonistus spektraalkõverale nii palju ootamatuid kõrgendikke, et võinuks mõelda, nagu oleks elementaarosakeste maailmas masside spekter peaaegu pidev, s. t. peaaegu kõik massid on võimalikud. Ja üks silmapaistev füüsik tuligi sellise mõttega välja. Kuigi see idee jäi efemeerseks, tasub seda siinkohal meenutada, et saaks selgemaks, millise hiiglasuure vastukaja tekitasid teaduses Aragatsi sündmused. Diskussioonides põrkasid kokku varitronide pooldajate ja vastaste kired. Uutest osakestest (ühes variandis oli neid 15, teises ligikaudu 20) jutustasid vaimustatult populaarteaduslikud artiklid, nende avastamist tõlgendasid paljutähendavalt kiirel käel kirjutatud filosoofilised traktaadid. Muidugi olid nii ühtede kui ka teiste autorid täiesti siirad ega ole milleski süüdi.

Aga Aragatsil käis töö edasi...

Eksperimentaatorid aina kontrollisid seadme näitusid. Nad kogusid, nagu kombeks öelda, hiiglasuure statistilise materjali. «Kolmeaastase töö tulemusena,» kirjutasid 1949. aastal kaks Aragatsi laboratooriumi töötajat, «õnnestus fikseerida ja läbi töötada ligikaudu 500 000 osakese trajektoorid.»

Pool miljonit filmikaadrit valguspunktiiriga neoontablool... Pool miljonit vaatlust ja arvutust... Need olid järeleandmatud «eksperimendi tõe» otsingud.

Tulemused ei jäänud muutumatuks.

Füüsikud täiustasid masside spektri saamise meetodit, oma, originaalset, mitte kusagil mujal ja mitte kellegi poolt katsetatud seadet. Siis polnud selles veel udukambrit ja eksperimentaatorid ei saanud vahetult jälgida lendava osakese jälge, tema peatumise laadi, lagunemise vaatepilti, kui lagunemine aset leidis. Udukambrit asendas tollal «lehttaignast pirukas» pliiplaatidest ja Geigeri loendajate ridadest. Loendajad signaliseerisid, millisesse ritta

osake toppama jäi, ja nende signaalide järgi otsustasid füüsikud, kui paljudest plaatidest tal õnnestus läbi tungida, s. t. milline oli tema energia. Eksperimentaatorid parandasid pidevalt «piruka» struktuuri, et vabaneda miraažidest, mida katseriist võis tekitada. Ja koos mõõtmiste täpsuse kasvuga muutusid spektrikõveral mesonite harja ja prootonite harja vahel asuva künkliku oru piirjooned.

Mõned künkad tasandusid. Mõned lähestikku asuvad liitusid üheks. Erinevate masside varitronlik küllus osutus tõepoolest pettepildiks ja Aragatsi füüsikud hajutasid selle ise.

Kuid ikkagi ei jäänud org tasaseks! Pärast hiiglasuurt eksperimentaalset tööd, pärast seda, kui masside spektrist oli kõrvaldatud kõik, mida optikud-spektroskopistid «spektrivaimudeks» nimetavad, nägid füüsikud kolme allesjäänud kõrgendikku — tunnusmärke, et on kolme tüüpi mesonist raskemaid ja prootonist kergemaid osakesi.

Aragatsi uurimused andsid nende osakeste masside väärtusteks ligikaudu 300, ligikaudu 500 ja ligikaudu 1000 (kui ühikuks võtta elektroni mass). Sellised olid varitronide epopöa eksperimentaaltulemused 50-ndate aastate algul.

Samal ajal toimusid elementaarosakeste teaduses aga ajaloolised sündmused, milles kajastusid ka otsingud Aragatsil.

● Niisiis, Jukava mesonid ja Andersoni mesonid ... Terve aastakümne vältel (1937—1947) olid kogu maailma füüsikud täiesti veendunud, et ameerika eksperimentaator avastas jaapani teoreetiku ennustatud osakesed. Omaduste kokkulangemine oli hämmastav: mõlemal oli mass ligikaudu 200, aga eluiga mõni miljondik sekundit. Kuid üks asjaolu tegi füüsikud siiski rahutuks.

Kust tuli Andersoni mesonite hiiglasuur läbitungimisvõime? Kui nad on tõepoolest tuumajõuvälja kvandid, siis peaksid nad aatomituumadega üksteist vastastikku aktiivselt mõjutama ja teekond läbi aine poleks neile muretu jalutuskäik. Tuumaaktiivsus on kaasasündinud omadus, tuumakvantide peamine erijoon. Selleks Jukava mesonid «välja mõtleski». Ja kui Anderson just need avastas, miks tungivad siis ameeriklase osakesed isegi

läbi paksu plii nii sõltumatul ilmel, nagu poleks neil vastutulevate tuumadega mingisuguseid sugulussidemeid?

Ehkki avastatud mesonite käitumine jäi silmanähtavalt seletamatuks, ometi ei seadnud nähtavasti keegi nende tuumapäritolu kahtluse alla ega otsinud tõsiselt teisi, tõelisi Jukava kvante. Alles 1947. aastal hakkas eksperimentaatorite ja teoreetikute kümneaastane enesepete hajuma. Itaalia füüsikud Conversi, Pancini ja Piccioni tõestasid rangelt selle, mida kõik olid aimanud: Andersoni mesonid on tuumareaktsioonide suhtes nii passiivsed, et nad ei saa olla tuumajõuvälja kvandid, s. t. Jukava «rasked footonid».

Samal aastal sattusid inglise füüsikud Powell ja Occhialini uuele osakesele vahepealse massiga ja veel lühema elueaga. Nad avastasid uue m e s o n i massiga ligikaudu 300, mis elab umbes üks sajamiljondik sekundit.

Torkab silma, et avastus tehti siis, kui hiljaaegu tekkinud varitronide idee näis veel nii paljutõotavana! Füüsikud olid tollal psühholoogiliselt ette valmistatud igasugusteks uudisteks ja usaldasid julgelt ootamatuid vihjeid uute osakeste olemasolule.

Cecil Frank Powell töötas Bristolis täiesti teisel meetodil, sel meetodil, mida 30-ndate aastate algul hakkas välja töötama Leningradi eksperimentaator L. Mõssovski: ta sundis kosmilisi kiiri end paksu emulsioonikihiga fotoplaadile jäädvustama. Fotoemulsiooni jätavad osakesed nähtavaid jälgi, seal paistab ka osakese peatumise karakter ja avaneb tema lagunemise vaatepilt. Kui Powell ükskord ebatavalist jälge ja ebatavalist lagunemist märkas, uskus ta kohe, et avastus on võimalik. Ja tal oli õigus.

Nii ilmusid 1947. aastal mikrofüüsikasse uued mesonkaksikud: Powelli positiivne ja negatiivne meson. (Kolme aasta pärast lisandus neile kolmas — ligikaudu sama suure massiga neutraalne meson. Kuigi mitmikud peavad sündima ühel ja samal päeval, rikub «algaluste» avastamise ajalugu pidevalt seda inimlikku reeglit: elektroni kaksikvenna positroni avastasid füüsikud kolmkümmend viis aastat hiljem.)

Möödus mõni aeg, enne kui füüsikuile sai lõplikult selgeks, et just Powelli mesonid ongi Jukava ennustatud tuumakvandid. Inglase mesonid käitusid nii, nagu sobib tuumaaktiivsetele osakestele. Aga nii masside erinevus

(Jukaval 200, Powellil 300) kui ka lahkuminek eluea pikkuses (Jukaval miljondikud sekundid, Powellil sajamiljondikud) tõendasid seda, mis oli niigi teada: jaapani füüsiku teooria oli muidugi ligikaudne.

Et kaht tüüpi vahepealse massiga osakesi üksteisest eraldada, nimetati vanad Andersoni mesonid *müümesoneiks*, aga uued Powelli mesonid *piimesoneiks*. Ehk lihtsalt müoonideks ja pioonideks.

On selgunud, et piimesonid tekivad atmosfääri ülakihtides, kui seda tulistavad kosmilised prootonid. Veeretanud õhtule oma kiirevoolulise elu, lagunevad nad müümesoneiks ja neutriinodeks. Seejärel kaovad omakorda müümesonid, sünnitades elektrone ja neidsamu impulsi, energia, laengu jäävuse seaduse jaoks päästvaid, sümpaatseid ja tabamatuid neutriinosid. Aga elektronid ja neutriinod eksisteerivad juba tähtajatult, neid ei ähvarda omavoliline lagunemine mingiteks uuteks osakesteks. Igatahes on tänapäeva füüsikud selles täiesti kindlad.

Aragatsi eksperimentaatore 1 tekkis piimesoneisse «isiklik suhtumine» — ebasõbralikes värvides. Nad nägid neis osakestes olulisi süüdlasi varitronmiraažide tekkimises spektraalkõveral.

«Siis polnud selliste osakeste omadused veel kellelegi teada. Eelkõige aga nende tuumaaktiivsus. Aga just nemad *võisid* peale kõige muu luua petlikke nägemusi küngastest... Loendajad teatasid neile, et mingi osake jäi peatuma tinapiruka viiendasse kihti. Tehes igasuguseid parandusi, et vältida altvedamist, kujundasime arvamuse tema energia kohta. See näis täiesti lootustandvana. Kuid kujutlege, et tegemist oli piimesoniga! Nüüd on selge: ta ei pruukinud peatuda sugugi mitte sellepärast, et tema ressursid ainest läbilendamisel kahanesid järk-järgult vastutulevate aatomite ioniseerimiseks. Piimeson võis järsku pidurduda ja peatuda vastasmõju tõttu mõne aatomituumaga. Niisuguseks vastasmõjuks kulunud kineetiline energia võis meile tundmatuks jääda. Kohalelennanud osakese massi väljaarvutamine osutus ettenägematult ekslikuks. Tuumaaktiivsuse tõttu võisid need neetud piimesonid teeselda suvalise massiga osakesi!»

Nii meenutatakse hiljutist minevikku Aragatsil. Ja selles seletuses osakeste varitronsõjakäigule, mis tekitas tormi aatomifüüsikas ja inimsüdameis, on üks tõeliselt dramaatiline joon.

Näib, nagu oleksid Aragatsi eksperimentaatorid esialgse seadme piiratud võimalustele vaatamata esimestena märganud ja vaadelnud uut loodusnähtust — senitundmatuid mikromaailma asukaid. Näib, et just nemad oleksid väärinud suurt au ja rõõmu olla uute mesonite avastajaiks. Aga ehkki nad seisid silmapaistva avastuse ees, ei suutnud nad esimestena astuda üle selle läve: piimesonite tekitatud miraažid segasid piimesonite endi avastamist.

Aga selleks ajaks, kui nad nägid «vaimudest» puhastatud spektraalkõveral täiesti kindlat küngast umbes massiväärtuse 300 kohal, oli töö tehtud juba teiste meetoditega ja teistes laboratooriumides: see küngas k'nnitas juba toimunud avastust. Ta süvendas veel enam Aragatsi füüsikute veendumust, et esimese vihje uute mesonite olemasolule said omal ajal ikkagi nemad.

... Põliselanik peatub ja vaatleb uudishimulikku turisti.

«Üsna p'kk legend, nagu näete. Ja mitte ainult uppunud kaunitaridest-varitronidest.»

«Jah, see kõik on huvitav,» sõnab turist, «kuid te unustasite kaks teist küngast, masside 500 ja 1000 kohal... Kas jutustate lõpuni?»

«Selleks kulub tõepoolest vaid paar sõna. Kuid ma tahaksin lõpuni öelda veel ka midagi muud.»

Õhulossidest ei jää varemeid.

Kuid on hiiglasuur vahe tegevusetute unistajate sihitute väljamõeldiste ja otsivate teadlaste julgete kujutluste vahel. Sellepärast ongi vahe nii suur, et sealpool on tühised väljamõeldised, siin aga otsingud ja töö.

Füüsikute hulgas võib varitronide loo kohta kuulda väga vasturääkivaid arvamusi. Võib kuulda, kuidas täielikult eitatakse Aragatsi laboratooriumi edu uute osakeste otsinguil. Ja võib kohata täielikku tunnustust selle pioneerlikele teenetele üha uute mesonite avastamise lõpetamata epopöas.

«Sõna «varitronid» te entsüklopeediast ei leia,» ütlevad need, kes tingimusteta «vastu» on meelestatud. «Varitronidest ei räägi enam ülikoolide füüsikakursused, niisamuti kui nad vaikivad hüpoteetilistest maavälistest elementidest nebuuliumist ja korooniumist, mis üsna hiljuti teadlaste meeli erutasid, nagu nad vaikivad kõigest sellest, mis teaduses aset ei leidnud. Kõik suured ja väikesed künkad

olid ainult miraaž, eksperimendiviga, ja muud mitte midagi... Ja seepärast ei saa kinnitada, et Aragatsi füüsikud viitasid esimestena uute osakeste olemasolule.»

«Viide piimesonitele on ainult pool tõde,» ütlevad ühed. «Peamine häda oli mõõtmiste ebatäiuslikkuses. Eriti rumal on see, et Aragatsi füüsikud ei tahtnud kaua aega oma viga tunnistada ega õhulossidest lahkuda. See moment ongi varitronide draamas kõige õpetlikum.»

«Jah, olid miraažid,» nõustuvad need, kes on otsustavalt «poolt». «Kuid ka miraažid kõrbes on loodusnähtus, mitte vaataja kapriis: miraaže võib pildistada. Need on tingitud valguskiirte kõverdumisest atmosfääris. Ja nad näitavad reaalseid asju, kuigi moonutatult. Aragatsi füüsikud jätsid kõrvale miraažid, mida võisid tekitada vanad tuttavad — elektronid ja prootonid. Hiiglasuures mõõtmiste statistikas vaatlesid nad kahtlemata esimestena uusi osakesi. Nad viitasid kvalitatiivselt nii piimesonite kui K-mesonite olemasolule... See on nende teene.»

Kellel on õigus?

Oleksime liiga enesekindlad ja naljakad, kui püüaksime anda vastuse sellisele küsimusele. Võib-olla asub tõde kuskil vahepeal nagu alati?

Kuid oodake, siin sekkusid jutusse veel mingisugused K-mesonid, keda me varem pole kohanud. Kust need ilmusid?

Küsimus on selles, et tuumaaktiivsete piimesonite avastamine oli ainult alguseks terves väljapaistvate sündmuste ahelas meie päevade mikrofüüsikas. 50-ndate aastate keskpaiku, pärast loendamatuid lahkarvamusi eri maade eksperimentaatorite vahel, vormistati elementaarosakeste tabelis uute mesonite arvukas perekond massiga ligikaudu 1000 ja suhteliselt pika (seletamatult pika) eluaega. Neil oli seesama mass, mille väärtuse kohale kerkis kolmas küngas miraažidest puhastatud Aragatsi spektraalkõveral. Ja tuleb märkida, et Aragatsi füüsikud väitsid kogu aeg, paljude teadlaste kahtlustest hoolimata, et uued mesonid on mõistatuslikult pikaealised.

Needsamad uued vahepealsed osakesed, mis sündisid samuti aatomituumade tulistamisel, said kelleltki tagasihoidliku nimetuse K-mesonid. Üldiselt oleksid nad aga kõlavama nimetuse väärilised: nad on füüsikuile teatanud juba paljugi ootamatuid uudiseid osakeste keerukatest vastasmõjudest mateeria sisemuses. Just tänu nende sünni

ja lagunemise omapärale rikastus range teadus nii ebarange poeetilise terminiga nagu «veidrus» ja selliste kentsakate väljendustega nagu «veidruse jäävus» ja «veidruse mittejäävus».

Et tundma õppida «tuhandelisi», nagu neid Aragatsil nimetatakse, ja vaadelda osakesi ligikaudse massiga 500, tõigi Alihhanjan mass-spektromeetri konstruktsiooni Wilsoni kambri.

Võib-olla vaadeldi siis Aragatsil esmakordselt K-mesonitki? Võib-olla oli varitronmiraažide hulgas tõepoolest K-mesoni küngas? Sama küsimus mis piimesonite korralgi. Me ei saa sellele vastata.

Üks on vaieldamatu: teaduse elavast ajaloost ei saa midagi maha tõmmata. Ajalugu on pidev teaduslike otsingute draama. Sinna jätab iga asi kustumatu jälje. Ja loodusseaduste ning -nähtuste õige tundmise eest on teadlased tänu võlgu mitte ainult ühekorraga hangitud teadmistele, vaid ka ajutistele eksitustele, mille varjus peitub tõde.

Arutlemata Aragatsil vaadeldud osakeste konkreetsete masside üle, jättes kõrvale vaidluse miraažidest, ütles NSV Liidu Teaduste Akadeemia hiljaaegne president A. N. Nesmejanov 1957. aastal, et Alihhanovi ja Alihhanjani töödes seati esmakordselt Andersoni müümesonite ja prootonite vahelise massiga elementaarosakeste olemasolu probleem. Ehk on just see «keskteel asuv tõde?»

...Aga kuidas jääb siis viiesajaliste osakestega, mis tekitasid omal ajal keskmise künka spektraalkõveral?

Need ongi need problemaatilised külalised, mida pildistasid Jerevani õhtustest tuledest unistavad laborandid 1960. aastal. Sellest ajast möödunud aastad pole «viiesajaliste» olemasolu kinnitanud, otsingud on aga lakanud.

Aragatsi legend pole lõpule jõudnud, niisama nagu jätkub ka «mateeria algaluste» avastamise ülihuvitav ajalugu. Seda meenutabki lootuste ja püsivuse auks kirjutatud neoonsõna Kara-geli kohal.

Uudishimulik turist (ta kehastab igaüht meist) surub tugevasti põliselaniku kätt ja sõnab arvatavasti eriti soojalt:

«Soovin edu uutes otsingutes!»

● Uutes otsingutes?

Jah, muidugi. Kosmiline kiirgus Aragatsil pole ju ammendatud! Ja kas nende uurimine taeva lähedal peaks piirduma tundmatute elementaarosakeste otsimisega? Muidugi mitte.

Õigluse nimel ja selleks, et meie kujutlus Aragatsist ei piirduks pettumusega, tuleb tagatippu rääkida üks lohutav lugu, mitte Kara-geli kaldal asuva teadusliku jaama minevikust, vaid tulevikust. Loo algus langeb 50-ndate aastate lõppu. Kuid ka praegu on ta lõpuleviimisest niisama kaugel kui esimesel päeval. Ja võib vahest väita, et mida kaugemale, seda hiilgavamalt ta jätkub.

Mina kuulsin sellest esmakordselt ikka tolsamal 1960-nda aasta kevadel Jerevanis... Enne järjekordset mäkketõusu ütles Alihhanjan mulle, et võiks seekord tutvuda ka Moskva ülikooli füüsikutega, kes koos kohalike jõududega teevad Aragatsi jäämas väga huvitavat ja paljutõotavat tööd. Erilise uudishimuta pärisin, kes moskvalastest on parajasti mäel. Ei oodanud kuulda mõnd tuttavat nime. Veel vähem ootasin kohtumist mõne kunagise kaasvõitlejaga Mohhovaja tänava füüsikateaduskonnast. Aga kui sündmuse tõenäosus ei võrdu nulliga, miks ei võiks see sündmus toimuda? Ja seepärast, kui ma kuulsin, et ülikooli ekspeditsiooni juhatab professor Grigorov — «Jah, jah, teieealine inimene» —, oli minu poolt otse viisakusetu ja teadusevastane vastata: «Ei või olla!» Sama päeva õhtul raputasime Nat Grigoroviga innukalt teineteise kätt, meenutades, kuidas üle kahekümne aasta tagasi... Muide, sel pole loo suhtes tähtsust, seda enam, et tõotatud lohutavat lugu võib siinkohal jutustada vaid üldjoontes ning sellest piisab.

Kosmiline kiirgus pole ainult elementaarosakeste looduslik taimelava, vaid ka looduslik laboratoorium, kus pidevalt toimuvad kõikvõimalike elementaarsete vastasmõjude kontrollimata aktid. Nende hulgas on ka selliseid, mida füüsikuil pole kaua õnnestunud oma katseseadmeil seeriaviisi reprodutseerida. Need on protsessid, kust võtavad osa ülisuurte energiatega osakesed.

Milliseid energiaid peetakse ülisuurteks?

Iga aastakümme vastab sellele küsimusele erinevalt. 30-ndate aastate algul unistas Ernest Rutherford 1 miljoni elektronvoldi suuruse energiaga osakestest. Dubna prootonid-miljardärid ületavad selle unistuse kümne tuhande

kordselt. Praegu ihkavad füüsikud tegelda prootonikimpudega, mis oleksid laetud sadade ja isegi tuhandete miljardite elektronvoltidega.

Ja kui pärida, miks nad seda ihkavad, siis on kõige parem vastata ühe ameerika teoreetiku hiljutise arutlusega: «Argumendid üha suuremate energiate poole liikumise kasuks tuginevad veendumusel, et senituntud osakeste massist suuremate energiate puhul ilmneb lõpuks mateeria esialgne lihtsus ja avastatakse tema tõeliselt lihtsad algseadused.» (Tasub ehk märkida, et meile tuttava Einsteini valemi järgi $E=m\cdot c^2$ on elektroni seisumass ekvivalentne ainult poole miljoni elektronvoldiga — $0{,}5\cdot 10^6$ eV, prootoni seisumass aga peaaegu miljardiga: 10^9 eV.)

Unistades ülisuurte energiatega osakestest, koostavad füüsikud gigantkiirendite projekte, mille kõrval praegused Dubna ja Brookhaveni masinad näivad kääbustena. Ent isegi kõige roosilisemad optimistid arvavad, et «uus kiirendite põlvkond» ilmub kõige varem 10—15 aasta pärast. Tehnilised raskused selliste hiiglaste ehitamisel on tohutu suured. Ja nende maksumus on kohutav. See on nii kohutav, et 1965. aastal andsid ameerika füüsikud eesotsas Robert Oppenheimeriga välja raamatu «Mateeria loomus», mis on esimesest kuni viimase reani pühendatud ainsale eesmärgile: veenda selle maailma vägevaid, et nad heldelt finantseeriksid elementaarosakeste füüsika masinabaasi ehitamist. On kerge mõista, et kui siit oleks loota otsest ja kiiret kasumit, poleks ameerika teadlastel vähimatki tarvidust niisugust raamatut välja anda. Kuid selles ongi häda, et siit ei söanda keegi peatset profiiti ennustada. Siin on, Oppenheimeri sõnade järgi, «asetatud kaardile inimmõistuse võit», mitte midagi muud. Kes aga hakkaks niisuguse kasu pärast eriti tõttama?

Tõttavad ainult teadlased ise. Nagu alati. Täpsemalt öeldes — neil ei jätku kannatust nagu alati. Nad tahavad kannatamatult looduse käest välja uurida kõike, mida on võimalik tema käest välja uurida. Ja kas maksab imestada, et füüsikud on siiski suutnud tutvuda prootonite-multimiljardäridega, ootamata uute gigantkiirendite sündi.

Pika jututa on selge, et neil oli üksainus tee: kasutada igivanast ajast tegutseva, suurima, kuid mittejuhitava kiirendi — kosmose enda teeneid, kes saadab Maale iga-

suguse energiaga osakesi. Sama selge on, et füüsikute esmaseks edu tingimuseks pidi olema oskus ülienergilisi osakesi ära tunda. Oskus neid teistest kosmosekülalistest eristada. Oskus mõõta nende energiarikkust.

Probleem on meile juba tuttav ja näib ilma eriliste raskusteta lahendatav: tuleb sundida neid osakesi end pildistama näiteks magnetvälja asetatud Wilsoni kambris — ja ongi kogu mure murtud. Aga kui niisugune või sellesarnane meetod oleks kõlvanud, poleks Nat Leonidovitš Grigorovil, kes asus 1954. aastal lahendama ülienergiliste kosmiliste prootonite registreerimise probleemi, millegi kallal olnud pead murda. Poleks tarvis olnud konstrueerida ja üha täiustada spetsiaalset katseseadet, mis on määratud ainult selleks eesmärgiks. Maailmakuulsaks saanud aparaat kannab vanamoeliselt tagasihoidlikku nime — ionisatsioonikalorimeeter.

Küsimus on selles, et kui taevast langeb kohutava, 10^{11}—10^{12}-elektronvoldise energiaga prooton — see on 100, 1000, 10 000 miljardit elektronvolti —, siis on võimatu temaga tavalisel viisil toime tulla ja sundida teda end lennu ajal iseloomustama.

Ning pealegi on sellised prootonid haruldased. Kujutlege nii hõredat vihma, mille puhul ööpäevas langeb 10-ruutmeetrisele katusele ainult neli-viis piiska... Niisugune on Aragatsi kõrgusel 1000 miljardi elektronvoldi (10^{12} eV) suurusjärgus energiaga prootonite sadu. Sellise saju all on raske «märjaks saada». Ja seepärast peab niisuguseid osakesi registreerival aparaadil olema ka suur detekteeriv pind. Muidu on temast vähe kasu.

On selge, mis peab niisuguses aparaadis juhtuma prootoni-multimiljardäriga: ta peab seal muutuma kerjuseks, täielikuks kerjuseks, laskma füüsikute silme ees lendu oma muinasjutulise varanduse. Kõik! Ja kindlasti füüsikute silme ees!

Kui Nat Grigorov mõtiskles ionisatsioonikalorimeetri üle ja konstrueeris seda, olid piimesonid juba avastatud. Võis teoreetiliselt ennustada ülienergilise prootoni saatust, arvestades tema vastasmõju aine aatomituumadega. Vähemalt põhijoontes.

Sellise prootoni kolossaalse energia-massi arvel sünnivad terved uute osakeste — tuumakvantide, iga liiki piimesonite kaskaadid. Need muutuvad omakorda teisteks osakesteks. Ja lugu lõpeb paljude elektron-positronpaaride

ja elektronide-footonite valingute tekkega, mis suudavad ainult ioniseerida tolle keskkonna aatomeid, kuhu tungis esialgne prooton. Ionisatsioonivoolu (õigemini -voolud) kalorimeetri aine kihtides fikseerivad aparaadid. Ning summaarne arvestus näitab, milline oli kosmoseelaniku varandus.

... 1960. aasta kevadel seadistas Nat Grigorov koos oma kaastöölistega Aragatsil tulevase suure ionisatsioonikalorimeetri mudelit, pärast seda kui väike oli töötanud juba poolteist aastat. Väike ja suur kalorimeeter erinesid teineteisest peamiselt «katuse» pindala poolest. Suur pidi koguma «kosmilisi piisku» eelmainitud kümnelt ruutmeetrilt.

Nat Grigorov nimetas oma keerukat mitmekihilist aparaati mõnusalt «riiuliks». Mäletate, meile paistis juba varemgi, et mõned kosmoseuurijate aparaadid meenutavad riiulit. Kuid seekord oli sarnasus puhtabstraktne: on muidugi õige, et aine mass, mida kohutavalt suure energiaga prootonite neelamiseks kulub mitu tonni, kasvab korruste kaupa, mille vahele on paigutatud registreerivate aparaatide kihid, kuid kogu konstruktsioon oli liiga võimas ja massiivne niisuguse nimetuse jaoks. Kõige vähem võis Grigorovi riiulit vaadates mõelda, et see seade saab teise ionisatsioonikalorimeetri prototüübiks, mis ühel ilusal päeval kosmosesse saadetakse.

Jaa-jah, kosmosesse, sinna, kus ülienergiliste osakeste voo intensiivsus on 1000 korda suurem kui Aragatsi nivool!

Aja jooksul märgib loodusteaduse ajalugu ära üsna palju kasutamata jäetud võimalusi. Kui Ameerika Ühendriikides katsetati raketti «Saturn», lasti taevasse 11 tonni Kalifornia liiva. Ameeriklased polnud selleks õnnelikuks juhuseks ette valmistatud ega saanud tollal oma uurimisjaama atmosfäärist väljapoole saata.

1960. aasta kevadel võisid meiegi eksperimentaatorid oma raskekaaluliste seadmetega kosmosesse väljumisest ainult unistada. Aragatsil ei rääkinud keegi sellest tõsiselt, kuid seal töötati väsimatult edasi. Ja 1964. aastal hakkas professor Grigorovi suur ionisatsioonikalorimeeter Aragatsil juba koguma statistikat aine ja prootonite-multimiljardäride vastasmõju kohta. Seal, Kara-geli kaldal, panid Moskva ülikooli füüsikud koos oma Jerevani kolleegidega aluse «uuele etapile ülisuurte energiatega osakeste uurimisel» (nii nimetatakse seda ametlikult).

Tjan-Šani mägedel ja Bakurianis käivad sama laadi uurimused.

Muidugi tuli ionisatsioonikalorimeeter kosmosesse sööstmiseks varustada moodsaima elektroonika-telemeetria- ja muu seesuguse aparatuuriga. See pidi kasvama automatiseeritud teaduslikuks laboratooriumiks, mis suudab Maa-lähedases ruumis koguda ja Maa peale edasi anda unikaalset informatsiooni haruldastest ja tähendusrikastest mikrosündmustest...

See toimuski!

16. juulil 1965. aastal suundus taevasse palju tonne kaaluv kosmosejaam «Proton 1», aga kolm kuud hiljem, 2. novembril 1965. aastal «Proton 2». Ja sel ajal kui neid ridu kirjutatakse, saadab energiate ja laengute spektrometriks muutunud ionisatsioonikalorimeeter meie füüsikuile taevast selliseid andmeid elementaarosakeste maailma kohta, mida teadlased praegu Maa peal ei suuda veel hankida.

Tunnen, et pean lugejalt vabandust paluma raamatu esimese osa kirevuse ja mitteküllaldase terviklikkuse pärast. Muidugi on alati hea õigustada end vihjega kõigi reisimärkmete kirevusele, kuid jutustuse esimese poole märgatava hajutatuse põhjus on sügavam.

Näib, nagu jutustus relatiivsusteooria füüsikalistest ideedest tulnuks eraldada kõigest ülejäänust: ekskursioonist Aragatsile kui elementaarosakeste looduskaitsealale ja ekskursioonist Dubnasse kui kunstlikult valmistatavate «mateeria algaluste» tehasesse, alkeemia ja eetriga seotud mälestustest, arvukaist kõrvalepõikeist mitmesse suunda... Võib-olla poleks üldse maksnud vedada lugejat enda järel mööda lava, kus on etendunud ja etenduvad dramaatilised sündmused eksperimentaatorite elus. On ju peamine selles osas siiski jutustus, kuidas tekkisid kummalised ettekujutused maailmast, mida tõi kaasa Einsteini teoreetiline mõte. Niisuguste heterogeensete asjade ühenduses, millega on täidetud eelnevad leheküljed, poleks nagu midagi kohustuslikku...

See on tõde. Kuid puhtpedagoogiline õpikutõde. Mel pole aga vähimatki soovi koolmeistrit mängida. Ja mul pole õigustki niisugusele kõrgele osale. See on teadlaste ja kooliõpetajate kutsumus. Tahtsin hoopis midagi muud, tahtsin vabas jutustuses avada kaasaegsest teadusest eemalseisvate lugejate ees lapikese (kas või lapikese!) sel-

lest tormisest merest, kus purjetab kaasaegsete uurijate — teoreetikute ja eksperimentaatorite — otsiv mõte. Mere terviklikkus aga peitubki lainete ja voolude mitmesuunalisuses.

See on ainuke oluline õigustus, mis autoril varuks on.

Nüüd ootab aga järjekorda elektron. Ja koos temaga kvantmehhaanika, mikromaailma mehhaanika hämmastavad ideed. Võib-olla veel hämmastavamad, veel kummalisemad ideed kui need, millega meid tahtmatult sundis tutvuma footon. Ent koos relatiivsusteooria «veidrustega» on need ideed peamised tänapäeva inimese füüsikalises maailmakäsitluses.

Teine osa

ESIMENE PEATÜKK

- Röntgen ei tunnusta elektroni.
- Kas rumalus või arukus?
- «Nüüd ma tean, kuidas näeb välja aatom!»
- Pool tundi pärast tuuma sündimist.
- See oli uskumatu...
- Rutherfordi mõttekaimus.
- Füüsikuil polnud valikut.
- «Hukkamõistetud aatomi» päästmine.
- «Miks teil on roheline hääl?»
- Suurmeeste meeleheide.
- Looduse ühtsus.

Müncheni ülikooli füüsika instituudi elus olid aastad, mil seal ei lubatud lausuda sõna «elektron».

Kord sõnas Luther vihases jutluses Koperniku kohta: «Üks lollpea tahab kogu täheteaduse kunsti pea peale pöörata...»

Ehkki sajandid lähevad, muutub kirik vähe. See on ka loomulik: ta teeb näo, et tema valduses on «igavesed tõed». Ja kui meie sajandil satuks elektron «kogu klassikalise füüsikakunsti pea peale pööramise pärast» kirikuvande alla, siis ei imestaks selle üle keegi. Kuid siis ei saaks ka sellest uskumatust loost jutustada: see polekski uskumatu.

Ei, seekord polnud tegu Lutheri või Rooma paavsti mõttekaaslastega.

Keelajaks oli Röntgen!

Ja-jah, Wilhelm Konrad Röntgen. See on seda käsitamatum, et tema avastatud kiirguse tekitavad just nimelt ained pidurduvad elektronid. Kuid kõige hämmastavamad Röntgeni keelus pole mitte suure füüsiku kahtlused, vaid tõik, et keeld kehtis aastaid, isegi terve aastakümne. Ja millise aastakümne!

Eri perioodidel teaduse ajaloos nagu ka erineva kiirusega kehadel on «omaaeg». Tuleb meeles pidada, et sajandivahetusel kujutas iga aasta füüsika ajaloos tervet ajastut. Röntgenikiired... Radioaktiivsus... Raadio... Kvandid... Relatiivsusteooria... Ja nende saavutuste reas — elektroni avastamine.

See oli väljapaistva teadlase teene, keda paljud kaasaegsed — nii lähedased kui ka kauged — nimetasid lihtsalt südamliku nimega Dž'i-Džii. Joseph John Thomson avastas elektroni. (Muide oli ta Inglismaal esimene, kes vääriliselt hindas Uus-Meremaa nooruki, aatomituuma tulevase avastaja Ernest Rutherfordi võimeid, kui see 1895. aastal teiselt poolt ookeani vanasse ülikoolilinna Cambridge'i saabus, kus Thomson oli professoriks ja Cavendishi laboratooriumi juhatajaks.)

Akadeemik Kapitsa annab kaastöötajaile nõu mitte tuhnida raamatukogu riiulitel, kui on vaja otsida teid uute probleemide lahendamiseks. Tuleb püüda ise leida õige tee ja alles pärast seda uurida kirjandust antud küsimuse kohta. Sellist nõu kuulevad õpilased õpetajailt harva. Kapitsa kuulis seda Rutherfordilt, Rutherford Thomsonilt.

See on «iseseisvuse seadus», mis aitaski Džii-Džiil 1897. aastal korraldada ümberlükkamatu ja lihtsa katse: seadmes, mis kaudselt meenutas tänapäeva Wilsoni udukambrit, langesid nähtavatesse udupiisakestesse rüütatud elektrilaengud gravitatsioonivälja mõjul hõreda pilvena allapoole. Thomson oleks nagu juba suutnud elektrone l o e n d a d a!

Siis kujutlesid füüsikud neid veel laetud kerakestena. Ja tol suurepärasel aastakümnel määrasid eri maade eksperimentaatorid üksteisest sõltumatult, erinevate meetoditega nii iga kerakese laengu ja massi suhte kui ka laengu enda. Kõik said küll erinevaid, kuid väga lähedasi suurusi. Kas võis veel kahelda elektroni olemasolus? Teadlased arvutasid välja ka selle võimaliku, muidugi mitte rangelt täpse raadiuse: ligikaudu $3 \cdot 10^{-13}$ — kolm

kümnetriljondikku sentimeetrit! Füüsikud andsid hinnangu kõige väiksema «asja» tõenäolistele mõõtmetele, millega looduseuurijail seni tegemist oli olnud.

Sellest ajast on möödunud juba rohkem kui pool meie teravapilgulisest XX sajandist, aga väiksemat laengut kui elektronil pole õnnestunud leida.*

Ja väiksemat seisumassi samuti mitte. Muidugi, valgusosakesed — footonid — ei tule arvesse. Nagu mäletame, ei oska nad paigal seista ja neil pole üldse seda puutumatut massivaru, mis teistel mateeriaosakestel säilib kõigis olekutes, ükskõik kas nad liiguvad või seisavad... Elektronil on niisugune puutumatu varu olemas, nagu see on ka prootoneil, neutroneil, mesoneil. Ning meie sajandi kuuekümne aasta kestel pole füüsikud avastanud ühtki mateeria algaluste teisendit väiksema seisumassiga kui elektronil.

Elektron on kõige kergem.

Tollal, sajandivahetusel, ei aimanud füüsikud, et aja jooksul avastatakse veel kümneid teisi elementaarosakesi. Sellist terminitki polnud teaduslikes sõnastikes. Elektroni ei nimetatud elementaarosakeseks, vaid ainult elektriaatomiks või üksiklaenguks. Ning ta osutus senitundmatu, subatomaarse maailma esimeseks esindajaks, esimeseks teadustajaks, kelle häält füüsikud selgelt kuulsid. Ja juhtus nii, et kõige väiksem avastati kõige enne!

Kuid kas on põhjust selle üle imestada? Elektronide väiksus võimaldas neil muutuda ökonoomse looduse kõige massilisemaks tooteks, esmajärguliseks tarbeesemeks tema toimekas elu-olus. Elektronide kergus tingis nende väsimatu liikuvuse, aga laeng nii tillukese massi juures andis neile väsimatu aktiivsuse. Mõlemad omadused aitasid neil

* 1964. aastal ilmus mikromaailma füüsikasse (vist esmakordselt) hüpotees, mille kohaselt võib olla elementaarosakesi, mille laeng on murdosa — $^1/_3$ ja $^2/_3$ — elektroni laengust. Selle hüpoteesi autorid teoreetikud Gell-Mann ja Zweig püüdsid niisuguste ebatavaliste «algaluste» kolmiku abil seletada avastatud raskete osakeste kirevat pilti. Põhikolmiku nimetas Gell-Mann kvarkideks. Need on tõesti elementaarsed. Ülejäänud osakesed on neist ehitatud. Seni (1966. aasta alguseks) pole õnnestunud kvarkide olemasolu eksperimentaalselt avastada. Väärib tähelepanu, et nende nimetus väljendaks just nagu autorite skeptilist suhtumist oma teoreetilisse avastusse: sõna «kvark» leidis Gell-Mann ühest James Joyce'i romaanist, kus see tähistas kimääre, kes ilmuvad peakangelasele hallutsinatsioonide ajal. Füüsikud jätkavad energiliselt kvarkide otsimist.

saada osavõtjaiks peaaegu kõigist makro- ja mikromaailmas toimuvatest füüsikalistest sündmustest.

Loodus pole elektrone ümbritsenud mitte mingite väliste tõketega: ta pole neid peitnud aatomi sügavusse, aatomituumade sisemusse. Nad on alati pealetükkivalt pendeldanud otse eksperimentaatorite silme ees. Ainult nende väiksus maskeeris elektri jagunevust; on ju teaduse ja tehnika keeles seniajani kujundeid, mis meenutavad aega, mil elektrist kõneldi nagu mõnest katkematust vedelikust: «elektrivool», «võimenduskaskaadid», «laengute laialivoolamine»... Kuid juba Franklin, kes välke piksevardasse püüdis, paljastas 1750. aastal maskeeringu. «Elektri mateeria koosneb ülipeentest osakestest,» ütles ta veendunult. Samal ajal, kaks sajandit tagasi, jõudis Lomonossov soojuse loomuse üle mõtiskledes samasuguse atomistliku ennustuseni.

Kui J. J. Thomson tõestas elektriaatomite olemasolu, nimetas ta neid «corpuscles» (nii näeb inglise keeles välja meile tuttav sõna «korpuskulid»). Kuid see oli juba üleliigne: kuus aastat varem oli füüsik Johnston Stoney üksiklaengu varmalt e l e k t r o n i k s nimetanud. Ja sõna «elektron» tuli kohe ning alatiseks rahvusvahelisse teaduslikku sõnavarasse, nagu oleksid kogu maailma füüsikud aina oodanud tundi, mil see lõpuks lausutakse, — ning nende ootus jõudis lõpule.

... Aga Wilhelm Konrad Röntgen, inimene, kes oli teinud suure avastuse, uurija, kes tema õpilase ja kaastöölise akadeemik Abram Fjodorovitš Joffe sõnade järgi «rohkem kui keegi teine kaasaegsetest aitas kaasa meie sajandi uue füüsika, elementaarprotsesside ja elektroonsete nähtuste füüsika loomisele», ei uskunud elektroni enda reaalsusse. Oli jonnakas oma uskmatuses: ei uskunud, hoolimata silmanähtavusest, vaatamata enamiku väljapaistvate teadusekolleegide veendumusele, jättes tähele panemata omaenda õpilaste ümberlükkamatud argumendid.

Isegi vana ja uue tavalises ja igaveses võitluses täis ootamatuid sündmusi on elektroni ärakeelamine Röntgeni poolt hulgaks aastateks erakordne juhtum.

Kuidas seda seletada?

● Võiks luua kollektsiooni «geeniuste veidrused». Schiller töötas, jalad veekausis. Tolstoi ei tunnustanud Shakespeare'i. Vermeer varjas, et ta on kunstnik... Võib-olla

oli elektronide umbusaldamine lihtsalt Röntgeni kapriis? Kuid siis peaks selle vastu huvi tundma ainult teadlase elulookirjeldaja, mitte aga meie, keda huvitab kõigepealt esimese elementaarosakese biograafia.

Muidugi on Müncheni-lool Röntgeni isiksuse pitser. Siin on tunda tugeva iseloomu järeleandmatust, sõltumatust ja isegi karmust.

Röntgen ei osanud reeta oma põhimõtteid, ei teaduslikke ega moraalseid. Esimese maailmasõja lõpuaastail, kui Saksamaa nälgis, saatsid sõbrad Hollandist vananevale teadlasele võid ja suhkrut. Ent ta pidas isiklikku heaolu üldise viletsuse keskel ebaväärikaks ja ehkki oli alatoitlusest jõuetu, andis ta siiski Hollandist saabunud toiduained ühiskondlikuks jaotamiseks. Alles siis, kui lugu läks päris halvaks ning teda ähvardas surm, nõustus ta lisatoiduga. Enda ja teiste jaoks olid tal ühesugused käitumisnormid. Ta pidas teaduslikult väärtuslikeks ainult soliidseid, täiesti lõpuleviidud töid. Seepärast tegi ta testamendis korralduse, et tema enda lõpetamata tööd pärast tema surma põletataks. Röntgeni tahe viidi täide. Selle range karmuse tules põlesid ära ka Joffe lõpetamata tööd, mida ta oli alustanud koos oma õpetajaga.

Ei, kapriise sel järjekindlal ja rangel inimesel ei olnud. Elektroniga leppida ei lasknud mitte põikpäisus, vaid teaduslik maailmakäsitus. Aga iseloomujooned, mis andsid tema kõlbelisele palgele raudse terviklikkuse ja pisut hirmutava ilu, vajutasid sellele maailmakäsitusele ainult askeetliku sallimatuse pitseri. Seepärast sai mittetunnustamisest keeld.

Tõsi, Röntgenil oli ka isiklik põhjus, et elektronisse umbusklikult suhtuda. Thomsoni avastuse pooldajate hulgas oli omal ajal tuntud füüsik, kelle nime neil lehekülgedel juba mainiti — Lenard. Röntgen ei saanud ega tahtnud teda usaldada. Lenard unistas, et kiiri nimetataks Lenardi, mitte röntgenikiirteks*. Tal oli selleks ainult üks õigustus: ka tema o l e k s v õ i n u d need oma katseis avastada. Ja see oli õige: oleks võinud ... Kuid ei avastanud! Ei kuulnud ega mõistnud looduse vaikset häält. Võib kergesti kujutleda, mida tähendas äraostmatult

* Muide, tagasihoidlik Röntgen ise nimetas neid ainult x-kiirteks.

ausale Röntgenile, kui teda süüdistati peaaegu et plagieerimises. Lenardi nimi muutus talle kõige halva ja ebapuhta sünonüümiks teaduses. See vari langes ka elektronile... Mis aga puutub Lenardisse, siis hindas Röntgen kaasmaalast õigesti. Hulk aastaid hiljem sai Lenardist tavaline fašist: tema oli see, kes organiseeris Einsteini jälitamist ja nimetas relatiivsusteooriat «juudi vigureiks». Alatu tegu ei jää nähtavasti juhuslikuks ega üksikuks. Lenardi püüded ei osutunud asjatuks. 30-ndate ja 40-ndate aastate fašistlikus füüsikaalases kirjanduses (ja-jah, selline kirjandus oli olemas!) nimetati röntgenikiired siiski ümber «Lenardi kiirteks». Röntgenit polnud enam elavate hulgas, muidu oleks ta öelnud: «Seda oli ette näha...»

Elektroni ärakeelamine Röntgeni poolt on traagiline. Kogu lugu on selles, et Röntgeni füüsikaline maailmavaade ei sobinud sellesse ajajärku füüsika ajaloos, mille algatajaks ta ise tahtmatult oli. Tema avastus kuulus tulevikku, teaduslikud põhimõtted aga minevikku. Peterburi Tehnoloogia Instituudi lõpetanud Joffe polnud veel kahekümne kolme aastanegi, kui ta ilmus Münchenisse, ustavana füüsika uutele ideedele. Saanud Röntgeni õpilaseks, astus ta noorusliku otsustavusega keelust üle: ta hakkas igapäevastes vestlustes õpetajaga «elektroni eest võitlema». Ta vaidles vastu Röntgeni veendumusele, et elektriaatom on «tõestamata hüpotees, mida kasutatakse tihti küllaldase aluseta ja vajaduseta».

Vajaduseta! See oligi peamine — vajaduseta! Vana kooli teadlaste kujutluses võis füüsikalist maailmapilti joonistada ja lõpetada ilma sellise üksikasjata nagu elektron. Igal juhul saadi selleta veel läbi. Meil on seda praegu raske mõista, kuid proovigem.

Üle kahe tuhande aasta tagasi vaidlesid taoliste asjade üle juba Platoni kangelased tema kuulsates «Dialoogides».

«Kui me tahame tegelda astronoomiaga,» ütles Timeos, «siis ei ole meil tarvis huvi tunda taevakehade vastu!»

Kas rumalus? Ei, pigem tarkus. Sunnitud tarkus! Loobumine otsinguist, mis ei võinud kuhugi viia. Vaadelda sai ainult taevakehade liikumist, mitte aga neid endid, kaugeid ja kättesaamatuid. Ülesande piiramine oli lohutuseks abituses. Kuid niisugune piiramine muutis astronoomia teaduseks, mis sajandite vältel üha täpsemalt

uuris välja taevaste valguskehade liikumise seadused. Nagu inimkond ise, nii seadis ja seab tõeline teadus endale ainult põhimõtteliselt kättesaadavaid eesmärke.

Taevakehade mehhaanika seadused ei nõudnud mingeid andmeid liikuvate kehade endi sisemise korralduse kohta. Nende vahel toimivatele jõududele on täiesti ükskõik, kas Marsil leidub elanikke või Kuul vulkaane. Isegi gravitatsioonijõudude olemus ei ole planeetide ja tähtede liikumise kirjeldamiseks oluline. Kui ainult teaks, millise seaduse järgi muutub nende jõudude suurus! Kas mäletate Newtoni ütlust «Hüpoteese ma ei püstita»?

Klassikalise mehhaanika võimsus näib imena: see arvestas ülitäpselt välja massi võimalikud liikumised ajas ja ruumis, teadmata absoluutselt mitte midagi massist, ajast ega ruumist. Ta tundis huvi ainult esimese, teise ja kolmanda k v a n t i t e e d i — grammide, sekundite, sentimeetrite vastu. See oli abstraktsiooni ime, mis meenutab algebra imet, kus võrrandeisse kirjutatakse igasuguseid *a*-sid ja *b*-sid, *x*-e ja *y*-eid, tundmata vähimatki huvi, kas need on saapad või tähed, abstraktsed arvud või inimsaatused. «Punapäine poiss jõi kahe sekundiga ära kolm ookeani, mitu ookeani joob ta ära poole tunniga?» Matemaatik ainult naeratab niisugust mõttetut ülesannet kuuldes («mispärast punapäine?»), kuid lahendab selle otsekohe eksimatult.

Kas on võimalik veatult lahendada mõttetust? On võimalik, sest mõttetus on siin füüsikaline. Kuid just seda matemaatiku käest ei küsita, temalt küsitakse ainult kvantiteetide seost, arvudel pole aga midagi tegemist sellega, mis nende taga on. Kuidas punapäine poiss kahe kolmandiku sekundiga Atlandi ookeani ära jõi ja milleks tal seda tarvis oli, seda matemaatik ei tea ega pole kohustatudki teadma! See pole tema mure ja tema teaduse võimas aparaat pole loodud s e l l i s t e l e küsimustele vastamiseks.

Keskkooli vanemais klassides oli meil kõigil nii kerge meelde jätta Coulomb'i seadust kahe elektrilaengu vastasmõju kohta: see oli täpne koopia Newtoni seadusest kahe massi vastasmõju kohta, aga Newtoni võtsime, nagu kogu inimkond, «läbi juba siis, kui me väikesed olime . . . »

Klassikaline elektriteooria sai haripunktil — XIX sajandi teisel poolel — niisama võimsaks kui klassikaline mehhaanika. See kirjeldas suurepäraselt elektrinähtusi:

laengute liikumist, lainete levikut ja isegi mõnd keerukamat nähtust. Kuid nii nagu astronoomial ei maksnud «taevakehade vastu huvi tunda», nii ei pidanud see teooria vajalikuks tungida laengute olemusse. Need muidugi huvitasid teda, ent mitte rohkem kui mass mehhaanikat.

Kuid loodusele on võõras teda uurivate teaduste piiratus, iga kord just ajalooline piiratus! Igas eksperimendis annab ta vastuse mitte ainult neile küsimustele, mida teadlased talle omal valikul esitavad. Nad küsivad alati ühtainsat asja, aga tema, vastates valju häälega peamisele küsimusele, teatab poolihääli ka palju ootamatut, mida ei näita see füüsikaline maailmapilt, mille teadlane ja tema teadus katse hetkeks on loonud.

Tuleb märgata looduse ebaselgeid vihjeid, mil ta lobiseb välja hoopis teisi saladusi kui need, mida uurija kavatses teada saada. See õnnestub harva, kuid just nii tehakse juhuslikke avastusi. Mõned neist osutuvad ajalooliselt enneaegseiks, mõned aga viivad füüsikalise maailmapildi ootamatu, kuid mitte juhusliku avardumiseni.

Nii avastas Becquerel ettekavatsematult radioaktiivsuse, oodates uraanisooladelt vastust hoopis teisele küsimusele: kas nad helendavad pärast seda, kui on saanud päikesekiirgust. Selgus, et nad selletagi valgustavad pimeduses fotoplaati mingisuguste omaenda kiirtega. Ise seda aimamata, avastas Becquerel subatomaarse keeruka maailma, millele varem, endises klassikalises maailmapildis polnud kohta.

Kuid klassikud, nende hulgas ka lord Kelvin, püüdsid uut kohe vana moodi seletada ja seda kas või mõttetute oletuste hinnaga, et aga jääks terveks palju kordi läbiproovitud elektromagnetiliste nähtuste pilt. Uraani aatomid proklameeris kuulus Kelvin mingiks eriliseks saladuslikuks lõksuks elektromagnetiliste lainete jaoks: kui nad lõksust välja pääsevad, siis uraan kiirgab.

Niisugune on inimteadvuse kaitserefleks: ta sisendab ideedele just nagu meelega midagi enesealalhoiuinstinktitaolist. Sellest instinktist on raske üle saada. Ainult see hämmastab meid ikka, et ka kõige erakordsemad mõistused kannatavad sama haiguse all. Muide, võib-olla seletub vananevate kultuurihiiglaste konservatism just asjaoluga, et nad on ise loonud selle, millest ajalugu hiljem soovitab neil loobuda. Nähtavasti on selline loobumine kahekordselt raske.

Nii avastas ka Röntgen ootamatult ja etteaimamatult oma kiired. Peene eksperimentaatori absoluutne kuulmine aitas tal tabada looduse tasast sosinat: ta uuris elektrilaengut hõrendatud gaasiga torudes, uuris nähtavaid ja kergesti märgatavaid füüsikalisi protsesse, kuid pööras vähe tähelepanu nähtamatuile kiirtele, mis hääletult väljusid kaetud aparaadi seintest. Ise seda aimamata avastas Röntgen elektronide ja aatomituumade vastasmõjude keeruka maailma. Sellelgi maailmal polnud kohta endises liikuva mateeria pildis.

Just nagu ette aimates, et elektronile on määratud «pea peale pöörata kogu klassikalise füüsikateaduse kunst», ei tahtnud Röntgen temast kaua aega kuuldagi... Meie akadeemik Igor Jevgenjevitš Tamm tähendas kord, et Einstein pidas elektroni ikka «võõramaalaseks klassikalise elektrodünaamika riigis». Nii mõtles ka Röntgen. Kuid Einsteini see rõõmustas, Röntgeni aga ajas segadusse. Alles kümme aastat pärast J. J. Thomsoni esimesi töid sundisid uue füüsika edusammud järeleandmatult klassikut vanadest kujutlustest loobuma.

1907. aastal keeld tühistati. Joffe jäi hulk aastaid kestnud vaidluses siiski võitjaks ja «elektron sai Münchenis kodanikuõigused», mis talle juba kõikjal jäägitult kuulusid.

● Elektron ja footon olid esimesed mateeria elementaarosakesed, mida inimesed tundma õppisid. Koos avasid nad XX sajandi, loodusteaduse pöörase, hoogsa sajandi.

Elektroni biograafia on palju lühem kui kahesajandiline, juba Newtoni päevil alanud valguskorpuskulite ajalugu. Ent tormilisi sündmusi on selles eluloos veel rohkem, egas ta asjatult tervenisti XX sajandisse kuulu. Valgusosakese ja elektriaatomi saatused on kaasaegses füüsikas lahutamatud: nad kõndisid käsikäes võitluses uue füüsikalise maailmapildi eest.

Ent nende liit küpses juba vana füüsika põues, mil teadlased ei teadnud midagi ei elektronist ega footonist, kui nende vaimusilma ees hõljus ainult «tundmatu elektri tundmatu laeng tundmatus eetris», nagu ütles Lenin. Mäletate, valgust kujutlesid nad eetri vibratsioonina, mida tekitavad laengute võnkumised... Teisiti öeldes, elekter ja valgus said juba tollal sugulasteks. Uued ideed ja tead-

mised ei ilmu teadusse äkitselt. Kõik valmistatakse vargsi ette, kõik küpseb ja ootab oma tundi.

Elektroni avastamisega jõudis kätte aatomi tund.

Algul ei aimanud keegi, milline suur ideede lahing puhkeb tillukesel aatomitandril. See kestab tänapäevalgi. Ja selle ette ei saa enam kunagi eesriiet langetada. Esmakordselt kerkis eesriie aga nõnda...

Kuigi juba ammu oletati, et aatomid on jagatavad ja kujutavad endast keerukaid maailmu, ei teadnud füüsikud siiski ühtki detaili, millest loodus neid konstrueerida oleks võinud. Ja siis ilmus elektron.

Muidugi oli igaühele selge, et ainult negatiivse laenguga elektronidest ei suudaks isegi kõikvõimas loodus neutraalseid aatomeid luua. Kuid et ta selleks otstarbeks elektrone kasutas, selles polnud kahtlust: elektrone vabanes ioniseerimisel kõigist kehadest, nad lendasid radioaktiivsete elementide lagunemisel välja beetakiirte kujul, nad olid kõikjal, kus leidus ainet. Ja seepärast algas elektroni avastamise hetkest füüsikute hoogne konstrueerimistöö reaalse aatomi usutava mudeli loomiseks.

Füüsikud tundsid end just nagu vanajumala abilistena: see oli vabal hetkel otsustanud meisterdada materiaalse maailma, ent suhtudes loodusteadustesse endise vastumeelsusega, ei tahtnud ta jännata niisuguse pisiasjaga nagu aatom ja usaldas kogu töö nende, eriteadlaste hooleks. Lausa stseen Jean Effeli jaoks.

«Issand,» ütlesid füüsikud, «sa ei ole meile seni ju midagi peale elektronide andnud!»

«Aga mida teile veel tarvis on, mu lapsed? Ärge ainult kaevake minu äraseletamata teede pärast! Filosoofidest valutab mu pea juba kolm tuhat aastat...»

«Meil samuti,» naeratasid füüsikud.

«Asugem tööle!» ütles paljasjalgne habemik asjalikult.

«Anna meile ükskõik milliseid positiivse laenguga osakesi, issand! Muidu ei tule aatom neutraalne. Ja kas või paargi uut seadust...» ütlesid füüsikud lootusrikkalt.

«Võib-olla dikteeriksite, taevaisa.»

Kuid kõikvõimas vastas oma võimetuse varjamiseks:

«Milleks siis teie mul olete?»

Ja füüsikud lahkusid iseenda hooleks jäetutena.

Nad olid kavalad: esimeste aatomimudelite juures polnud neil üldse tarvis teada, «kuidas näeb välja» looduse poolt aatomite loomiseks kasutatud positiivne detail.

Piisas veendumusest, et ta on seal kindlasti olemas, et peale elektronide on aatomis ka plussmärgiga laengud. Ja uutest seadustest oli vara rääkida: enne tuli veendumusele jõuda, et vanad siia ei sobi.

Meie sajandi esimesel aastakümnel arutasid füüsikud läbi palju aatomimudeleid. Tõsiselt alustas seda konstrueerimistööd elektroni avastaja J. J. Thomson ise, põhimõtteliselt aga lõpetas Ernest Rutherford.

Rutherfordi planetaarne mudel — Päike-tuum ja planeedid-elektronid — kordas nii kujukalt päikesesüsteemi ehitust, nägi välja nii loomulik, ilus ja lihtne, et võitis kohe kaasaegsete südamed. Nimelt südamelt — kaasaegsete, sest päris meie sajandi algusest peale muutus huvi aatomite saladusliku ehituse vastu üleüldiseks. Kõik tahtsid, et see ehitus oleks jõukohane iga sureliku mõistusele ja kujutlusele, et aatomeid saaks lihtsalt j o o n i s t a d a, et neist oleks võimalik kõnelda mitte ainult teaduse šifreeritud keeles.

Rutherfordi mudel paistis just niisugusena, nagu kõigile meeldis: sarnasus päikesesüsteemiga alistas kõiki. Ja päevast, mil seda mudelit 1911. aasta mais inglise «Filosoofia ajakirjas» esmakordselt kirjeldati, rändavad aatomeid kujutavad selged joonised juba pool sajandit peaaegu muutumatult ühest raamatust teise, pühendades igas elueas ja igasuguse elukutsega inimesi mikromaailma saladustesse. Ja igaühes kutsuvad need näitlikud aatomikujutused esile erilise rahulolutunde, mida tajutakse alati, kui tõde ilma raskete jõupingutusteta omaseks muutub. Pole ju naljaasi — aatom! Aga vaadake, meie näeme kõik ja paistab, et saame ka aru. Kuid aatomifüüsika möödunud hiilgava poolsajandi vältel pole füüsikast kauged lugejad aimanud ega aimagi, et tillukese päikesesüsteemiga niivõrd sarnane Rutherfordi aatom ei võiks sekunditki püsida, kui ta tõepoolest selline oleks!

Ent aatomid on olemas. Nad on püsivad. Nii püsivad, et nende elu ei kesta reeglina mitte sekundi murdosi, vaid pigem igaviku murdosi, palju miljardeid aastaid. Sellest annab tunnistust kas või maakera kujuteldamatult pikk geoloogiline ajalugu. Välismõjude eest kaitstuna võib iga aatom eksisteerida tähtajatult. Tähtajatult — see tähendab senikaua, kuni tema positiivselt laetud tuum on terve ja vigastamata.

Kuid Rutherfordi mudel kajastas ju mikromaailma tõde? Füüsikute keskel võitis ta tunnustuse mitte kauni lihtsuse ja kujukuse pärast, mitte välise sarnasuse pärast päikesesüsteemi mõistetava ehitusega. Ei, ta selgitas paljusid tähtsaid aatomite omadusi, nende käitumist. Ja Rutherford ei mõtelnud mudelit välja lihtsalt niisama, heast peast, vaid oli s u n n i t u d selleni jõudma.

Sunnitud? Paistab ebasobiva sõnana, kui jutt on tõeotsinguist. Tõeni jõudmist kujutleme alati rõõmustava sündmusena: siin ta on, kauaoodatu, — lõpuks ometi võib kergendatult ohata ja laubalt higi pühkida.

Rutherford oli tõepoolest suurepärases tujus, kui tà kord üheteistkümnenda aasta talvel astus laboratooriumituppa, kus töötas tema õpilane Hans Geiger, ja kuulutas kõuehäälega: «Nüüd ma tean, kuidas näeb välja aatom!» Ent ta ei pühkinud laubalt higi, Geiger aga hakkas just sellest päevast «töötama nagu ori» tema õpetaja väljenduse järgi, mida me eespool juba kasutasime. Oli vaja lõplikult veendumusele jõuda tões, et aatomi keskel on väike tuum (Päike), mis sisaldab kogu positiivse laengu ja peaaegu kogu aatomimassi, selle ümber aga tiirlevad kaugetel orbiitidel negatiivsed elektronid (planeedid). Tões oli tarvis sada korda veendumusele jõuda, sest see oli uskumatu.

Selge, piltlikult selge — ja uskumatu.

● Üks otsustava tähtsusega avastus aatomifüüsikas tehti väga lihtsal seadmel. Tõsi, selles oli kaks hinnalist detaili: raadiumipreparaat ja kullast leheke. Kuid nende hinnalisus polnud füüsika süü.

Raadiumi kiiratud alfaosakesed pommitasid kuldlehekest. Ühed läbisid selle nagu tühjuse, riivamata kulla aatomeid. Teised kaldusid kõrvale ja hajusid mitmesuguste nurkade all. Pimeduses vilkusid tsinksulfiidist ekraanil nõrgad sähvatused ja iga sähvatus, ükskõik kus ekraan ka asus, kinnitas üht ja sama: «Siia lendas peegeldunud alfaosake.» Ekraan oli seadme kolmandaks põhidetailiks. Seade oli tõepoolest haruldaselt lihtne.

Mõnikord pöördusid alfaosakesed peaaegu samas suunas tagasi. Selliseid osakesi esines vähe, kuid neid kahtlemata oli.

Kaastöötajad tulid laboratooriumi varakult, et silmad harjuksid pimedusega: nende peamure oli sähvatuste

loendamine. Sel ajal jõid füüsikud järjekordse katse ootel teed ja kuulasid Rutherfordi juttu tühjast-tähjast. Ei midagi pidulikku, ei midagi, mis meenutaks ajaloolise avastuse erutatud eelaimust... See-eest kõneles Rutherfordi õpilane Charles Darwin, suure Darwini pojapoeg, peaaegu kolmkümmend aastat hiljem oma elu suurepäraseimast sündmusest, sellest, et tal oli õnn «pool tundi pärast aatomituuma sündi» viibida oma õpetaja majas Manchesteris.

Aga tuuma sünd viis sisuliselt selleni, et Rutherford mõistis äkki, miks mõned alfaosakesed tagasi pöörduvad, just nagu tõukaksid kulla aatomid neid endast eemale. Muide, ta ei taibanud seda sugugi nii hetkeliselt.

Hiljem jutustas ta, kuidas need õhukeselt kuldlehelt tagasipõrkunud hiiglasuure kiirusega lendavad alfaosakesed tema kujutlust rabasid: see oli tema sõnade järgi niisama fantastiliselt mõistmatu kui kuuli põrkamine paberist märklaualt tagasi püssi juurde.

Kuid äkki meenus teadlasele miski, mida ta oli lugenud komeetide kohta. «Võib-olla,» arutles ta, «lendavad need alfaosakesed vastutulevast aatomist mööda nagu hoogsad komeedid Päikesest?» Meie valguskeha võimsa külgetõmbejõu mõjul liiguvad komeedid kaares ümber tema ega kao maailmaruumi, vaid ilmuvad uuesti «siiapoole» Päikest. Nad pöörduvad tagasi.

Kuid miks tõmbab siis kulla aatom ligi lähedusest möödalendavat alfaosakest? Gravitatsioonijõud nende tühiste masside vahel on selleks liiga väikesed. Küllap mõjuvad nende kehade vahel elektrilised külgetõmbejõud. Alfaosakese laeng on positiivne — selle tegi sajandi algul kindlaks Rutherford ise. Tähendab, tuleb tunnistada, et kulla aatom on laetud negatiivselt. Kuid niisama kindlalt ja märksa varem oli selgeks tehtud, et iga aatom on neutraalne!

Võis muidugi lasta end meelitada meile nii hästi tuttavast naiivsest mehhaanilisest pildist: väike kõva kera põrkab vastu suuremat ja lendab tagasi. Matemaatiliselt võis just niiviisi katsuda kirjeldada kergete alfaosakeste hajumist rasketelt kulla aatomitelt. Kuid füüsikaliselt oli juba selge, et mitte mingisuguseid kõvu kerakesi pole olemas: aatomid on keerukad maailmad, aga mitte mateeriast nagu taignast veeretatud «ümmargused esemed».

«Mis siis, kui tagasipöörduv alfaosake ei lenda mitte

lihtsalt aatomi lähedusest mööda, vaid tungib aatomiruumi nagu komeet päikesesüsteemi piiridesse?» arutles ta.

Komeet «ei tunne» ju tavaliselt oma lennul suhteliselt väikeste planeetide mõju. Tema tee määrab kindlaks ainult päikesesüsteemi massiivse südamiku, Päikese enda külgetõmbejõud.

Küllap koosneb ka neutraalne aatom mittehomogeenseist osadest. Ehk on ta ehitatud selliselt, et positiivsed ja negatiivsed aatomid pole seal ühtlaselt segi, vaid neid lahutab suur vahemaa? Miks mitte oletada, et ühesuguse märgiga laengud on koondatud ühte kohta ja moodustavad külgetõmbava aatomipäikese, aga teise märgiga laengud liiguvad nagu aatomiplaneedid kuskil kaugemal? Siis ei ole aatom temasse tunginud alfaosakese jaoks enam neutraalne. Osake «tunneb» reaalselt aatomi südamiku laengut, niisamuti kui komeet «tunneb» Päikese massi.

Otsustades professor Yves'i sõnade järgi — ta oli Rutherfordi hea tuttav —, aitas just võrdlus komeediga luua kujutlust aatomituumast. Seda tavaliselt ei meenutata. Ning sellest on kahju: siin on imeselgelt näha, kuidas uute teaduslike ideede sünnist võtavad üheskoos osa nii range loogika kui ka poeetiline kujutlus. Nad pole vaenujalal, vaid aitavad teineteist.

Ime, et kuul põrkas märklaualt püssi juurde tagasi, kogu pilt, kuidas kuldleht hajutas alfaosakesi, viis mõttele: aatomi sisemuses on massiivne laetud tuum! Tuli veel kindlaks teha, kumma märgiga laengud on koondunud aatomiruumi südamikku. Ühteistkümnenda aasta mais teadis juba kogu teadusemaailm «Filosoof a ajakirjas» ilmunud artiklist, et tuum on positiivne, aga negatiivsed elektronid tiirlevad aatomi perifeerias.

Kuid veebruaris arvas Rutherford alles — ja kirjutas sellest kirjades —, et tuum on laetud negatiivse elektriga.

Ka seda ei meenutata tavaliselt. Ja samuti asjatult: siin on nii hästi näha, kuidas teadlast oma lihtsusega võitev piltlik võrdlus võib äkki ustavast teejuhist reeturiks muutuda. Nõudis ju positiivselt laetud alfaosakese võrdlemine komeediga, et tuum teda külge tõmbaks. Külge tõmbaks, mitte eemale tõukaks!

Tundmatu võrdlemine tuntuga ületas oma õiguspiirid. Ümber Päikese lendav komeet viis ummikusse. Tõepoo-

lest, kõikjal vilksatavad elektronid tõestasid veenvalt, et nad võtavad osa aatomite ehitamisest ja et aatomid loovutavad kõige kergemini just neid, nii nagu varisevad viljapead teri. Tähendab, needsamad negatiivselt laetud osakesed liiguvadki aatomi «päikesesüsteemi» ääremail. Kui aga aatomi südamik on samuti negatiivne, tuleb välja mõttetus. Ei, tuumalaeng peab olema plussmärgiga! Ent siis puruneski võrdlus külgetõmmatava komeediga.

Rutherfordi see ei kurvastanud: ta mõistis, et alfaosake võib tagasi pöörduda ka ilma kaareta vastutuleva aatomi ümber, vastupidi — selleni jõudmata võib ta tõukejõu mõjul tagasi põrgata. Arvestused näitasid, et see on niisama tõenäoline kui komeediga analoogiline külgetõmbumine. Rutherford aga ei jäänud enne rahule, kuni polnud laboratooriumilauale ehitanud suurt mudelit, mis kujutas positiivse alfaosakese tõukumist positiivsest aatomituumast.

Ta kinnitas laua külge suure magneti, põhjapoolusega ülespoole, selle kohale riputas pika punutud nööri otsas väikese magneti, põhjapoolusega allapoole. Kui see magnetpendel kõikus, tõukas suur magnet teda eemale täpselt nii, nagu Rutherfordil «oli tarvis».

Manchesteri laboratooriumi pimikus, kus avastati aatomituum, käis üheteistkümnendal aastal palju teadlasi eri maadest. Üks neist, suur jaapani füüsik Nagaoka, kirjutas Rutherfordile Tokiost: «Mulle näib geeniusena inimene, kes võib nii lihtsa seadmega töötada ja koguda seejuures ülimalt rikkaliku saagi, mis kaugelt ületab teiste poolt kõige tundlikumate ja keerulisemate konstruktsioonide abil saadu.»*

Nii sündis planetaarne aatom.

Ja siiski, ehkki Rutherfordi Manchesteri laboratooriumis valitses suurepärane meeleolu, ei vallandunud kelleltki kergendusohet.

Miks ometi? Miks nii selge ja piltlik Rutherfordi aatomimudel samal ajal ebatõenäoliseks osutus?

Ta sattus vastuollu klassikalise füüsikaga, selles oligi asi. Ja seda mõistsid Manchesteris kõik.

Mittefüüsikud mõtlesid just vastupidi: pärast Plancki

* See meenutab Helmholtzi tuntud sõnu Faraday kohta: «Ta näitas mulle kõike, mida tarvis. Kuid seda oli vähe, sest vanadest traadi-, puu- ja rauatükkidest piisab talle suurimate avastusteni jõudmiseks.»

«üle mõistuse käivat» kvantide hüpoteesi (1900) ja Einsteini relatiivsusteooriat (1905) näis, et klassikaline füüsika saavutas nüüd aatomitandril revanši. Sest planeedid liiguvad ümber Päikese Kepleri ja Newtoni avastatud seaduste järgi. Miks ei peaks siis elektronid ümber tuuma reisima nendesamade seaduste järgi? Kas see pole klassikalise mehhaanika võit?! Ja vaadake, kui mõistl k on loodus: suur ja väike on ühesuguse süsteemiga. Selline filosofeerimine meelitas. Ning meie sajandi kodukasvanud natuurfilosoofid sattusid muidugi hoogu.

Seejuures oli vastuolu klassikalise füüsikaga äärmiselt lihtne. Ja samal ajal saatuslik.

● Kui ma seda lehekülge kirjutasin, sooritas Maa järjekordne tehiskaaslane kuuendat tiiru. Tal oli veel küllalt jõudu ja ta tõendas endise veenvusega inimeste võimsust, kes allutasid Maa külgetõmbejõu oma tahtele. Kuid igaüks teadis, et tuleb tund, mil tehiskaaslase tiirlem ne katkeb, tema energia kulub vähehaaval vältimatule hõõrdumisele maakera atmosfääris ja Maa külgetõmbejõud saavutab võidu.

Sisuliselt on kogu tehiskaaslase lend aeglane langemine Maale: tema orbiidi ellips muutub üha ahtamaks — sputnik joonistab aheneva spiraali. Keerd keeru järel. Spiraali keskpunktis või õigemini fookuses on Maa. (Parem on öelda «fookuses», sest spiraal ei meenuta üldse kellavedru. Tema keerud on ellipsid. Ja need ellipsid muutuvad iga tiiruga mitte ainult kitsamaks, vaid ka piklikumaks. Tehiskaaslase langemiskõver on väga keeruline ja tal on tavalise spiraaljoonega väga vähe sarnasust, kuid ta on siiski spiraal. Meile on siin kõige tähtsam see, et atmosfääris pidurdunud sputnik langeb Maale ranges vastavuses klassikalise mehhaanika seadustega.)

Vastavalt nendele seadustele tiirlevad planeedid ümber Päikese mööda püsivaid orbiite. Nad lendavad praktiliselt ilma hõõrdumiseta: tee kulgeb läbi ruumi, kus peaaegu polegi ainet, ja võib kinnitada, et planeedid ei kaota energiat, mille kunagi omandasid.

Ja nüüd elektronid Rutherfordi aatomis. Tundub, et nad lendavad ümber tuuma veel soodsamates tingimustes kui planeedid, mille teele võib sattuda kosmilise gaasi osakesi. Elektronidele on hõõrdumine täiesti võõras: nad on ise ainsad aatomi elanikud. Nad aina tiirleksid ilma mingite

takistusteta ... Ideaalsed planeedid — ei mingeid energiakaotusi teel!

Kuid õnnetuseks peavad nad peale Kepleri-Newtoni seaduste kuuletuma ka klassikalisele elektriteooriale: nad on laetud osakesed. Seetõttu toimuvad nendega sündmused, mis peaksid nad planeetidest muutma langevateks tehiskaaslasteks, kui laengute liikumise klassikaline teooria kehtiks kõikjal ja alati.

See XIX sajandi lõpul loodud teooria kinnitas, et ükski liikuv laeng ei või karistamatult muuta oma kiirust ei suuruselt ega ka suunalt. Kuni ta oma jõuväljast ümbritsetuna sirgjooneliselt ja ühtlase kiirusega edasi lendab, seni järgneb jõuväli talle kuulekalt. Niipea aga, kui ta kõrvale pöörab, läheb väli «sassi». Laeng just nagu pritsiks pöördeil välja energiat: ta kiirgab seda! Aga piire, kus lõpeb laeng ja algab väli, pole: nad on ühtsed. Kiirates kaotab laeng liikumisenergiat. Tiirlemine — see on vahetpidamatud pöörded, pidev kiiruse muutumine. Kas taipate järeldusi?

Klassikalise teooria järgi oleksid elektronid pidanud Rutherfordi aatomis vahetpidamatult energiat kiirgama, teisiti öeldes, seda kaotama. Neil oleks muutunud järjest raskemaks vastu panna positiivselt laetud tuuma külgetõmbejõule. Orbiidid oleksid muutunud üha ahtamaks nagu tehiskaaslastel, mis samuti vahetpidamata kaotavad energiat, tõsi küll, mitte kiirguseks, vaid atmosfääri hõõrdumise ületamiseks. Elektronide tee muutuks, olgugi teisel põhjusel ja teise seaduse järgi, samuti spiraaliks, seekord täpselt vedrutaoliseks, ja nad kukuksid tuumale.

Aatom lakkaks olemast!

Kui vabad elektronid kaasaegsete ringkiirendajate karussellil kihutavad (radioaktiivsete elementide beetakiirguse auks nimetatakse selliseid elektronkiirendajaid beetatronideks), siis kiirgavad nad tõepoolest elektromagnetilisi laineid. Ja mida kiirem on karussell, seda tugevamini «tuiskab» väli, seda rohkem pritsitakse energiat laiali.

Muidugi toimub see ka Dubna prootonitega. Põhimõtteliselt pole siin mingit vahet: ka prootonid on laetud osakesed. Ainult seepärast, et nad on elektronidest peaaegu kaks tuhat korda raskemad, pole nende kiirguskaod esialgu nii märgatavad. Kuid ka siin on need kaod vältima-

tud. Ja kui osakesed ei tungi lõpuks Dubna sünkrofasotroni kiirenduskambri siseseintesse, siis ainult sellepärast, et elektrivälja vööndid varustavad neid korrapäraselt üha uute energiaportsjonitega.

Vähe sellest, et need portsjonid asendavad kiirguskadusid, nad võimaldavad osakestel veel enam suurendada tiirlemiskiirust. Kuid koos kiiruse kasvamisega kasvavad ka kaod. Ja kerge on mõista, et saabub moment, mil peaaegu kogu väljast tulev energia kulub kadude katteks. Siis osakesed ei kiirene enam... Nii muutub tahtmatu ja kasutu elektromagnetiliste lainete kiirgamine «karusselli pöördeil» lõpuks ületamatuks takistuseks laetud osakeste kiiruse suurendamisele valguse kiiruseni.

Kui jonnakas on loodus oma seadustes! Ta kasutab ära kõik, et takistada aineosakeste jõudmist ihaldatud piirini — valguse kiiruseni. Ta on mobiliseerinud selleks mitte ainult kehade massid, mitte ainult aja ja ruumi, vaid ka elektrilaengu omadused.

Ka Rutherfordi aatom on karussell, planeedikarussell. Kuid seal ei voola tiirlevatele elektronidele väljastpoolt juurde mitte mingisugust energiat. Ja seepärast mõistsid klassikalise teooria seadused need aatomielektronid vältimatule langemisele — täielikule ühtesulamisele tuumaga. «Hukkamõistetud aatom!» Nii oleksid pidanud Rutherfordi mudelit nimetama XIX sajandi klassikud.

● Ja ikkagi oli Rutherfordil õigus, kui ta ütles: «Nüüd ma tean, kuidas aatom välja näeb!» Tal oli julgust avalikult vastu astuda klassikalisele teooriale. Ja tema vaprus oli seda toredam, et tal polnud veel üldse ettekujutust, mil viisil hädast välja pääseda. Ta oli ainult kindel, et see õnnestub.

Teisel ajastul ja teist laadi teadlane oleks omaenda idee ees tõenäoliselt kartma löönud, kui üldtunnustatud teooria selle nii otsustavalt ja lihtsalt ümber lükkab. Kuid alles äsja oli lõppenud XX sajandi esimene aastakümme. Seda tähistasid niisugused sügavad revolutsioonid füüsikas, nagu kvantide hüpotees ja relatiivsusteooria. Novaatorluse vaim hõljus esimeste aatomiteadlaste laboratooriumides. Ja Rutherfordi vaprus oli loomulik nagu kindrali vaprus, kes tunnetab, et tema seljataga on ajaloo õiglus. Vähemalt paistab see julgus niisugusena täna, kaugelt, poole sajandi tagant, millal need ammused ideede võitluse üksik-

asjad teaduses mikromaailmast — kahtlused, vaidlused, pilked — on möödunud aja voolu poolt minema uhutud.

Kummaline mõelda, et 1910. aastal, kui «hukkamõistetud aatomi» idee juba Rutherfordi peas küpses ja ta selgelt kujutles eelseisvat konflikti klassikalise elektrodünaamikaga, ütles tuntud saksa teadlane Willi Wien ühes vestluses Rutherfordile irooniliselt: «Anglosaksid ei suuda mõista relatiivsusteooriat!»

Pidi ta selle kahtlase aforismi ka just Rutherfordile adresseerima ja täpselt siis, kui too juba hakkas läbi udu märkama teed veel «vähemmõistetavate» füüsikaliste kujutluste maailma kui need, mis Einsteini teooria endaga kaasa tõi.

End kaitstes puhkes Rutherford naerma. «Miks siis mitte,» umbes nii vastas ta Wienile, «meil anglosaksidel on küllalt tervet mõistust!» Pange tähele: mitte fantaasiat, mitte julgust, vaid lihtsalt tervet mõistust.

Kõige sagedamini näeme teaduslikest avastustest kõnelevais raamatuis ja olukirjeldustes teadlasi romantikute või märtritena. Nende suurepäraste inimeste siseväärtuste mõõdupuuks on tõepoolest imetlusväärsed inimlikud jooned — kirglik usk oma ideesse, otsingute omakasupüüdmatus, unelmate ülevus, tuline ennastsalgavus... Ühesõnaga, kogu romantiline värvispekter. Ent peaaegu kunagi ei kujutata otsiva mõtte selget kainust. Terve mõistusega inimesed vastandatakse unistavaile teadlastele nagu alamat liiki olendid, nagu roomajad lendajaile. Mida teha siis Rutherfordi kainusega — tema mõtte selge, maise luulega? Willi Wieni saksapärane romantism nõudis võibolla relatiivsusteooria ideede vaimustatud ülistamist — mõistuse müstilise lennu kummardamist, mis ainult valgussähvatuse hetkel jõuab tabada aja ja ruumi suhtelisust. Samal ajal rääkis aga oma esialgse teooria laiendamisest — ülemaailmse gravitatsiooni olemusest mõtisklev Einstein jalutuskäigul Alpides Marie Curie'le ise, et ta peab aru saama lihtsast asjast: «Mis toimub langevas liftis?»

Kosmosesügavused ja — langev lift. Nemad, suurmehed, oskasid tõepoolest kuidagi lahkuda piiratud maailmast, rebimata end lahti Maa pinnast. Ja seepärast oligi Rutherfordi vastus Wienile nii ebaromantiline: relatiivsusteooria käsitamiseks on tarvis ainult tervet mõistust,

sest ta ise on loodud kaine, halastamatult täpse mõtte poolt ja lihtsast vajadusest mõista mõistmatut.

Seesama vajadus sundis inglise teadlast kainelt suhtuma vastuolusse klassikaga — ilma vähimagi hirmuta selle vastuolu võimalike tagajärgede ees kogu mikromaailma füüsika tulevikule. Ta teadis, et teeb alles esimest sammu ja hoiatas klassikuid juba ette:

«Antud staadiumil ei ole tarvis vaadelda hüpoteetilise aatomi püsivuse küsimust...»

Esialgu ei ole tarvis!

Ja ongi kõik. Aga eks edaspidi näe!

Kuid paratamatult pidi tulema aeg lähemalt vaadelda kisendavat vasturääkivust endise teooriaga. Ja üsna ruttu. Rutherfordi aatomit ei saanud «ära keelata». 1911. aastal ei teadnud m i t t e k e e g i, kuidas konfliktist pääseda. Muide, seda ei maksa nii kategooriliselt väita...

Üks kirjanik kujutas suurt inglast erakliku tõeotsijana. Naljakas arusaamatus, niisama naljakas kui avastajate totaalne määramine romantikute või märtrite malevasse. Kogu eluaeg ümbritses Rutherfordi sõprade ja õpilaste lõbus internatsionaal — eri maadest teadlaste hiilgav, kärarikas ja julge internatsionaal. Nalja pärast võiks öelda, et käesoleva sajandi aatomifüüsikat on teinud ja teevad muusikud ning tennisistid, suusa- ning autosportlased, purjetajad ning alpinistid... Tuntud biograafilises teatmikus «*Who is who*?» võib teadlaste kohta käivate oluliste andmete reas leida ka punkti *hobby* — huviala väljaspool tööd, meelelahutus vabal ajal, armastatud puhkamisviis. Te võite teada saada, et vanal J. J. Thomsonil oli selleks tennis, noorel Kapitsal aga mootorratas ja male, Rutherfordil — golf, Einsteinil — purjepaat ja viiul, Tammel — alpinism, Heisenbergil nagu Planckilgi — muusika... Meie sajand on vanas teadlase tüübis paljugi muutnud. Noore aatomiteadusega tegelnud ja tegelevad inimesed ei kanna rangeid sabakuubi ega valgeid maniskeid. Fotodelt vaatavad noored naeratavad näod, kus pole enamasti kunagist auväärset soliidsust ja väärikat eneseaustust, vaid lihtsus ning ligipääsetavus ja mingi, ma ütleksin, sundimatult elav väljendusrikas pilk nagu kunstnikel või sportlastel. Seda niihästi venelastel kui ka itaallastel, ameeriklastel, prantslastel ja isegi traditsiooniliselt pedantsetel sakslastel ning traditsiooniliselt kinnistel inglastel.

20-ndail ja 30-ndail aastail töötasid Cambridge'is peale Rutherfordi ühe armastatuma kaastöölise Pjotr Leonidovitš Kapitsa* ka sellised väljapaistvad nõukogude füüsikud nagu J. Hariton, A. Leipunski, K. Sinelnikov...

Aga varem, kümnendate aastate paiku, mõni aasta enne Esimest maailmasõda, just siis, kui teadusse ilmus «hukkamõistetud aatom», hakkas teiste Euroopa, Ameerika ja Aasia eri nurkadest pärinevate palverändurite hulgas Manchesteris töötama noor füüsik Taanimaalt, kelle nimi tollal vaevalt kellelegi midagi ütles. Kuid Darwin, kes «hukkamõistetud aatomist» pool tundi pärast selle sündimist teada sai, kinnitab, et juba tollal lähenes Rutherfordi kahekümne kuue aastane õpilane «füüsika põhiprintsiipidele sügavamalt kui teised teadlased». Einstein nimetas noort taanlast hiljem «geniaalse intuitsiooni ja peene vaistuga» inimeseks, aga tema intuitsiooni vilja — «ülimaks musikaalsuseks mõttevallas».

Rutherfordi sõber ja biograaf Yves meenutas hiljem: «Kord 1913. aastal, kui ma Rutherfordil külas olin, sisenes tuppa võrdlemisi hapra välimusega noormees. Rutherford viis ta otsekohe oma kabinetti. Rutherfordi naine seletas mulle, et noormees on Taanist ja et ta mees hindab tema tööd väga kõrgelt. Mis siin imestada — see oli Niels Bohr!»

Tõepoolest, rutus, millega Rutherford oma Kopenhaageni õpilase kabinetti juhatas, polnud midagi imelikku: jutuainet neil jätkus! Just tollal nägi Niels Bohr esimesena pääsuteed planetaarse aatomimudeli jaoks. Aja jooksul viis see tee mikromaailma mehhaanika loomisele.

---

* R. Youngi huvitavas raamatus «Heledam kui tuhat päikest» (eestikeelne tõlge 1963. a.) võib lugeda järgmist: «Kõigepealt aga tunnetas Rutherford selles peaaegu 25 aastat nooremas mehes vaimset sugulust iseendaga. Rutherfordi enese kohta räägiti: «Ta on metslane, noobel metslane, kuid siiski metslane,» või «Sõbrustada võib temaga niisama vähe kui stiihiaga.» Kõik see oli maksev ka Kapitsa kohta. Ta omas niisama vaimustavat elurõõmu nagu ta õpetaja, niisama taltsutamatut jõudu ja fantaasiat... Kapitsa kas kihutas autos suurima kiirusega piki rahulikke inglise maanteid või hüppas nädalalõppu veetes pererahva ehmatuseks alasti jõkke, hirmutas imiteeritud varesekraaksumisega luikesid, eksperimenteeris mitu ööd magamata nagu välkusid pilduv jumal kõrgsagedusgeneraatori juures, koormates seda kuni mõni kaabel põlema hakkas, — ikka elas ta väljaspool tavalisust. Ta armastas masinatega maadlemist ja ohtlikku mängu.»

● Loodusteadlased on alati tegelikkuse poolt. Neil pole õigust öelda: «Seda halvem faktidele.» Varem või hiljem jõuavad nad vabatahtliku ülestunnistuseni: «Seda halvem teooriale».

Füüsikud läksid klassikalise elektrodünaamikaga pahuksisse sellepärast, et see ei saanud läbi aatomiga. Tema seadused ennustasid üht, aga aatom käitus teisiti. Tähendab, kuskil aatomi piiril lõppes klassikaliste seaduste võim. Ainus lootus planetaarse mudeli päästmiseks oli selles, et loodusel on varuks ehk mingid tundmatud seadused, millele alluvad aatomisisesed elektronid. Nende tundmatute seadustega seletubki aatomite püsivus.

Kuid kas Rutherfordi mudelit päästa oli nii obligatoorne? Kas poleks lihtsam olnud see kõrvale heita ja mõni teine välja mõelda?

Tuleb mõista, et füüsikuil polnud valikut. Pärast seda, kui nad jõudsid veendumusele, et kõik positiivsed laengud on kontsentreerunud aatomi südamikku — tihedasse tuuma —, ei jäänud neil valikut! Tõepoolest, negatiivselt laetud elektronidele (nende arv pidi aga võrduma tuumalaenguga, et aatom tervikuna oleks neutraalne) ei jäänud muud kohta kui tuumast eemal. Kujutleda, et elektronid seisavad seal paigal, on võimatu: tuum tõmbaks nad otsekohe enda külge. Kujutleda neid sirgjoonelises ja ühtlases liikumises on samuti mõttetu: siis lahkuksid nad aatomi piiridest. Elektronid pidid liikuma mööda suletud orbiite ümber keskpunkti, selleks et aatom ei pudeneks iseendast laiali. Ja sealjuures küllalt kiiresti, et tsentrifugaaljõud jõuaks vastu panna tuuma külgetõmbejõule. Planetaarne süsteem tekkis täiesti paratamatult: näete ise, et valikut ei olnud.

Kuid liikumine mööda suletud orbiite on liikumine mööda kõverjoont, vahetpidamatute pöörakutega, paratamatu kiirgusega, energiakadudega, vältimatu langemisega mööda spiraali halastamatult külgetõmbavale tuumale.

Võis kahelda kahes asjas — külgetõmbejõu halastamatuses ja kiirguse paratamatuses. Positiivsete ja negatiivsete laengute vastastikuses külgetõmbejõus ei lubanud kahelda ei kogemused ega loogika. Kogemused kinnitasid seda, alates juba legendaarsest ajast, mil vanad kreeklased hõõrusid merevaiku ja tõmbasid hõõrutud pulgaga külge igasuguseid peenikesi pudemeid. Sõna «elekter» ise päri-

nebki siit, sest kreeka keeles on merevaik «elektron». Stoney ainult äratas selle sõna jälle ellu, kui 1891. aastal otsustas anda nime veel avastamata hüpoteetilisele üksiklaengule. Aga loogika ütles: kui tuum ei tõmba külge, siis on elektronid vabad linnud, siis pole aatomit üldse olemas ja pole millegi ümber piike murda.

Jäi võimalus kahelda kiirguse paratamatuses. Niisugust paratamatust ei tinginud loogika ja seda ei toetanud ka kogemused. Seda nõudis ainult vana teooria. Loogika ütles: kui kiirgus on paratamatu, on aatom hukka mõistetud, et ta aga on püsiv, siis sellist paratamatust nähtavasti ei ole. Katse esitas küsimuse: kui kiirgus on paratamatu, siis peab ta olema pidev, miks aga on siis aatomi kiirgusspektrid diskreetsed? Miks kiirgavad erinevad aatomid erinevat värvi spektrijoonte komplekte?

Asi on selles, et aatomid kiirgavad tõepoolest valgusenergiat. Me elame mitmevärvilises maailmas. Igalt poolt, kõigist ainetest jõuavad meieni müriaadid signaale väikestest valguse murdumis-, peegeldumis-, kiirgumisaktidest. Pole mõtet mõistatada, kuidas näeks välja meie maailm, kui kõik aatomid kogu oma elu kestel kiirgaksid pidevalt valgust: pilt sellisest hukkamõistetud aatomeist koosnevast maailmast oleks hetkeline, nagu äkitselt katkenud filmilindi kaadri momentaanne mõõdavilksatamine.

Jah, aatomid kiirgavad. Kuid sugugi mitte nii,, nagu ennustas vana teooria.

Kas on tarvis jutustada, miks tekib prisma tahkudes vikerkaar? Valguskiired, mille elektromagnetiliste lainete võnkesagedus on erinev, murduvad prismas erinevalt, ja sisenedes sellesse paralleelse kimbuna, väljuvad lehvikuna. Füüsikud lasevad segatud valgusvihu läbi kitsa pilu, see langeb prismale, seejärel aga ekraanile või fotoplaadile — ilmub pilukujutiste lehvik: iga antud sagedusega kiir tekitab pilust oma foto — kitsa vööndi. See ongi spektrijoon. Kui valgusvoos esineb igasuguse lainepikkusega kiiri, siis ei saa spektrilehvikus enam eraldada üksikuid jooni — üksteisele vahetult järgnedes moodustavad nad üheainsa katkematu paela, mis ühest servast on punane ja teisest violetne. Värvid sulavad kokku vikerkaareks.

Nii näeb välja pidev kiirgusspekter. Kuid aatomispektrid on hoopis teistsugused: fotoplaadi tumedal foonil

moodustub üksikuist joontest varbtara. Iga elemendi jaoks oma tara, täpselt kindla kujuga!

Juba kaua enne elektronide avastamist hakkasid füüsikud looma aatomispektrite kollektsiooni. Naljaviluks öelda, olid need dokumendid «Aatomi toimikusse», ehkki juurdlusalune ise polnud veel kinni püütud. Teadlased võrdlesid erinevaid spektreid, mõõtsid lainepikkusi iga spektrijoone jaoks, otsisid ja leidsid nende vaheldumise seaduspärasusi. Kuid neil polnud seejuures vähimatki ettekujutust, kuidas spektrid tekivad. Meie tuntud füüsikateoreetik Jakov Iljitš Frenkel kirjutas aastat kolmkümmend tagasi, et «Einstein andis sellele füüsika alale möödaminnes õigusega... veidi põlastava nimetuse zooloogia». Spektroskoopia meenutas pealinna loomaaeda, kus paigutatakse puuridesse igat liiki, alaliiki ja tõugu elusloomi, teadmata midagi elu enda päritolust. Kuid see zooloogiline staadium on igas teaduses möödapääsmatu. Aatomifüüsikas väljendus see ainult eriti teravalt.

Tõeline aatomimudel pidi lõpuks selgitama ka spektrite päritolu. Muidu poleks saanud tõelisusest rääkida. Spektrid ei jutustanud teisejärgulistest pisiasjadest aatomite käitumises, vaid kõige peamisest — elektromagnetilise energia kiirgamisest aatomi sisemusest, nende keeruliste mikromaailmade üleminekuist ühest olekust teise.

Rutherfordi aatom kannatas sellise tõesuseproovi välja. Katse sooritas Niels Bohr.

● Oleme vist liiga kaua tammunud aatomisisese mehhaanika uute mitteklassikaliste ideede künnisel? Järsku oleme unustanud tõotuse — mitte laskuda üksikasjadesse? Võib-olla saigi seda pattu tehtud, kuid on olemas ka õigustus: meie aja teadusega tutvumisel — tahaks seda korrata — on kõige raskem jääda uskuma, et kummalised kujutlused paljudest asjadest on kohustuslikud.

Ma ei aseta sõna «kummalised» jutumärkidesse, sest kaasaegsed füüsikalised kujutlused näivad tihti just sellistena. Ja sageli tekib XX sajandi inimestel kahtlus: võib-olla pole siiski mitte mateeria nii veidralt ehitatud, vaid ainult füüsikute pead? Et need kahtlused hajuksid, tuleb end kas või hetkekski kujutleda uute füüsikaliste ideede sündimise tunnistajana — kas või pisutki hulkuda Tundmatu jõe lätete juures. Siis on kergem uskuma jääda, et kõige veidramadki jooned liikuva mateeria füüsikalises

pildis on välja mõelnud ja igavese sulega peenelt joonistanud loodus ise, aga kui teadlased on milleski süüdi, siis ainult eelarvamusteta pilguteravuses.

Öeldu täieliku tunnetamise heaks tasuks tallata ka kõige raskema tõusu jalamil alustatud teekonnal elementaarosakeste maailmas. Tõusu vältida ei saa. Kuid ei, meie eesmärk pole teadlaste järel ronida, vaid mõista, et nad ei saanud järsakut ületamata jätta. Tuleb siis vähemalt pea kuklasse ajada ja vaadata, et valmis teed ei olnud, tuleb kas või pilguga kõrgust hinnata.

Tõus algas lausikult.

Niels Bohr tegi kõige loomulikuma oletuse: kui aatomid on püsivad, siis peavad aatomiruumis olema teed, mida mööda liikudes elektronid üldse ei kiirga, ei kaota energiat ega lange seepärast tuumale.

Missugused need teed on — kas suvalised? Selge, et ei! Kui aatomi tundmatud seadused keelaksid elektronidel kiirata energiat ükskõik millisel teel ümber tuuma, siis ei kiirgaks aatomid üldse valguslaineid. Aga kuidas jääb siis spektritega? Kust need tulevad?

Faktid ja loogika sundisid Bohri jõudma lihtsa, kuid ootamatu ideeni: aatom on looduse poolt ehitatud niiviisi, et kõigi mõeldavate elektroniteede hulgas on teatud hulk püsivaid orbiite. Kuni elektronid ümber tuuma neid orbiite mööda tiirlevad, on aatom muutumatus energeetilises olekus. Sellistel valitud teedel käituvad elektronid tõepoolest nagu ideaalsed planeedid: nad liiguvad energiat kaotamata. Ja kogu aatom sarnaneb sellises püsivas olekus päikesesüsteemiga: planeedid-elektronid alluvad klassikalise mehhaanika seadustele.

Aga edasi juhtis juba see idee ise füüsikute kujutlust... Mingil põhjusel, mis meid praegu ei huvita, vallandus hämmastavalt orbiidilt üks elektron. Mis temaga juhtub? Kiirgumise keeld ju lõpeb? Muidugi. Tähendab, nüüd muutub elektron energiat kaotades tehiskaaslaseks ja hakkab spiraali mööda tuumale langema? Jah, hakkab langema. Kuid tuumast eemal võib veel mõni järjekordne spiraalikeerd teise püsiva orbiidiga liituda. Niipea, kui elektron selleni jõuab, tema kiirgus lakkab. Kui energia kaotamine katkeb, siis katkeb ka langemine. Aatom jõuab uude püsivasse olekusse.

Asi käib umbes nii, nagu veereks pall rahulikult, ütleme, kuuenda korruse koridoris ega kukuks alla, kuigi

Maa teda külge tõmbab. Ootamatult auku sattudes ei saaks ta aga enam kukkumist vältida. Kuid teda toetaks peaaegu kohe viienda korruse põrand. Sattunud alumise koridori nivoole, hakkaks ta uuesti rahulikult veerema, kartmata kukkumist, kuni uus auk teda alt veab. Muide, ka siis ei lange ta ühekorraga neljanda korruse koridorist allapoole.

Nii järgnevad korrus korruse järel tuumast erinevatel kaugustel olevad Bohri püsivad orbiidid.

Mis siis välja tuleb? Orbiitidel toimivad klassikalise mehhaanika seadused, aga orbiitide vahelises ruumis, kus elektron kiirgab, astuvad jõusse klassikalise elektrodünaamika seadused.

Seepärast võis öelda, et tõus uute ideede järsakule algas lausikult: näis, et Bohr ei läinud kaugemale kahest klassikalisest teooriast, määras ainult neile kummalegi oma koha. Kuid nii ainult näis. Järsk kaljusein oli juba siinsamas.

Piltlik võrdlus — kerakujuline elektron liigub mööda spiraali orbiidilt orbiidile — tuli kohe kõrvale heita. See ei saanud õige olla! Niisuguse ülemineku korral peaks elektroni kiirgus orbiitide vahel jälle pidev olema: tiirude kahanemisel oleks ta kiiranud järjest lühema pikkusega valguslaineid. Aatomi kiirgusspektris oleks sellisele üleminekule vastanud ähmaste piirjoontega vööt: iga lainepikkus annaks pilust oma kujutise — pidevalt üksteisele järgnedes liituksid jooned terviklikuks vikerkaare lõiguks — kas kitsaks või laiaks, see poleks enam tähtis. Aga aatomispektreis pole laiu mitmevärvilisi vööndeid — on ainult teatud lainepikkuste teravad jooned! Ei, klassikaga ei saanud leppida: liikumise klassikaline pidevus oli jälle vastuolus aatomite kiirguse diskreetsusega. (Ega füüsikud asjatult palunud vanajumalat dikteerida neile kas või paargi uut seadust.)

Ühe mitteklassikalise seaduse oli Bohr juba kobamisi leidnud: aatomielektronidel on püsivate orbiitide diskreetne rida, aatomeil — samasugune püsivate energiaolekute rida. Nüüd tuli aimata ühest olekust teise siirdumise seadus — aatomi kiirgamise seadus.

Et sujuvat klassikalist üleminekut olla ei saa, jäi loogika käsutusse hüpe. Ja Niels Bohr otsustas: ta ütles — jah, on tarvis tunnistada, et elektronid siirduvad ühelt orbiidilt teisele ainult hüppeliselt. Seda lausa pidi tunnis-

tama, kui vaid kuulati looduse häält, aga mitte vana teooria õpetusi!

Aga hüppe korral ei esine enam energia pidevat kaotam st spiraalsel teel: kõik, mis elektron üleminekul ühelt lubatud orbiidilt teisele peab kaotama, kaotab ta korraga — ühe hoobiga, ühe portsjonina. Ja pole põhjust, miks seejuures peaks tekkima erineva pikkusega elektromagnetiliste lainete mitmevärviline segu. On loomulik eeldada, et iga portsjoniga heidab aatom välja mingisuguse ühe võnkesagedusega — üht värvi kiiri. Seda kinnitab ka aatomispektrite katkendlikkus.

Läbides prisma, murdub kogu aatomivalguse kogus ühtmoodi ning lehvikut ei saa tekkida. Fotoplaadile ilmub selge joon, aga mitte laialiuhutud riba. Nii kooskõlastusid Bohri ideed tegelikkusega.

Kuid aatomispektreis pole üksainus joon, vaid terve joontest tara. Kust nad kõik tulevad? Parem on siiski pärida: millest nad räägivad? Iga huupi võetud joon tunnistab, et elektronid hüppavad mingilt ühelt orbiidilt teisele. Joonte hulk tunnistab, et võimalikke siirdeid on palju. Ja mitte ainult võimalikke, vaid ka tegelikke. Kuid see tähendab, et aatomites on palju orbiite, mis millegi poolest erinevad üksteisest, nii et elektronide erinevaile üleminekuile vastavad erinevate energiaannuste kaotused. Erinevad portsjonid — erinevad lainepikkused — erinev murdumine prismas — joonte tara spektris...

Mille poolest erinevad siis Bohri püsivad orbiidid, mis muudab nad ebavõrdseteks? Nende kuju pole tähtis: ükskõik, on nad ringid või ellipsid või isegi rosetid. Tähtis on ainult see, et erinevail orbiitidel on elektronidel erinev energiavaru. Seepärast põhjustavadki siirded kiirgamist: langedes kaotab mõni elektron liigse energia — selle, mida ta enam ei vaja püsivaks tiirlemiseks uuel orbiidil.

Kuid aatomielektroni energia kuulub ju tervele aatomile. Elektron on tema koostisosa, tema alam. Elektroni ja aatomituuma vahel on vastastikune mõju. Ja kui elektron tiirleb tuumast kaugel orbiidil, peab tal olema suurem energiavaru kui lähedasel orbiidil: selline varu on ainuke, mis teda tuumast eemal hoiab. Kuid see varu on kogu aatomi omand. Aga kuna loodus lubab elektronidel liikuda ainult mööda kindlaid orbiite, siis küllap ta lubas ka aatomile ainult teatud kindlaid, mitte aga ükskõik milliseid *energianivoosid*, nagu kõnelevad füüsikud.

Lubatud orbiitide katkendlik rida... Lubatud energiavarude katkendlik rida... Sellised kummalised jooned kerkisid esile aatomisisese elu ähmasel pildil, kui füüsikud suutsid lõpuks, pärast elektroni avastamist, heita terava pilgu iidsesse — «jagamatusse ja lihtsaimasse» — mateeria ivakesse. Kuid siit said ootamatused alles alguse.

● Olekute diskreetsus. Energiaportsjonid. Hüpped.

Selles on midagi tuttavat, eks ole? Muidugi! Otsekohe meenuvad Plancki kvandid ja Einsteini footonid.

Praegu levib sellest kõigest juba klassika hõngu — uue, XX sajandi enda klassika hõngu. Kuid aastail 1911—1913 ei tulnud noorel Niels Bohril mälus sorida, et meenutada energiaportsjoneid ja valgusosakesi: need olid vaidlusalused päevaprobleemid, enamik füüsikuid ei uskunud üldse, et kvandid on tegelikkus, mitte ainult teooria.

Tol ajal polnud keegi lausunud isegi sõna «footon». Ehkki Einstein tõi selle mõiste teadusse juba 1905. aastal, polnud sõna ise veel ilmunud. Valgusosakesega juhtus elektriaatomiga võrreldes vastupidine lugu: elektron sai nime ja alles siis ta avastati, footon avastati ja sai alles pärast nime. Valguskvante peeti ristimise vääriliseks — nagu tõelisi osakesi! — alles rohkem kui paarkümmend aastat hiljem, pärast sündimist teaduses. Footoneiks nimetas neid esmakordselt 1926. aastal vähetuntud füüsik N. Lewis.

Bohr vaatas valguse ja elektri vahelise vana liidu sügavaimasse sügavikku. Ta nägi, et elektronide ja valguskvantide sugupuud on seotud. Kaks esimest mateeria elementaarosakest avasid ühisel jõul füüsikute ees väravad aatomisisesesse maailma. Bohr märkas enne teisi, et tee pole enam suletud.

...Kui teil pole igav, lehitsege raamatu esimest osa ja otsige üles koht, kus räägiti footoni hüppetaolisest tekkimisest. Nüüd näete, et Bohri järgi tekib kiirgus aatomiruumis tõepoolest hüppeliselt. Aatomi sees, ühes neist looduslikest laboratooriumidest, kus võib sündida footon, ei saa jälgida tema tekkeprotsessi: aatomid kaotavad energiat mitte pidevalt, vaid korraga, ja mõttetu on kujutleda mingit kvandi «küpsemisperioodi».

Tahaks küsida, kui kaua kestab hüpe ühelt energianivoolt teisele? Mis toimub elektronidega orbiitidevahelises

ruumis? Ja millised on need lubatud orbiidid, mis haaravad elektroni tema langemishetkel?

Muidugi, füüsikule võib esitada igasuguseid küsimusi Kuid vastust oodates tasub mõelda, et kõik küsimused adresseerime tegelikult ju loodusele. Tema on valmis kõigele vastama — võib veel korrata: tal pole saladusi. Kuid me oleme oma uudishimus ettevaatamatud. Loodus jääb nõutult vait, kui pärida näiteks kvandi paksuse järele. Võib sattuda segadusse, kuuldes küsimust: «Miks teil on roheline hääl?» Kvandi paksusega on sama lugu nagu hääle värvigagi — võimatu on mõista, mida tahetakse. Kuid peale mõttetute küsimuste on ka enneaegseid küsimusi. Loodusel on neile küll vastus olemas, ent inimesed ei oska veel tema häält kuulda.

Aatom niisugusena, nagu teda nägid Rutherford ja Bohr, ei suutnud rahuldada uudishimu, mida ta ise kaasaegsetes äratas. Ja just seepärast, et ta oli ainult reaalse aatomi ligikaudne mudel. Aga teadus ei liiguks edasi, kui mingisse teooriasse ei jääks tumedaid kohti.

Kõige tumedamaks kohaks Bohri aatomis olid kindlasti aatomi hüppetaolised üleminekud ühest olekust teise.

Miks sellised üleminekud üldse toimuvad, on kerge mõista: kõik looduses püüdleb suurima püsivuse poole. Aga püsivus on seda kindlam, mida väiksemad on energiavarud kehas — igas füüsikalises süsteemis. Energia on just nagu süsteemi sisemine erutus, ärakulutamata võime aktiivsuseks. «Ergastatud aatom» — täiendsõna on võetud just nagu psühholoogiast või ilukirjandusest. Kuid see väljend on ammu füüsikaliseks terminiks saanud.

Kui Tšerenkovi loendajast lendab läbi vedeliku ülikiire laetud osake, mis toimub siis vastavalt kujutlusele, et valgust kiirgavad seejuures keskkonna aatomid? Osake varustab keskkonna aatomite vastutulevaid elektrone liigse energiaga. Ta just nagu tirib aatomite elektrone kõrgematele orbiitidele. Lubatud orbiitidele, aga mitte kuhu juhtub. («Kuhu juhtub» — see on siis, kui elektronidele antakse edasi nii palju energiat, et nad lahkuvad aatomist täiesti, väljuvad tema seaduste võimupiirkonnast ja muutuvad vabadeks, jättes endast maha mitte enam aatomi, vaid laetud iooni.) Lendav osake jätab oma taha terve ahela ergastatud aatomeid. Ja kuigi elektron võib igal lubatud orbiidil omandatud energiat kaotamata püsivalt tiirelda, püüab aatom tervikuna vabaneda soovima-

tust üleliigsest energiast. Ja ta teeb seda! — suur püüd suurima püsivuse poole on ületamatu.

Elektron rebib end kõrgelt nivoolt lahti ja langeb «alla» — tuumale lähemale. Aatom kiirgab valgust.

Iga aine aatomeis on kiiratud kvant seda soliidsem, mida sügavam on langus — seda suurem on ühesuguste valguslainete sagedus footonis. Kui sügavale langeb aatom? Nähtavasti vähemalt kõige lähema looduse poolt lubatud orbiidini. Aga kas vesiniku aatomis, kus on üksainus ergastatud elektron, kukub ta siis otse tuumale? Ei, enne tuumani jõudmist kohtab ta tuumale kõige lähemal asuvat looduse poolt lubatud orbiiti, viimast enne tuuma. See ongi elektroni kõige madalam lubatud energianivoo. Soovitud suurim püsivus on saavutatud.

Nii saadakse laboratooriumis aatomispektreid — neid nimetataksegi ergastusspektreiks. Terake tavalist lauasoola värvib gaasipõleti leegi otsekohe kollaseks: see tähendab, et leegi energiast ergastatud naatriumi aatomite elektronid pöörduvad otse meie silme all tagasi püsivasse olekusse. Palju erinevaid kvante erinevaist naatriumi aatomeist eraldub soolaterast, kuid nende hulgas on kõige rohkem kollasele värvile vastavaid kvante. Naatriumi jaoks on need elektronide kõige sügavama languse kvandid. Ja me jõuame selles veendumusele isegi ilma spektrograafita. Aga tundlik aparaat näitaks fotol teisigi, nõrgemaid naatriumi jooni — teiste võimalike hüpete jooni.

Mis on siis kvanthüpetes seletamatut? Näib, et vastupidi — kõik paistab nii geomeetriliselt selgena, et ausõna, tahaks alatiseks kinnistada mikromaailma füüsikalisse pilti selle peene joonise — orbiitide ämblikuvõrgu tuuma ümber ja peaaegu kaalutute elektronide kerged hüpped. Bohri aatomi ruumis valitses tõepoolest «ülim muusikaalsus»: seal oli just nagu silmaga näha, kuidas loodus liigendatud orbiitide keeltel «spektraalmuusikat mängib». Nii kirjutas Bohri aatomi kohta mitte mõni kergemeelne ja vaimustatud poeet, vaid range teoreetik Sommerfeld.

Kuid muusika kestab ajas ja helid levivad ruumis. Kõik looduses k e s t a b j a l e v i b! Aga kvanthüpped?

● Meile, kelle maailmavaateks on dialektiline materialism, tundub hüppe mõiste täiesti loomulikuna. Kas hämmastab kedagi jutt hüppelistest protsessidest inimkonna ajaloos? Me oleme sellega harjunud, ehkki p r o t s e s s

on sündmuste pidev vool, aga h ü p e — pidevuse katkemine, ja näib, et üks peaks teist välistama.

Ei, ei välista, sest pidevus ja hüpe käivad erinevate asjade kohta. Pidevus märgib elu kalendaarset käiku, päevade ja ööde, töö ja une, tormide ja tuulevaikuse muutumatut vaheldumist. Hüpe aga ühiskonna ja inimeste pidevalt kulgeva elu kvaliteedi ja mõtte muutumist. Revolutsioonid on hüpped ajaloos, kuid samal ajal on nad pidevad sündmuste ahelad. Ja seepärast on igal revolutsioonil oma ajalugu, mida võib kirjeldada ajas ja ruumis.

Kvanthüpped looduses on hoopis midagi muud. Iga hüpe on sündmus, mida ei saa enam lahutada üksikute füüsikaliste sündmuste ahelaks. Kui aatom läheb hüppeliselt üle ühest olekust teise, ei ela ta läbi mingit vahepealsete olekute rida. Selliseid olekuid pole olemas — lihtsalt ei ole! Loodus pole neid ette näinud. Siin on pidevuses haigutav tühik.

Kui elektroni hüpe jaguneks sisemiselt mingiteks väiksemateks sammudeks, siis asuksid lubatud energianivoode vahel uued nivood — samuti lubatud, kui elektron neid läbib! Ja aatomi spektris tekiksid uued jooned. Kuid neid ei ole.

Ent lugu pole ainult selles. Olgu pealegi niisugused sammud olemas. Siis on igaüks neist jällegi kas hüpe või uute, veel väiksemate sammude järgnevus. Kui jätkata sellist hüpete jaotamist, tuleb välja pidev üleminek orbiidilt orbiidile. Kiirgus osutuks pidevaks.

Me jõuame sinna, kust algasime. Ring sulgub ja meil pole jällegi muud väljapääsu kui pöörduda tagasi hüpete juurde, tunnistada, et need pole Plancki, Einsteini või Bohri leiutis, vaid looduse enda korraldus.

Kvanthüpetel pole omaenda ajalugu — pole üksikasjade vaheldumist, mida jälgida võiks. On algus ja lõpp, aga nende vahel pole protsessi!

Klassikaline füüsika, mis nägi looduses ainult pidevaid muutusi, ei suutnud uurijaid millegagi lohutada. Kvanthüppeid ei saanud «kujutleda» ega ka kõrvale heita. Ja nad vaevasid kaua füüsikute teadvust, mis pani vastu nende äkilisele sissetungile füüsikalisse maailmapilti.

1913. aastal, kui noor Bohr esmakordselt formuleeris oma ideed, ütles vananev teadlane, lugupeetud lord Rayleigh Briti Assotsiatsiooni pidulikul koosolekul Birminghamis: «Inimesed, kes on üle seitsmekümne aasta

vanad, ei tohi rutata oma arvamuse avaldamisega uute teooriate kohta.» Kuid ta ise ei suutnud end vaos hoida ja tõttas märkima, et ei usu, nagu «käituks loodus nii kummaliselt», ja lisas, et tal on raske pidada kvanthüppeid «selle pildiks, mis looduses tegelikult aset leiab».

Kuid hämmastunud ja ärevil olid mitte ainult vanad teadlased — «üle seitsmekümne aasta vanused inimesed».

Mäletate, kuidas Max Planck, kellest kõik 1900. aastal alguse sai, manitses noort Joffet kvantidega hästi ettevaatlik olema ja «mitte minema kaugemale kui hädavajalik». Möödus üle kümne aasta, enne kui Niels Bohr «nägi», kuidas sünnivad kvandid uuritavate aatomite sisemuses. Seejärel möödus veel aastakümme, aga Planck ei suutnud ikka veel lõplikult uskuda omaenda avastust. Ta kirjutas 1923. aastal, et aatomi üleminek ühest püsivast olekust teise «ei või ühelgi juhul olla hüppelise iseloomuga...». Kuid muidugi ei suutnud ta hüppeid isegi teoorias millegagi asendada. Noh, aga neid looduses asendada — see pole üldse enam füüsikute võimuses.

Aga Einstein? Kas te arvate, et tema kartmatu mõte jalutas kergelt ja muretult mööda klassikaliste teooriate varemeid?

«Ma sarnanen vist jaanalinnuga, kes peidab kogu aeg pead relatiivsuse liiva, et mitte vaadata näkku vastikuile kvantidele,» — nii kirjutas ta geniaalsele prantsuse füüsikule Louis de Broglie'le, kelle nimega me peagi jälle kohtume. Ja ta kirjutas nii mitte valgusosakeste teooria loomise algajal, mitte varaste otsingute perioodil, vaid 1954. aastal, mil tema enda poolt teadusse toodud kvantidel-footonitel oli seljataga juba poolesajandiline ajalugu — kõlav võitude loetelu füüsikaliste faktide selgitamisel ja mitte ühtki kaotust.

Aga Erwin Schrödinger? Tema, üks mikromaailma kaasaegse mehhaanika loojaid, vaatles kvanthüppeid kindlasti nagu looduse aabitsat?

«Kui me kavatseme säilitada need neetud kvanthüpped, siis kahetsen ma, et olin üldse seotud kvantide teooriaga!» — nii hüüatas Schrödinger meeleheites pärast hulk päevi kestnud tuliseid vaidlusi Niels Bohriga. Aga Bohr vastas: «See-eest on teised teile tänulikud, olete ju nii palju ära teinud kvantide teooria mõtte selgitamiseks...» See oli 1926. aasta septembris Kopenhaagenis, kui Bohr kutsus nii teeneka teadlase sinna lainemehhaani-

kast loenguid pidama. See lainemehhaanika, mille Schrödinger äsja oli välja töötanud, jäi aatomimaailma kvantteooria üheks variandiks. Sellest episoodist jutustas aga Werner Heisenberg — sellesama mikromehhaanika teise variandi looja — ja sõnad Schrödingeri meeleheitest kuuluvad just temale.

Aga kuidas on Heisenbergi endaga — ühega neist, kes avastas seadused, mida laisk taevaisa keeldus aatomifüüsikuile dikteerimast? Võib-olla oli temale, Heisenbergile, Schrödingeri meeleheide võõras?

1950. aasta oktoobris tegi ta ettekande saksa loodusteadlaste ja arstide kokkutulekul, mis oli pühendatud suurele tähtpäevale — Plancki kvanthüpoteesi viiekümnendale aastapäevale. See oli pidulik juubeliettekanne, kus ei meenutata juubilariga seotud kibedaid hetki, vaid räägitakse ainult rõõmust, mida ta on toonud. Võib-olla seepärast, et juubilariks polnud mitte inimene, vaid teooria, ei suutnud Heisenberg end tagasi hoida ja meenutas sedasama 26-ndat aastat — lõputuid vaidlusi Kopenhaageni instituudi väikeses katusekambris. Vaidlused algasid õhtul ja kestsid kaua üle südaöö. Vaidlejad läksid katusekambrist üle Bohri korterisse ja hakkasid neelama portveini, seepärast et... Seepärast et vaidlevaile pooltele «lõppes mõttevahetus mõnikord täieliku meeleheitega kvantteooria arusaamatuse tõttu...»!

Tähendab, meeleheide külastas ka Heisenbergi ja Niels Bohri? Jah, ka Bohri, kes ise lohutas Schrödingeri.

Nii et kui meidki sinuga, kannatlik lugeja, haarab kvanthüpete ideega kokkupuutumisel seesama tunne, siis ei maksa sugugi langeda meeleheitesse ega mõtiskleda meie nõrga mõistuse panetunud ebatäiuslikkuse üle: sa näed, et tunnetuse vili oli mõru suurmeestegi jaoks! Kuid see on ikkagi magusam teadmatusest.

Kui käesolev alapeatükk juba kord koosneb klassika purustajate tunnistustest, siis on võimatu siin tsiteerimata jätta kauneid sõnu, mida lausus 20-ndail aastail üks meie suurimaid teadlasi, kelle nimi on neil lehekülgedel juba korduvalt esinenud — Sergei Ivanovitš Vavilov:

«Kaasaegsele füüsikule näib aeg-ajalt, et pind libiseb jalge alt ja igasugune tugi on kadunud. Peadpööritav tunne, mida me seejuures tajume, sarnaneb tõenäoliselt sellega, mida pidi üle elama Koperniku-aegne vanameelne astronoom, kes püüdis käsitada liikuvat taevavõlvi ja

Päikese liikumatust, kuid ebameeldiv taju on petlik, füüsiku jalge all on kindel pind, sest see pind on faktid.»

Hämmastab ainult see, et igal inimesel on ka vaieldamatute faktide tunnustamiseks tarvis, et need ei ründaks tema väljakujunenud vaateid. Muidu pole isegi faktid meie jaoks faktid! Selline on kord juba ideede jõud, milles üldistatakse teadvuse pikaajalisi kogemusi.

«Aga kas pidevuse idee on hüppe ideest arusaadavam?» küsis mult üks füüsik, keda tüütasin juttudega hüppeliste üleminekute arusaamatusest. «Siin on lastejahu toos, millele on joonistatud tütarlaps, toos käes. Joonistatud toosil on jälle tütarlaps, käes toos, millele on joonistatud tütarlaps toosiga käes... Ja nii lõpmatult edasi. Näide klassikalisest pidevusest. Kas oleks siis arusaadavam, kui viimast toosiga tütarlast poleks, kui seda venitamist võiks jätkata lõpmatuseni, vähendades tütarlast nullsuuruseni?»

Tõepoolest, kui tõsiselt järele mõelda, kas oleks see siis arusaadavam?

Ja ikkagi tõstavad teadvuse kogemused mässu kvanthüpete reaalsuse vastu — arusaamatute tühikute vastu arusaamatus pidevuses, väikseimate — kuid mitte nulliste — energianivoode vastu aatomis, rea looduse poolt lubatud olekute diskreetsuse vastu aatomi «päikesesüsteemis».

Aga tütarlaps toosil, ükskõik kui peene pliiatsiga teda ka joonistada, ei või saada väiksemaks sellest sadakonnast süsiniku aatomist, mida on tarvis tema ja toosi kontuuride visandamiseks. Kui me tahame teha tüdruku veel väiksemaks, ei tule enam midagi välja — pole enam millegagi teda joonistada, lihtsalt mitte millegagi! Aga klassikaline pidevuse idee «ei tunne» seda piiri. Ta ei tunnista, et on olemas füüsikalisi piire, mille taha ei mahu enam mingi tütarlaps toosiga käes.

Miks on meil selle klassikalise ideega siiski «kergem elada»?

● Klassikalised suurused on füüsikas tekkinud ja tekivad meil «suure kogemuse» alusel, mille uurimisest teadus kunagi algas. Kuid see kogemus on ainult väike lõik looduse mõõtmatu kogemuse lõputul skaalal. Nii on nähtav valgus punasest violetseni ainult tilluke intervall elektromagnetilise võnkumise kõigi võimalike sageduste

skaalal — kõige lühema lainepikkusega gammakiirtest kuni piiramatu pikkusega raadiolaineteni.

Mõlemal pool nähtavat spektrit on loodusel oma värvid, mida meie ei erista.

Fantaseerides võib kujutleda kuskil maailmaruumi sügavuses elavaid gigante, kes n ä e v a d tähtede ja udukogude raadiokiirgust ning silmitsevad suurimas hämmelduses Maad ja tema raadiosaatejaamu. Maa näib neile ainsa omataolise raadiovikerkaarte allikana nende pea kohal. Ja kui veel kuskil leidub planeete või tähti niisama kõrge raadiotsivilisatsiooniga nagu meil, siis aimavad need gigandid teiste asustatud maade olemasolu samuti nende kummalise «raadiovärvi» järgi. Millised värvid on selle tundmatu raadiogigantide maailma kunstnike paletil? Oletuste tegemisest pole kasu — need ei ole meie värvid.

Niisama edukalt võib kujutleda kääbuseid gammakvantide galaktikast eriliste, meie omast absoluutselt erinevate füüsikaliste elukogemustega.

Akadeemikud raadiogigantide ja gammakääbuste maailmast ei suudaks vist kaua meie teadlastega ühist keelt leida. Ja veel raskem oleks neil omavahel kokku leppida. Kuid lõppude lõpuks jõuaksid nad kokkuleppele, sest loodus on ühtne.

Elektroni ja footoni avastamisega tungisid füüsikud teiste mastaapide ja teiste kogemuste maailma kui see, milles inimesed sajandite kestel töötasid välja oma kujutlusi mateeria liikumisest. Teadlastele oli teistsugune kogemus muidugi ootamatu ja seepärast tundus tunnetuse vili mõru olevat.

Füüsikute uus mikrokogemus asub looduses selle piiritu mitmekesisuse loomulikul skaalal võrdõiguslikuna maapealse makrokogemuse naabruses, nagu ultravioletikiirte nähtamatu ala paikneb nähtava spektri kõrval. Ja loodus pole kuhugi asetanud ähvardavat piiritulpa — «Jäta oma maised kogemused sinnapoole, siitpeale algab mikromaailm!»

Seepärast võis isegi lünklik, poolenisti klassikaline väikese aatomimaailma mudel, mille ehitas Rutherford ja seletas Bohr, muuta füüsikute uurimused algul üliedukaks. Sai selgeks diskreetsete spektrite päritolu ja avanes elementide asukoha mõte Mendelejevi perioodilisuse süsteemis: element järgnes elemendile aatomituuma laengu kas-

vamise järjekorras, aga tuumast kõige kaugemal asuvate, nn. väliselektronide perekonna käitumine seletas elementide keemilisi omadusi. Mulje edusammudest oli tohutu.

«Me ootasime Bohri töid,» jutustas Heisenberg suhteliselt hiljuti, üliõpilaspäevi meenutades, «vähemalt samasuguse pingega ja vaidlesime nende üle niisama palavalt, nagu praegu oodatakse ja arutatakse viimaseid teateid Koreast. Üliõpilastena tajusime teatud määral ebateadlikult, et siin, Plancki, Einsteini ja Bohri töödes, etendub tükike maailma ajalugu — tõsi, ilma ajalehepealkirjade ja raadioteadeteta, kuid ikkagi maailmaajaloo episood, mis peab jätma jälgi sajanditeks.»

Heisenberg pidas silmas inimtunnetuse maailmaajalugu. Kuid ega talle juhuslikult tulnud pähe võrrelda seda ammust huvi teoreetikute abstraktsete otsingute vastu hiljutise huviga «viimaste teadete vastu Koreast». XX sajandi keskpaiku polnud aatomifüüsikute otsingute kunagisest abstraktsusest jälgegi jäänud. Ta oleks võinud kuulajaile meenutada, et kolm aastakümmet pärast kvanthüpete põhiidee ilmumist, 1943. aastal, viisid liitlased Niels Bohri sakslaste poolt okupeeritud Taanimaalt salaja ära kui suurima «sõjalise väärtuse». Ta toimetati üle Põhjamere sõjaväelennuki pommiruumis ja ta oleks, nagu ükskõik milline sõjalise tähtsusega objekt, mis ei tohi vaenlase kätte sattuda, üheainsa vajutusega luugi käepidemele merre heidetud, juhul kui Saksa hävitajad oleksid pommitaja sisse piiranud ja seda maanduma sundinud. Kas oskas Niels Bohr — «võrdlemisi hapra välimusega noormees» — kujutleda sellist perspektiivi, kui ta 1913. aastal esimest korda dešifreeris aatomi kvantseadused! Ta ei teadnud veel, millise kõla omandab süütu sõna «aatomiteadlane» aja jooksul!

Looduse tunnetamise maailmaajalugu ja lihtsalt maailmaajalugu pole veel kunagi nii tihedasti läbi põimunud kui meie ajastul.

● Bohri teooria võidukäik kestis 1913. aastast alates terve aastakümne, ehkki selle kahepalgelisust märkasid kõik: orbiidil tiirlemine sarnastas aatomielektronid suure maailma klassikaliste planeetidega, aga kvanthüpped viisid sellest maailmast jäädavalt välja. Ja ajutiselt õigustas niisugust kahepalgelisust ainult tõsiasja mõistmine, et

suure ja väikese maailma vahel ei ole ega võigi olla kuristikku.

... Kujutlege tohutut treppi, mille astmed ülespoole aina madalamaks muutuvad. Kõrgemal on nad üha märkamatumad, trepp aga vähem järsk. Järk-järgult läheb trepp üle siledaks kaldteeks nagu näiteks teatrite sammaskäikudes. Veeregu ülalt alla pall. Esialgsel ühtlasel langusel muutub ta kiirus pidevalt, ühtesulanud astmeid pole üldse näha. Kuid pärast on ta sunnitud astmelt astmele hüppama — algul vaevumärgatavalt, siis ikka järsemini, sest astmed muutuvad üha kõrgemaks. Astmete vahele rippuma jääda pall ei saa — see on selge.

Looduse poolt lubatud *energianivood* aatomis ongi niisugune trepp. Ja palli ossa satub vaba elektron, kui ta läheb suurest maailmast üle väiksesse aatomiruumi. Aga kohtuvad vabad elektronid aatomite «kildude» — ioonide või paljaste tuumadega kõikjal — õhus, Wilsoni kambris, igas aines. Elektron satub tuuma külgetõmbejõu mõju alla ja olekute pidev vaheldumine klassikaliste seaduste järgi muutub vähehaaval olekute vaheldumiseks kvantmehhaanika seaduste põhjal — hüpeteks mööda trepiks üle läinud kaldteed. Ja vastupidi, kui elektron lahkub aatomist, muutuvad hüpped ühelt lubatud energianivoolt teisele elektroni jaoks vähehaaval pidevaks tõusuks mööda astmetest tekkinud siledat kaldteed. Kvantmehhaanika võimu alt jõuab elektron klassikaliste seaduste võimupiirkonda.

(Nii jõuab Dubna prooton pidevalt kiirust suurendades märkamatult alasse, kus hakkavad ilmselt mõjuma relatiivsusteooria seadused, aga piirkond, kus kehtivad veel Newtoni seadused, jääb seljataha.)

Ülemineku järkjärgulisust mikromaailmast suurde maailma nimetas Niels Bohr *vastavuse printsiibiks*. See näitab selgemast selgemini, kui sügav ja keeruline füüsikaline mõte peitub meie lihtsa ja niisama sügava veendumuse taga, et loodus on ühtne.

Ja pole vaja otsida selgitust, miks kaks rida täiesti vastukäivaid sündmusi loodusteaduses käsikäes käivad: ühelt poolt teaduste hargnemine, teiselt aga nende liitumine. Ikka detailsemaks muutuvad teadmised — seepärast teadused hargnevadki. Kuid üha selgemaks muutub ka looduse ühtsus — sellest liituminegi. Meie päevil on liitumine selgem kui kunagi varem. Astronoomid tegelevad

radiokeemiaga, sest ühe uraanijärgse elemendi — kaliforniumi lagunemine äratab lootust mõista tähtsaid nähtusi, mis kosmoses aset leiavad... Füüsikateoreetikud uurivad pärilikkuse bioloogilisi probleeme: näiteks tunneb nende vastu praegu huvi Igor Jevgenjevitš Tamm, — sest kaasaegse mikromaailma teaduse tungimine geenide ja kromosoomide valda tõotab lahendada igavese mõistatuse pärilike tunnuste ühelt põlvkonnalt teisele edasiandmisest... Keemik N. Emanuel tegi Füüsikaprobleemide Instituudis akadeemik Kapitsa seminaris ettekande katsetest leida uusi vähiuurimise meetodeid, sest keemiliste ahelreaktsioonide seadused võimaldasid «ootamatult» tungida kas või mõnedesse pahaloomuliste kasvajate kasvu ja selle pidurdamise seaduspärasustesse. Meteoriitide uurijad pöörduvad seismoloogide, keemikute ja tuumaplahvatuste spetsialistide poole abi saamiseks Tunguusi meteoriidi vana saladuse avastamisel, sest... Ikka seepärast, et loodus on ühtne!

Ja milline igav taipamatus looduse suhtes on varjul mõnede meie bioloogide ametkondliku tõrjuvuse taga, kes lootusetult vastu seisavad kaasaegse füüsika sissetungimisele nende teadusse! Ning kõige igavam on see, et need kodukasvanud natuurfilosoofid, keda me juba meenutasime, põhjendavad oma tõrjuvust sisutu veendumusega, nagu ei saaks bioloogilisi seaduspärasusi analüüsida ühegi teise teaduse meetodite abil. Nad usuvad, et kaitsevad seejuures dialektilist materialismi. Kuid kas tõesti võib veel XX sajandil arvata, et eluprotsesside uurimine on mõeldav ilma nende detailideta, mida hangib üha edukamalt mateeria algalustesse süvenev teadus? Või on elu tõepoolest ime ega ole tekkinud looduse ühiste seaduspärasuste mõjul?! Füüsika ei saa bioloogiat juhtida «vale teed» — ta võib selle juhtida ainult alguste alguse juurde, sellesse looduslikku mikrolaboratooriumi, kus eluta loodus on sünnitanud ja sünnitab elu.

Tõepoolest, kas ei saa iga teadust vaadelda eriliste loodusseaduste kompleksina, mis on avastatud just selle teaduse vahenditega? Kuid loodusel on veel üldinegi seadusandlus ja mitte ainult filosoofiline, vaid ka füüsikaline, mis on muidugi kõigi jaoks võrdselt kohustuslik. Sellest tulenevadki astronoomia, keemia, bioloogia ja teiste erikoodeksite paragrahvid loodusteaduses. Ja kujutlege, et teadlastel õnnestub oma spetsiaalalal tabada looduse üldise

seaduspärasuse senitundmatuid avaldusi. Kas ei pea siis algama pikaajalised revolutsioonid teaduslikes vaadetes maailmale? Ja kas ei pea need revolutsioonid vähehaaval haarama kõiki loodusteaduse alasid?

Kvanthüpped kuuluvad selliste looduse üleüldiste seadusandlike korralduste hulka, mille on avastanud mikrofüüsikud. Ja arusaadav, miks revolutsioon, mida alustasid meie sajandil elektronid ja footonid, jätkub tänapäevalgi: tal tuleb veel kogu loodusteadus ümber kujundada.

TEINE PEATÜKK

- **Lõpuks võrsus Bourbonide seast kuningas!**
- **Kaotatud trajektooride maailm.**
- **«Ainult kaks füüsikut söandas seda teha...»**
- **«Mateerialained»?**
- **Õigel ajal avaldatud oletus.**
- **Kohtumine Solvay kongressil.**
- **Maa näiv lainekujulisus.**
- **Paljugi, mis teoreetik võib kujutleda!...**
- **Päikesesüsteemi kvantmudel.**

Kuningad, kes tegelesid alkeemiaga. Ega see polnudki muistsetel aegadel nii haruldane: kas mäletate meie kohtumist ühe Rudolf Habsburgiga? Kuid hertsogid ja printsid füüsikutena — ja pealegi XX sajandil! — tõsi, see kõlab peaaegu ebausutavalt. Ometi...

1919. aastal pöördus kahekümne seitsme aastane prints (vanal Venemaal vastas sellele tiitlile vürst) Louis de Broglie pärast pikaleveninud sõjaväeteenistust tagasi rahuaegse tegevuse juurde. Sammudes oma vanema venna, tuntud röntgenikiirguse uurija hertsog Maurice de Broglie' jälgedes (M. de Broglie oli muide meie Teaduste Akadeemia välismaine liige), hakkas hiljutine sõjaväe raadiotelegrafist valmistama ette doktoriväitekirja füüsika alal. Ta töötas Pariisis, oma venna suurepärases laboratooriumis Byroni tänavas, kuid teda ei huvitanud eksperimendid, vaid teoreetilised arutlused. Neist mõtteist ei vabanenud ta ka kodus, kus kõigest õhkus hoopis

teistsuguseid traditsioone. De Broglie'd olid varem ainult väejuhid, diplomaadid, ministrid. Kujutlus maalib pildi vanaaegse lossi sajanditevanusest hämarusest, kus minevikumälestused on tugevamad kõigest. Kuid noorema de Broglie' väitekiri ei arvestanud traditsioone — see rabas oma uudsusega.

Kas ei otsustanud ta peale muu tõestada ka seda, et kuninglike perekondade võsude seas võib lõpuks leiduda inimesi, kes on väärilised seisma ühes reas vaeste pomooride (Lomonossov), provintsi veevärgitööliste (Gauss) ja koloniaalfarmerite (Rutherford) järeltulijatega? ... Muide, midagi selletaolist oli varem tõestanud juba vene vürst Boriss Golitsõngi. Meie sajandi alguseks oli ta suutnud luua oma põlisele suguvõsale mitte sugugi vürstliku, vaid täiesti inimliku kuulsuse, sest Golitsõnist sai väljapaistev füüsik, kaasaegse seismoloogia rajaja ja Plancki eelkäija soojuskiirguse kvantteooria alal. Ent de Broglie'de suguvõsa on Golitsõnite omast vanem ja ajaloos palju tuntum: ühe versiooni järgi on see Prantsuse Bourbonide dünastia mingi Piemonte kõrvalharu. Selline genealoogia pole naljaasi.

Ja võib liialdamata öelda, et lugematute Henri'de ja Louis'de kauge sugulase teened mikromaailma füüsikas on tõepoolest kuninglikud. Esmakordselt üheksa sajandi kestel võrsus Bourbonide seast kuningas!

Kord kirjutatakse temast jutustus. Praegu kogub teaduse ajalugu ise veel materjali. Ja on juba näha, et sellest saab tõeline jutustus: prints de Broglie' teaduslikus tegevuses ja saatuses on midagi sügavalt dramaatilist. Nii paistab vähemalt kõrvalt vaadates.

Raske on ühendada mõisteid revolutsioonilisus ja vanamoelisus. Kuid praegu, nelikümmend aastat pärast tema jakobiinliku väitekirja avaldamist, paistab de Broglie paljudele füüsikuile «vanamoelise revolutsionäärina».

Võib-olla on tema esialgne põhiidee möödunud aastakümnete kestel lootusetult vananenud? Ei, see ei sure. Või on temast aastate jooksul saanud teiste — uuemate — ideede torisev vastane? Ei, on noori füüsikuid, kes just praegu tunnevad tema asjalikku toetust. Mis on siis juhtunud? Kuid oodake, on võimalik veel üks oletus? Võib-olla on konservatiivseiks muutunud just need, kellele ta praegu paistab vanamoelisena?

Ootamatu küsimus. Ja raske. Igal juhul on siin tegemist

erilise nähtusega. Sel lool on vähe sarnasust «vana ja uue» tavalise kokkupõrkega. Siin on ühe inimese hingelises draamas kajastunud, kui soovite, kogu teaduse enda draama, mille üheks rajajaks ta sai tollest päevast 1923. aastal, mil avaldas veel kaitsmata väitekirja esimesed järeldused.

Teaduse draama? Kas see on võimalik?

Töötades 30-ndail aastail populaarteadusliku raamatu «Füüsika evolutsioon» kallal, hüüatas Einstein kord vestluses Leopold Infeldiga: «See on draama, ideede draama...» Einstein teadis, mis ta rääkis!

Mikromaailma kvantmehhaanika on lähteallikaist kaugele edasi läinud, veerikkaks jõeks muutunud, kuid de Broglie pöördub ikka ja jälle tagasi selle ülemjooksule, alguste algusse — omaenda algsete mõtete juurde. Ta suunab pilgu ikka nende veealusesse sügavikku, just nagu poleks miski talle viimaste aastakümnete kestel rahu andnud — miski avastamata jäänu seal ülemjooksul, miski, mis on jäänud lõpuni mõistmata, leidmata, või mis on kahe silma vahele jäänud.

Seda, mis ta viimastel aastatel on rääkinud ja kirjutanud, läbib kaksipidine tundmus: teadus, mille loomises tema osa nii suur ja vaieldamatu on olnud, elab eeskujulikku elu, täis vahetpidamatuid edusamme, ja see äratab temas sügavat rahulolu, mis sarnaneb isatundmusega; kuid samal ajal pole miski peamine selles teaduses talle meele järgi, vaevab, pahandab ja sunnib mõtlema, et kuskil päris alguses jättis ta «pärijaile» ütlemata mingisugused otsustava tähtsusega saatesõnad. Ja seepärast pöördub ta tagasi, et seal, algsete ideede lähteallikate juures, uuesti otsida leidmata jäänut. Lapsed on aga vahepeal liiga iseseisvaks muutunud ja, de Broglie' väljenduse kohaselt, «ei taha oma vanemaid enam tunnistada». Kibedust ja võib-olla koguni nõrd must on tunda de Broglie' lauses, mille ta heitis päris hiljaaegu — 1956. aastal: «Autorid, kes praegu kirjutavad traktaate kvantmehhaanikast, peaaegu ei räägigi enam neist põhiideedest, mis selle sünnitasid.»

Kust see kibedus? Ja poolirooniline sõna — «traktaadid»? Ja see meelepaha autorite vastu, kes on unustanud kvantmehhaanika lähteallikad?

Ärge arvake, et küsimus on auahnuses. Siin on teadlase hinges tõeline mäss.

Kord tõi õige loodusetaju de Broglie nende lähteallikate juurde. Aga hiljem ei nõustunud seesama füüsiku intuitsioon tõenäoliseks tunnistama mikromaailma pilti, mille kvantmehhaanika aastate kestel nii osavalt ja matemaatiliselt rafineeritult välja joonistas. See on vaidlus iseendaga — kõige vaevarikkam teadlasele osaks langeva'st konfliktidest. Vaidlus on seda väärt, et sellesse süveneda, et seda mõista. Te näete, et kõik pole sugugi üksnes de Broglie' isiklik häda.

● K a o t a t u d t r a j e k t o o r i d e m a a i l m — nii näeb välja mikromaailm kaasaegses füüsikas.

Maa lendab ümber Päikese mööda rangelt kindlaksmääratud orbiiti. Jalgpall tõuseb õhku ja laskub väljakule, joonistades ruumis nähtamatu, kuid vajaduse korral täpselt fikseeritava joone. Tugev veejuga purskab voolikust ja selle sädelevas kumeruses on jäädvustatud veetilkade täpsed lennukõverad. Kõik see on kehade liikumine makromaailmas, ümberpaiknemised mööda rangeid trajektoore. Me oleme selles veendunud. Me oleme veendunud, et neid ümberasetumisi on põhimõtteliselt võimalik absoluutse täpsusega välja arvestada ja kindlalt jälgida ühest punktist teise, ühest ajahetkest teise. Newtoni seadused väikeste kiiruste jaoks, Einsteini seadused hiiglasuurte kiiruste jaoks võimaldavad igal juhul ennustada ja ette ära tähistada planeedi, palli, veejoa liikumisjoont.

Me ei suuda kujutleda, et ümbritsev maailm oleks kuidagi te'siti korraldatud. Ükski jalgpallimatš ei toimuks, kui pall võiks kapriisselt valida ettenägematu lennutee. Näib mõttetuna, et me igal hetkel ei võiks suvalise täpsusega öelda, k u s on pall ja k u h u t a liigub. Muidugi, tegevusetult tribüünil su'tsetades on väga raske neile küsimustele vastata, ent kui panna rääkima palli raskuskese, annaks see meile juba kindlasti ühetähendusl'kke vastuseid! Ja kui meie naaber tribüünil ütleks: «Aga teate, see on ju hoopis teisiti!», siis lööksime ainult käega: «Ärge segage mängu jälgimist!» Tõsi, võib-olla meenuks meile kodus, et veidral naabril oli ülikooli lõpumärk rinnas. Kuid ka see ei lepitaks meid mõttega, et oleme viibinud «olematute pallitrajektooride» matšil.

Aga kvantmehhaanika räägib meile, et just selline on aatomi maailm — elementaarosakeste maailm.

See kinnitab, et mõttetu on kõnelda elektronide orbiitidest aatomiruumis.

See väidab, et «mateeria» algaluste käitumine ei allu sugugi täpseile, ühetähenduslikele seadustele.

Just seda de Broglie ei uskunudki. Ta püüdis niisugust vaadet mikromaailmale ümber lükata, kuid neist katseist ei tulnud midagi välja. Siis ta leppis. Kakskümmend viis aastat kestis leppimine — kakskümmend viis aastat õpetas ta Pariisi üliõpilastele kui tõelist teadmist seda, milles ta ise polnud kunagi lõplikult veendunud. Õpetas nagu kõik teised professorid-teoreetikud kogu maailmas. Ent kakskümmend viis aastat hiljem — 50-ndate aastate algul — alustas ta uuesti mässu. Uuesti kuulutas ta: «Ei usu!»

Kaotatud trajektooride maailm ei paistnud matemaatilise väljamõeldise ja füüsikalise mõttetusena mitte ainult talle. Tal oli liitlane — Albert Einstein.

Algusest peale kuni oma elupäevade lõpuni ei nõustunud Einstein tunnistama, et mikromaailm on säärane, nagu seda kujutavad kvantmehhaanika võrrandid ja võrratused. Täpsemalt, mitte need valemid ise, vaid nende füüsikaline tõlgendus, mis on teaduses kinnistunud. Nagu ka de Broglie, nägi Einstein, et valemid on õiged, rõõmustas, et praktika neid laialdaselt kinnitas, vaimustus uue mehhaanika ennustuste täitumisest. Kuid nagu de Broglie arvas temagi, et see mehhaanika «ei mõista» mikromaailma sündmusi. Kirjeldab neid õigesti, kuid ei mõista.

Milline füüsikaline reaalsus peitub valemite taga — seda tahtiski ta teada.

Niisugune küsimus võib näida seadusevastasena, kui katse ise on juba oma otsustava sõna öelnud. Samal ajal on see loodusteaduses kõige loomulikum küsimus. Ja — kõige peamine.

... Newton. Gravitatsiooniseadus. Lihtne valem kahe massi vastastikuse külgetõmbejõu kohta. Taevamehhaanika. Täpseimad kokkulangemised valgusallikate käigu vaatlustega. Ja saja-aastased vaidlused: kuidas on korraldatud maailm, kus mõjuvad gravitatsioonijõud? Mis jõud need on? Kui Maa tiirleks ümber Päikese terastrossi otsas, mille jämedus võrduks Maa diameetriga, siis ei peaks see tross vastu, vaid katkeks ülekoormuse tõttu ja Maa lendaks maailmaruumi nagu lingust vabanenud

kivi. Selle arvutas välja üks füüsik, et eredalt näidata, kui hämmastav on külgetõmbejõud, mis köidab planeete Päikese külge ilma ühegi aine vahenduseta. Mis see siis on, kas massid ujuvad tühjuses? Mõjutavad üksteist läbi käsitamatu eimiski imepärase silmapilksusega? Matemaatiliselt võimaldas Newtoni gravitatsiooniseadus niisugust oletust. Kuid kas võis uskuda s e l l i s e looduspildi tõesusse — sellisesse f ü ü s i k a l i s s e reaalsusse?!

Aatomi sügavusse tunginud kvantmehhaanika tõi sealt kaasa hulga uusi füüsikalisi mõistatusi ja arusaamatusi. Tegelikke ja näilisi. Einstein suri 1955. aastal, jättes kvantfüüsika traktaatide servadele kustutamata küsimärgid, tõestamata paljude teda vallanud kahtluste põhjendatust ja lükkamata ümber seda, millega ta ei suutnud leppida. Kas mäletate tema kirja de Broglie'le «vastikutest kvantidest»? See oli kirjutatud ainult kaks aastat enne surma.

Just tol ajal — 50-ndate aastate algul — astusid peale vananeva de Broglie ka eri maade noored teoreetikud välja oma katsetega kvantmehhaanika matemaatilisi seadusi füüsikaliselt uut moodi tõlgendada. Neid juhtis seesama lootus, mis de Broglie'dki, — lootus saada tagasi mikromaailma kaotatud trajektoorid. Ja nagu kunagi 20-ndail aastail, uue mehhaanika sünniajastul, said meie päevade akadeemilised auditooriumid ja teaduslike väljaannete leheküljed uuesti vaidlusareeniks «vanadel teemadel».

Üldiselt ei ole need vaidlused viimase kolmekümne aasta kestel kunagi kauaks vaibunud. Vaidlesid füüsikud ja matemaatikud, filosoofid ja publitsistid, teoinimesed ja sõnainimesed. Väikeses aatomi maailmas avanenud liikumispildi uudsus rabas kõiki.

Kuid pidevas võitluses mikromaailma mehhaanika ümber oli võib-olla kõige tähelepanuväärsem just Einsteini ja de Broglie' vaimne liit, sest mitte keegi füüsikuist pole tennud rohkem kui nemad uue mehhaanika tekkimiseks koos selle kaotatud trajektooride maailmaga. Nad andsid selle mehhaanika esimesed ideed.

Kas oli kummalise maailma ilmumine siis paratamatu? Mis oli alguste alguses?

● Einstein avastas teoreetiliselt, et valguslainetel on osakeste omadused. See juhtus 1905. aastal.

De Broglie ennustas teoreetiliselt, et aineosakestel on laineomadused. See juhtus 1923. aastal.

Kaudsed, kauged, väga ähmased ja sugugi mitte eksperimentaalsed andmed vihjasid teadlastele, et loodus on võib-olla varustanud mateeriat kõigis selle ilminguis vastupidiste omaduste — laine- ja korpuskulaaromaduste sümmeetriaga. Veendumus, et niisugune sümmeetria või võrdsus ei ole mitte võib-olla, vaid tõepoolest olemas — see ongi alguste algus.

«Selleks et niisugust järeldust julgeda teha, läks tarvis nii palju mehisust..., et nähtavasti ainult kaks füüsikut — Einstein ise ja Louis de Broglie — olid küllalt tugevad.» Nii rääkis tuntud teoreetik Pasqual Jordan — üks neist mikromehhaanika tõlgendajaist, keda de Broglie praegu oma ideelised vanemad unustanud «traktaatide autorite» hulka liigitab. Siinkohal paistab muide välja, et etteheide pole just väga õiglane: tänamatud lapsed oma isade teeneist nii aupaklikult ja vaimustatult ei räägi.

«Einsteinil mõlkus see mõte kaua peas, kuid ta ei avaldanud seda,» loeme edasi, «kuna ta ei saanud mingeid tulemusi, mis oleksid võimaldanud seda kvantitatiivselt formuleerida.»

De Broglie sai sellised tulemused. Ta söandas tõepoolest astuda sammu, mis on mehisuselt haruldane isegi meie sajandi hulljulges loodusteaduses.

... Tavaliselt tekivad füüsikalised ideed nõnda: seletamatud faktid ajavad teadlase ummikusse — ta eeldas, et graafik tõuseb, aga see hoopis langeb; ta ei oodanud, et spektraaljoon osutub äkki miskipärast kahestunuks; ta märkas, et aparaatide osutid hüplevad süstemaatiliselt ilma ühegi nähtava põhjuseta. Kuidas mõista arusaamatut? Võib-olla oletada, et siin on mängus uued jõud või tundmatud osakesed või mingisugused «metsikud» loodusseadused? Kuid nähtavasti paistab niisugune oletus kolleegidele rumalusena. Aga proovigem ikkagi — vaatame, ehk aitab?... Tekib tööhüpotees.

Just niiviisi, rõhutatult tagasihoidlikult, nimetas oma suurt ideed jagamatutest energiaportsjonitest esialgu Max Planck. Ta tundis argust idee revolutsioonilisuse ees — kvandid ründasid liiga paljut, aga ilmusid üheainsa probleemi selgitamiseks. Teadlase argus tema enda töö-

hüpoteesi liiga avarate tagajärgede ees tunnistab meie aja füüsikuile ja filosoofidele hiljem nii palju muret tekitanud kvantteooria täiesti konkreetset «laboratoorset» päritolu.

Nii on alati — seletamatud või õigemini veel seletamata faktid annavad tõuke füüsiku otsivale mõttele. Ja sügavaimategi ideede eksperimentaalne päritolu ei vähenda nende suurust. Ent kui need ideed sünnivad väljapääsu otsinguil laboratoorsest ummikust, tunneb otsiva mõtte vaba lend kogu aeg varem kindlaks tehtud faktide päästvat toetust. Nad ei luba tal eksida. Lennu marsruut pole teada, trassi pole keegi rajanud, kuid lõpp-punkt on teada — see on märgitud eksperimentaatorite päevikuis. Ja lendama asunud teoreetik teab, kus teda ammu ja kannatamatult oodatakse.

Nii oli Einsteinil, kui ta 1905. aastal valgusosakestest rääkima hakkas, sisuliselt juba olemas täiesti kindel eksperimentaalne tõestus oma teooria õigsuse kohta: valguslained ei käitunud alati nagu lained — nad lõid elektrone ainepinnast välja langevate raheterade, mitte aga tuulehoo kombel. Muidugi, seda oli tarvis näha, mõista, avalikkusele kuulutada! Kuid Einstein rajas esimest teed juba asustatud saarele.

Aga juhtub ka teisiti.

Vaevalt oodati Mendelejevit lilledega, kui ta hakkas perioodsuse seadust otsima: hiljaaegu enne tema hiilgavat edu võtsid lugupeetud briti keemikud inglase Newlandsi katseid samasugust seadust leida vastu mõnitava küsimusega: «Aga kas te ei proovinud seada elemente lihtsalt tähestikulisse järjekorda?» Paljude aatomite relatiivne kaal (see, mitu korda nad vesiniku aatomist raskemad on) oli veel ebatäpne, peaaegu kolmandik elemente üldse avastamata. Mendelejev parandas ise paberil aatomikaale, nii nagu seda tarvilikuks pidas, sest ei uskunud katseandmeid: need olid vastuolus tema juhtideega. Ta jättis tabelisse tühje ruute, lootes tulevastele avastustele. Alles teaduse järgmine päev võis tõeliselt kinnitada tema õigsust. Ja kinnitaski, põhjendas uut moodi, täpsustas, kuid jättis alles Mendelejevi printsiibi keemiliste elementide tabeli ehituse kohta.

Niisamuti võis Louis de Broglie arvestada ainult eksperimentaatorite tulevasi edusamme, kui ta 1923. aastal hakkas rääkima «mateerialainetest»: aine l a i n e o m a-

dusi polnud veel mitte keegi mitte kunagi üheski laboratooriumis märganud. Veel vähem kui Mendelejev võis ta loota eelseisvale õnnelikule kohtumisele. Ta lendas esialgu täiesti asustamata saare poole.

Millisel pinnal tema ideed siis tekkisid?

Tõelises teaduses pole ju alusetuid ideesid. Isegi teaduslik-fantastiliste juttude autorid lubavad niisuguseid asju endale harva: kui neid ei seo teaduse järeldused, siis igatahes selle lootused. Ja kui nende kujutlus end sellestki pinnast lahti rebib, siis jäävad nad muidugi fantaseerijaiks, kuid sel pole enam midagi ühist teadusega.

Füüsikuil pole aga sellistki valikut!

De Broglie' vaimusilma ees virvendasid elektronide lubatud orbiidid aatomiruumis. Niels Bohr arvutas need 1913. aastal välja ja nad päästsid Rutherfordi planetaarse mudeli. Kuid füüsikud pärisid endalt juba kümmekond aastat — miks on ühed orbiidid looduse poolt lubatud, aga teised mitte? Miks moodustavad nad diskreetse jada, nagu read ringikujulises amfiteatris või niidid ämblikuvõrgus? Mis sunnib elektrone ühelt püsivalt orbiidilt teisele hüppama? Miks tekib aatomis lubatud energianivoode astmestik — miks astmestik, aga mitte kaldtee?

Kui kummaline see ka pole, aga just selles aatomiolekute diskreetsuses tajus de Broglie vihjet aine laineomadustele. Kummaline seepärast, et igas laines muutub miski pidevalt, aga aatomis on just vastupidi — valitseb pidetus. Kuidas võiks siis kahtlustada mingite laineprotsesside olemasolu?

Kuid kujutleme, et istume mererannal ja loeme ajaviiteks kaldale veerevaid laineid — üks, teine, kolmas... Me loendame neid, kuid meile ei tule pähe, et oma pidetu loendiga kirjeldame väliselt pidevat protsessi. Aga kuulake kella tiksumist. See tähendab ju, et nähtamatu pendli pidevad võnked mõõdavad meie jaoks punktiiriga aega.

Lainetel ja võngetel on üks ja sama oluline joon: perioodiline korduvus, väline jagunevus.

Kuid oodake, kvanthüpetega pole sel jagunemisel veel midagi pistmist — mitte vähimatki! Meie, vaatlejad, hüpleme oma pilguga ühelt laineharjalt teisele või kuulmisega — «tikilt» «takile», aga merevee lainelises liikumises endas või pendlivõnkumises pole pidevust kusagil rikutud. Noh, aga Bohri elektronide hüpped aatomis — need on tõelised hüpped, kusjuures kiiratakse jagamatu

kiirguskvant. Pooli või kaheksandikke kvante ei saa aatom kiirata ega neelata: sellest räägivad diskreetsed aatomispektrid ja arvukad teised eksperimentaalsed tõendid. Kahe energia kvantnivoo vahel pole aatomis mingisuguseid vahepealseid, looduse poolt lubatud nivoosid. Elektron hüppab tõepoolest üle võimatuse kuristiku. See ei meenuta enam libisemist ühelt laineharjalt teisele.

Ja ikkagi nägi de Broglie nende nii erinevate piltide vahel sügavat seost. Sügavat ja väga lihtsat.

Ta mõtles: aga äkki saadab liikuvat elektroni mingisugune laine? Ei, verb «saadab» ei väljenda päris täpselt de Broglie'd vallanud mõtet. Ta arutles: kas pole elektron seotud mingisuguse lainega, mis nagu juhib teda — valitseb tema liikumist? Siis peab elektroni kui osakese käitumises tahtmatult kajastuma selle esialgu tundmatu laine käitumine.

Kutsuge oma kujutluses uuesti esile pilt tillukesest päikesesüsteemist. Elektron lendab teist mööda ühel looduse poolt lubatud orbiidil. Teinud täistiiru ümber tuuma, ilmub ta uuesti teie ette samas punktis, kus te teda kohtasite. Ta ilmub, midagi juurde saamata ja midagi kaotamata nagu tõeline planeet: väljastpoolt pole temasse energiat juurde voolanud ja ka tema ise pole energiat välja kiiranud — orbiit on püsiv, lubatud. Loomulik, et ka oletatav elektroni juhtinud laine peab märgitud punktis välja nägema just nii, nagu pöörde algul: kui tal oli meie punktis hari, siis nüüd, pärast täistiiru orbiidil, peab tal uuesti olema hari. Aga kui oli nõlva keskpunkt, siis peab ta tiiru järel uuesti ilmuma nõlva keskpunkti. Kuidas muidu saaks elektroni olek tema tagasipöördumisel samasse punkti endiseks jääda? Sest kui elektroni käitumises kajastub tema laine käitumine, see aga pole tiiru lõpuks iseendaga kokku langenud, siis tähendab see, et ka elektroni elus on selle ajaga midagi muutunud. Aga muutunud pole siiski mitte midagi: ta lendas mööda püsivat orbiiti.

Kuid orbiiti ei raja elektronile keegi ette. See pole rippraudtee, mis võõtab tuuma vajalikul kõrgusel, nii et elektroni ülesandeks jääb ainult kuulekalt veereda. Elektron joonistab aatomiruumis ise selle püsiva «Bohri trassi».

Nii on meil õigus öelda, et de Broglie' mõtte järgi on sellise trassi luurajaks elektroniga seotud laine.

Elektron kihutab püsivalt mööda selliseid ringe või ellipseid, millele ühe tiiru kestel mahub ainult täisarv tema laineid: üks, kaks, kolm või kakskümmend kolm — see pole tähtis. Tähtis on ainult see, et suletud teele ümber tuuma mahuks tingimata täisarv elektronlaineid. Siis tuleb punkti, kus märkasite laineharja, järgmisel tiirul uuesti hari. Ja ka tuhande tiiru pärast tuleb hari, mitte aga vagu ega nõlva keskpunkt. See aga tähendab, et kuni elektron tiirleb mööda sellist orbiiti, seni ei juhtu temaga midagi.

Vaat milliseid teid mööda juhib de Broglie' laineluuraja elektroni! Pisut hiljem, juba kvantmehhaanika ideede ümber käivate meeletute vaidluste tules, nimetas de Broglie seda «pilootlaineks». Nii aimas ta võimalikku põhimõtet, mille järgi loodus ühtesid orbiite lubas ja teisi keelas: lubatud on need, kuhu mahub täisarv elektronlaineid.

Nüüd saab kohe selgeks, miks aatomis püsivate olekute astmestik tekib. Kaks lubatud Bohri orbiiti ei või asuda tihedalt teineteise kõrval: oleksid nad lõpmatult lähedal, erineksid nad pikkuse poolest lõpmatult vähe. Aga just see ongi võimatu — üks peab olema teisest pikem vähemalt terve elektronlaine võrra! Kui need on ringid, ilmub nende vahele rõngakujuline vahe. Teiste sõnadega, elektroni püsivad teed aatomis peavad tõepoolest seisma üksteisest eemal nagu read tsirkuse amfiteatris, mis erinevad toolide arvu poolest — mitte poole ega kolmandiku tooli võrra, vaid nende täisarvu — ainult täisarvu! — võrra.

Siis on selge ka teine, kõige peamine asjaolu: elektron ei või tõepoolest sujuvalt ühelt orbiidilt teisele minna: ta on sunnitud katma ebapüsivuse kuristiku ühe hooga — ühe hüppega.

... Nii tuli füüsikale kasuks täiesti sisutuna ja tühisena näiv tegevus — randa veerevate lainete loendamine: üks, teine, kolmas... Elektroni lainelises loomuses, mida veel keegi polnud vaatlustel jälginud ja millest ükski katse polnud teatanud, nägi Louis de Broglie aatomi kvantolekute diskreetsuse — energianivoode kvantastmestiku — võimalikku põhjust.

Nagu varemgi, ei huvita meid üksikasjad. Nagu varemgi, köidab meid kõige vähem see, mis kõige enam huvitab füüsikuid: need teadusliku tunnetuse mitmekesised detailid, kus pesitsevad lõksud ja kapriisid, need «pisiasjad», millega uued teooriad oma võidukäigul kokku põrkavad. Kuid see, mida siin ei tohi vahele jätta, pole detailid, vaid kõige tähtsam.

Kujutlege, et de Broglie oleks öelnud üheainsa lause: «Ma arvan, et elektron ei ole mitte ainult osake, vaid ka laine.» Tõenäoliselt poleks keegi sellele vähimatki tähelepanu pööranud.

Kui ta oleks järgnevalt esitanud tõsiseid kaalutlusi niisuguse mõtte kasuks, oleks see tõenäoliselt avaldanud sügavat muljet ainult füüsikuile ja näinud mõttetusena teistele. Kuid isegi tema ideede pooldajad poleks ikkagi riskeerinud teatada, et mikromaailma teaduses on tehtud tähtis avastus.

Pjotr Nikolajevitš Lebedev meenutas ühes kirjas Timirjazevile Mendelejevi sõnu: «Nojah, eks öelda võib ju kõike, aga katsu demonstreerida!»

Kui palju hämmastavaid ennustusi on maetud kõigi maade ja aegade teadlaste loenguisse ja kõnedesse, päevikuisse ja kirjadesse! Mööduvad aastakümned ja sajandid — ajaloolased leiavad neid hea õnne peale puistatud ivasid ja näevad reeglina üht ning sama pilti: ei olnud sobivat pinnast, et juhuslikult külvatud seeme oleks idanema hakanud. Nad näevad: hämmastavalt õiged aimingud ei suutnud veel rangeiks valemeiks vormuda ega vajalikke eksperimente dikteerida. Nad näevad: teadusel polnud nende mõttevälgatustega veel midagi peale hakata.

Herzen imetles «Möödunus ja mõtteis» andekat Moskva füüsikaprofessorit Mihhail Pavlovit. Tema imetlus oleks sajakordseks kasvanud, kui ta oleks suutnud hinnata, mida Pavlov sada aastat enne Rutherfordi aatomi planetaarsest ehitusest rääkis. Kas pole see prohvetlikkus? Kuid täiesti seaduspäraselt ei jätnud idee teadusse mingit jälge. Möödunud sajandi algul ei võinud see saada füüsikute juhtideeks — see ongi unustamise ainus põhjus. Ei Pavlov ega tema kaasaeglased teadnud aatomeist midagi tõsikindlat, nad ei teadnud midagi kiirgamise viisidest, neil polnud ettekujutust isegi energia jäävuse seadusest. Pavlov poleks midagi suutnud välja arvutada ega mõõta. Ta oleks olnud

niisama jõuetu oma õigsust tõestama kui teised seda ümber lükkama.

Aga Lebedev? Ka tema jõudis kolmkümmend aastat enne Rutherfordi mõttele planetaarsest aatomist. Kuid jällegi — oli vara, liiga vara! Ja ta usaldas oma hämmastava mõttekäigu ainult päevikule: kogu elu ta a r v u t a s ja m õ õ t i s, aga siin ei saanud isegi arvutama ja mõõtma asuda. Täis ideesid ja kavatsusi, pidas ta põhjendatult meeles Mendelejevi suurepäraselt täpseid ja pahaseid sõnu: «Eks katsu demonstreer.da!»

Kümme aastat enne Rutherfordi mõtles planetaarse aatomimudeli välja Jean Perrin. Nad olid sõbrad, kuid Perrin ei vaevunud isegi vihjama oma ideele, sel ei olnud praktilist mõtet: minge.d oluliselt tähtsaid järeldusi planetaarse aatomimudeli kasuks prantslasel ei olnud.

De Broglie ei esitanud oma oletust liiga vara ega liiga hilja, vaid haruldaselt õigel ajal. Kuigi ta lendas asustamata saare suunas, olid füüsikal lennu jaoks navigatsioonikaardid juba valmis. Ta võis valada oma mõtte eeldatavaisse valemeisse ja eksperimentaatoreile võimalikke mõõtmisi ette öelda.

Aga mida oli õieti tarvis teoreetiliselt välja arvestada ja pärast laboratooriumides mõõta? See tulenes iseendast kahepalgelise elektroni — osakese-laine — ideest.

Korpuskulaarse olendina on tal oma liikumisimpulss: massi ja kiiruse korrutis (meenutage osakeste pild.stamist füüsikalaboratooriumides). Lainekujulise olendina — kui see oletus on õige — peab tal olema oma lainepikkus ja mingi võnkeprotsessi sagedus (meenutage footoneid — valguskvante). Elektron on selles kahes olemuses ühtne. Järelikult, kas peab olema mingi side — täpne kvantitatiivne side! — tema mõlemate palede vahel? Tingimata. Kui näiteks elektroni impulss on suur, on tema oletatav lainepikkus väike... Või m'dagi selletaolist. Ühesõnaga, olgu see seos siis keeruline või lihtne, kuid ta peab olema!

Seda oligi just tarvis leida — demonstreerida algul puhtmatemaatiliselt, te.sendustega paberil, katsed ei võinud siin veel aidata!

De Broglie tegi seda. Töökabineti rahulikus vaikuses saavutas see hiljuti sõjaväeteen.stusest tagasipöördunud prints, sugugi mitte kangelasliku välimusega inimene, kes ei toonud mingit kuulsust Prantsuse armeele ega laevastikule, omakasupüüdmatu rüütelliku võ.du nähtamatu

põgeneva vaenlase üle — inimestele tarvilikuma võidu kui kõik tema esivanemate kangelasteod kõigil vana Euroopa turniiridel ja lahinguväljadel kokku.

Kümne aasta kestel oli Einsteinil kaks korda võimalus imetleda kahe oma noorema kaasaeglase füüsikalist mõttekäiku. Selle tunde kutsus temas esile Bohri «mõtlemise musikaalsus», kui see 1913. aastal elektronide orbiitidest rääkis. Ja sellesama tundmuse äratas temas lihtsus, millega de Broglie 1923. aastal arvutas välja kõigile tundmatute elektronlainete pikkuse. (Noore prantslase panust kaasaegsesse füüsikasse nimetas ta geniaalseks.)

Siin ongi de Broglie' valem, mis Einsteini vaimustas:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

kus λ — on osakese massiga m seotud lainepikkus,
h — Plancki konstant,
v — osakese kiirus.

Tuli välja nii, et tavaliste «laboratoorsete» elektronide — mitte väga kiirete ja mitte väga aeglaste — lained pidid lühiduselt võistlema röntgenilainetega. Peagi alustasid eri maade eksperimentaatorid katseid, mis varem täieliku mõttetusena oleksid paistnud — mingisuguste «mateerialainete» püüdmist.

Aga miks oli tarvis neid püüda? Kas elektroni kummalise lainekujulisuse tõestamiseks ei piisanud sellest, et see seletas hästi Bohri orbiitide pidetust aatomeis? Ei piisanud! Kes oleks taganud, et loodusel pole elektroni arusaamatu kahepalgelisuse asemel varuks mõni teine — tõepärasem põhjus kvantide hüpeteks mööda lubatud energianivoode astmestikku aatomis? Kes oleks võinud vanduda, et kujund «osake-laine» pole teoreetiku alusetu väljamõeldis, osav, õnnestunud, kuid siiski väljamõeldis?

Elektroni kahepalgelisust tuli kontrollida otseste katsetega.

Elektron-osake... Seda polnud tarvis kontrollida: ta avastatigi kui osake, kui «elektriaatom».

Elektron-laine... Seda oli võimalik kindlaks teha, uurides laboratooriumides, kas ta suudab sooritada tegusid, milleks on võimelised ainult lained.

Kõige piltlikum sellistest tegudest on takistuste taha paindumine: seesama difraktsioon, mis viis omal ajal võidule valguse laineteooria.

● Nagu alati, kui loodusteaduses toimuvad hiiglaslikult tähtsad sündmused, teatasid ka 20-ndate aastate lõpul ja 30-ndate algul isegi päevalehed väga vähestele arusaadavate uurimuste edusammudest. Avastati elektronide difraktsioon — nad paindusid ümber takistuste niisama vaieldamatult kui valguskiired. Või röntgenikiired. Nad paindusid ümber aatomite kristallvõrede niisama selgelt, nagu merelained kaarduvad ümber muuli.

Tänapäeval võib igas aatomifüüsika-alases raamatus, kus räägitakse «kõigest järjekorras», näha kahte fotot: ühel kristalli difraktsioonipilti röntgenikiirtes, teisel — sama kristalli difraktsioonipilti «elektronkiirtes». Need on peaaegu niisama sarnased nagu ühe negatiivi kaks tõmmist. Hämmastav sarnasus avaldab praegugi sügavat muljet. Kolmkümmend aastat tagasi mõjus see aga vapustavalt. Ja põhjust on kerge mõista.

De Broglie meenutab, et tema väitekiri võeti «esialgu vastu imestusega, millesse segunes kindlasti teatud osa skeptitsismi».

Ja tõepoolest: kas oli kerge nõustuda mõttega, et kogu aine meie ümber ja meis endis — ühesõnaga, kõikjal looduses — koosneb osakestest, millel on ka teine pale — mingi lainekujulisus?! Füüsikud ei jõudnud veel täielikult harjuda valguse kahesusega: juba kaks aastakümmet eksisteeriv kujutlus kiirguskvantidest — valgusosakestest — polnud veel vormunud sõnasse «footon» (mäletate, see sõna ilmus alles 1926. aastal). Siin aga soovitati juba uskuda ka aine kahesust! Ei, seni kui see tõde jäi kabinetitõeks, mida paberil matemaatiliste märkidega esitati, oli kergem mitte pidada seda tõsiseks füüsikalıseks tõeks. Veel võis endale lubada selle kulul nalja heita — matemaatilistes nägemustes võib viirastuda igasugune fantastika!

Abram Fjodorovitš Joffe jutustas ükskord, kuidas ta 1923. aastal, neljandal füüsikute Solvay kongressil Brüsselis, tutvus Paul Langeviniga. Tutvust varjundasid tolle aja poliitilised ja puhteaduslikud kired. Langevin, väljapaistev füüsik ning ühiskonnategelane, haruldaselt õilis ja julgete veendumustega inimene, põlgas Prantsusmaa valitsejaid eesotsas Raymond Poincaré'ga, hiljutiste veriste Entente'i sõjakäikude organiseerijaid noore Nõukogude vabariigi vastu. Füüsik revolutsiooniliselt Venemaalt Solvay kongressist osavõtjate hulgas! — rõõmustav

avastus Langevini jaoks. Ta palus Joffet uskuda, et tema, prantslane, tunneb häbi Poincaré' Prantsusmaa pärast. Langevin oli igas suhtes väga sõbralik. Ta rääkis võrdse avameelsusega nii poliitikast kui oma teaduslikest vaadetest.

Muuhulgas jutustas ta Joffele, et üks tema õpilane Pariisis esitanud erakordselt huvitava väitekirja. «Dissertandi ideed on muidugi jampslikud,» ütles Langevin, «kuid need on arendatud nii elegantselt ja hiilgavalt, et ma lubasin väitekirja kaitsmisele.» Ta nimetas töö autori nime: Louis de Broglie.

Abram Fjodorovitš Joffe meenutas seda lugu vestluses kahe literaadiga 1960. aasta veebruaris. Niisugused asjad seisavad meeles ka 37 aastat hiljem! Täis suurimat austust Langevini vastu, kordas akadeemik Joffe muigega tema tookordseid sõnu. Muie tähendas: «Langevini ei või pimeduses süüdistada — ta oli teadlane teisest põlvkonnast kui de Broglie.»

Üks Joffe vestluskaaslastest, kirjanik Daniil Granin töötas tol ajal romaani kallal, kus tegelasteks olid füüsikud. Ta sõnas otsekohe: «Kuid Langevini avarahingelisus on tähelepanuväärne — nõustumata õpilase ideedega, andis ta tema väitekirjale siiski eluõiguse.» Aga teine kaasvestleja — nende ridade autor — mõtles otsekohe, kui huvitav on see lugu ära tuua jutustuses kaasaegse mikromaailma mehhaanika sünnist. Ühesõnaga, kumbki meist vaatas vana akadeemiku jutustatud episoodile oma vaatenurga alt. «Selline ongi see Einsteini ideede draama!» mõtlesin.

Siin oli tõepoolest kõik tähendusrikas.

Mõelge, nõukogude füüsik oli 20-ndate aastate algul rahvusvahelisel kongressil omamoodi imeasjaks, ehkki üks revolutsioonilisemaid ajajärke looduse tunnetamises ei langenud sugugi juhuslikult ühte kõige revolutsioonilisema ajajärguga inimkonna sotsiaalses mõtlemises, ja külaline noorelt Venemaalt oleks pidanud olema aukülaliseks mitte ainult tulevase kommunisti Langevini, vaid ka kõigi teiste teaduseinimeste arvates. Tähendusrikas oli Langevini tahtmatu häbitunne hädade pärast, mida Lääne reaktsioon oli revolutsiooni kodumaale toonud. Dramaatiline oli ka tunnetamata konflikt teadlase hinges — konflikt tema ajalooliste vaadete julguse ja teaduslike vaadete ettevaatlikkuse vahel. Mõtet erutas varjatud

lahkuminek õpetaja ja õpilase vahel; sellest aitas üle saada ainult Langevini eetiline avarus, millest Granin kohe vaimustusse sattus. Muide, kas ainult eetiline? Võibolla andis Langevin õnnistuse de Broglie' «elegantsele, kuid jampslikule» väitekirjale peale muu ka seepärast, et tundis salajas: õpilasel võib olla õigus, kuigi ta ei suutnud sellega leppida? (On teada, et Langevin saatis ise de Broglie' töö Einsteinile tutvumiseks. Tähendab, ta tunnetas selle tõsidust, selle tähtsust ja sügavust?)

Vana episood heitis imeheledat valgust kvantfüüsika sünnivaevadele.

Möödus kolm aastat de Broglie' väitekirja kaitsmisest. Ja kogu maailma teaduslikes ajakirjades hakati avaldama kristallide «elektronfotosid», mis olid täiesti sarnased heade röntgenogrammidega. Ja katseandmed tõestasid soovitud täpsusega de Broglie' valemi elektronide lainepikkuse mõõtmiseks! Te olete nõus, et sellised sündmused ei saanud kaasaegseid ükskõikseks jätta.

(Tõepoolest hämmastav, et aine laineomadusi ei avastatud esmakordselt Pariisis Byroni tänava laboratooriumis, kus palju aastaid töötas röntgenikiirtega vanem de Broglie, Maurice. Sest selles laboratooriumis tehti hulgaliselt katseid fotoelektrilise efekti alal, kus röntgenikiired ilmutasid osakeste voo omadusi. Ja seal sündisidki esmakordselt noorema de Broglie' teoreetilised ideed...)

Kabinetitõe tõestus tuli kõigepealt Davissonilt ja Germerilt Ameerikast, siis Thomsonilt — vana J. J. pojalt — Inglismaalt, siis Kikutšilt Jaapanist, Ruppilt Saksamaalt, seejärel Tartakovskilt Nõukogude Venemaalt. Ja veel ja veel — kõige erinevamate maade laboratooriumidest. Paljukordselt ja kõikvõimalikel viisidel, ent iga kord otseselt ja vahetult tõestatuna, muutus elektroni lainekujulisus samasuguseks ümberlükkamatuks f ü ü s i k a l i s e k s faktiks nagu tema korpuskulaarsuski.

Nii avastati elektron teistkordselt.

Ja veel kõlavamalt — see oli sisuliselt aine teistkordne avastamine, teistkordne, pärast seda, kui avastati, et ta koosneb aatomiteradest.

20-ndate aastate lõpul oli kõikjal, kus inimesed rääkisid akuutsetest küsimustest, tänaval ja koduse teelaua taga, rongides ja kohvikutes, tavaline asi, et täielikud võhikud esitasid suhteliselt teadlikumaile küsimusi «materialainete» kohta, nagu tänapäeval päritakse üksteiselt sala-

dusliku antiaine, arusaamatu paarsuse jäävuse seaduse niisama arusaamatu ümberlükkamise, tundmatu pramateeria ja muude selletaoliste asjade kohta.

Ammune üleüldine huvi mikromaailma uute kummaliste nähtuste vastu oli tõepoolest sama päritoluga kui tänane huvi uusimate veidruste vastu. Muidugi, looduse jaoks on igasugused veidrused — nii uued kui uusimad — niisama vanad kui ta ise. Ent inimene avastab neid ükshaaval. Ja me ei tea, mille üle meil veel imestada tuleb.

Väljaspool kahtlust on ainult tõik, et ükski hämmastus ei jää viimaseks.

Ja maailma tundmaõppimise rõõm on ainuke, mil ei tule lõppu inimese elus. Mida abstraktsem see on, seda omakasupüüdmatum. Ning see on võrdkättesaadav kõigile — nii akadeemikule kui ka lapsele: siin pole küsimus haridusastmes — inimkonna parandamatu kire ees teada saada, kuidas maailm on ehitatud, on esimese klassi õpilane ja teaduste doktor täiesti võrdsed. Janu on üks, ainult kustutatakse seda erinevalt.

Ent kui nende tunnetamisrõõm on üldiselt üsna sarnane, siis mitteteadmise kurbus on täiesti erinev. Ah, kui akadeemikul oleks lapse veendumus, et maailmas on olemas täiskasvanud, kes teavad kõike! Kuid ei, esireas sammuv teadlane võib vastuse saamiseks pöörduda ainult looduse enda poole. Ja tema elus ei käi maailma tundmaõppimise rõõmudega kaasas mitte koolipoisi ebameeldivused, nagu kahed, vaid palju kaalukamad mured.

Kas teadis de Broglie, millist meelekibedust toob temale ja millist segadust külvab füüsikas, füüsika järel aga kogu loodusteaduse filosoofias, mingisuguste «mateerialainete» avastamine?

1923. aastal ta seda ei teadnud. Kuid kolmkümmend aastat hiljem oli ta sunnitud lausuma meile juba tuttavad sõnad, et lainete-osakeste kahepalgeliste omaduste avastamine oli «kõige dramaatilisem sündmus kaasaegses mikrofüüsikas».

● Jõudsime veendumusele: juba esimesed teaduse avastatud elementaarosakesed — footon ja elektron — avaldasid füüsikuile mateeria niivõrd aimamatu saladuse, et mikromaailm ilmus nende ette täiesti ootamatul kujul.

Footon Einsteini abiga ja elektron de Broglie' abiga jutustasid füüsikuile, et mateeria on oma sügavustes kahe-

palgeline. Ühtmoodi kahepalgeline nii aine aatomisügavustes kui ka jõuväljade struktuurisügavustes, nii et elementaarosakeste maailmas kaob erinevus aine ja väljade vahel: kõik «mateeria algalused» on «kentaurid», osakesed laineomadustega või lained osakeste omadustega.

Midagi selletaolist klassikaline füüsika ei teadnud. Tal polnud kunagi tegemist nii kummaliste asjade maailmaga. Kas mitte sellepärast, et ta lahkas loodusseadusi teistes — võrratult suurema mastaabiga nähtustes?

Jah, just sellepärast. Eelkõige sellepärast. Siin on väga selgesti näha, kuidas kvantiteet läheb üle kvaliteediks.

Kui de Broglie otsis sidet elektroni osakese- ja laineomaduste vahel, siis oli tal õigus ignoreerida selle aine mikrodetaili teisi iseloomulikke jooni. Laeng? Võimalikud mõõtmed? Tõenäoline kuju?... Kõik see polnud tema eesmärgiks oluline. Niisama polnud Keplerile planeetide liikumise seaduste kindlaksmääramiseks tähtsad ei Marsi punakas värv ega Päikese temperatuur. Elektron oli de Broglie' jaoks liikuv moodustis mateeriast ja muud midagi — tükk mateeriat kahes ilmingus: korpuskulaarses ja lainelises. Iga teine mateeriatükk, mis on elektroniga massilt võrdne — näiteks tol ajal veel avastamata positron —, oleks pidanud omama ka elektroni laineomadusi. Kui me võiksime tooli küljest ära lüüa elektroni kaaluga laastukese, siis oleks sellelegi omane seesama lainekujulisuse mõõt.

Lühidalt öeldes, de Broglie' ennustatud aine laineomaduste jaoks pole liikuva massi individuaalseil iseärasustel absoluutselt mingit tähtsust. Tema kuulsas valemis oli «mateerialainete» pikkus seotud ainult keha massi ja kiirusega.

Ent nii prooton, tinahaavel kui ka maakera on kehad. Need kõik on mateeria tükid, massi ivakesed. Prooton on elektronist kaks tuhat korda massiivsem. Haavel on prootonist miljardeid triljoneid kordi massiivsem. Maa on kõigi oma mägede ja ookeanidega, linnade ja inimestega kujuteldamatult massiivsem kui haavel. Ent mehhaanika suhtes on ka tema ainult liikuv mass. Kas see tähendab siis, et nii Maale, haavlile kui ka prootonile peab olema omane mingi de Broglie' avastatud lainekujulisus?

Kahtlemata!

Loodus ei tunnista jäiku piire. Pole alust mõelda, et ta võis kinnistada laineomadused ainult mingitele väga väi-

kestele liikuvatele massidele, suuremaile aga ütles — «saate ka ilma hakkama». Väike mass, suurem, väga suur — kõik need on inimlikud, maised mõõdud, aga maailmaruumi majapidamises on sellised hinnangud puhttinglikud. Kas elektron ongi nii väga väike, kui ta on sadu kordi massiivsem nähtava valguse kvantidest?

Jah, ega polnudki liiga suuresõnaliselt öeldud, et elektroni kahesuse avastamine oli just nagu aine teiseks avastamiseks: kahepalgelisus — laine-osake — peitub kõigi füüsikaliste kehade olemuses. Elektron pole erand, vaid ainult reegli piltlikem kinnitus.

Tähendab, klassikaline mehhaanika oli pime? Kuigi ta ise seda ei aimanud, oli tal juba tegu kentsakate kentauridega? Muidugi. Ent õigem oleks öelda, et Newtoni mehhaanika polnud pime, vaid poolenisti nägija: ta nägi suurepäraselt kõigi kehade korpuskulaarsust ega märganud ainult nende laineomadusi. Aga kuidas võis siis juhtuda, et niisugune fundamentaalne liikuva mateeria joon lipsas tema tähelepanu eest kõrvale?

Meil tuli juba tegelda sellise küsimusega jutustuses relatiivsusteooriast. Ka seal tekkis arusaamatus: kuidas võis möödunud sajandite füüsikute läbinägeliku pilgu eest varju jääda nii loomulik ja samal ajal ülihämmastav, igal sammul toimuv ja samal ajal nähtamatu sündmus kehade kiiruse suurendamisel? Vastus oli lihtne ja vaieldamatu: meie aeglaste esemete maailmas on massi kasv nii tühiselt väike, et ei võinud tajutavalt ilmuda ega endast teada anda mitte üheski reaalses katses. Kõik nähtavad sündmused Maal, isegi kõige kiiremad, kulgevad selliselt, nagu ei mõjuks kiirus massile vähimalgi määral. Einsteini valemid näitasid seda piltlikult. Neis ei olnud mitte ainult uue teadmine, vaid ka füüsikute endise teadmatuse tingimusteta õigustus.

See viib otsekohe mõtteni: kas pole ka maapealsete kehade, planeetide ja tähtede laineomadustega lugu niisamuti? Nähtavasti on de Broglie' ennustatud lainekujulisuse mõõt nende jaoks samuti liiga pisike ja seepärast ei saanud keegi kunagi seda varem märgata.

Jah. Ja de Broglie' valem «mateerialainete» pikkuse jaoks näitas seda üliselgesti. Selleski ei avaldunud mitte ainult uue teadmine, vaid ka klassikalise mehhaanika tahtmatu pimeduse absoluutselt veenev seletus. «Mateerialainete» pikkus sõltub ühesuguse kiirusega liikuvail erine-

vail kehadel väga lihtsalt nende massist: mida suurem on mass, seda lühem on de Broglie' lainete pikkus. Hiiglasuurte masside jaoks on lainepikkus kaduvväike.

Ja on väga lõbus, kas või Newtoni ja kõigi sajandite kõigi eksperimentaatorite õigustuseks kujutleda, kui suur on meie Maa lainekujulisus, kui planeet lendab ümber Päikese kiirusega 30 kilomeetrit sekundis. Muide, reaalselt kujutleda «maalaine pikkust» — kasvõi kujutleda, aga mitte eksperimentaalselt mõõta! — on täiesti teostamatu kavatsus: nii vähe erineb see nullist.

Tõepoolest, vaadake ise.

Maa mass on 6 000 000 000 000 000 000 000 000 000 grammi.

See on 27 nulliga arv. Aga elektronide mass on nii väike, et ühte grammi mahub neid kujutlematu hulk, täiesti juhuslikult mõõdetakse seda arvuga, milles on samuti 27 nulli. Korrutage need kaks arvu, ja te saate teada, mitu korda on Maa elektronist massiivsem — ligikaudu 10^{54} korda!

Ent just niisama palju kordi on «maalaine» l ü h e m «elektronilainest», kui elektron lendab Maa kiirusega 30 kilomeetrit sekundis. Tõsi, nii aeglaste elektronidega on füüsikuil harva tegemist. Kuid meie jaoks pole see oluline. Meile on tähtis ainult see, et de Broglie' lainete pikkus on nii laiskadel elektronidel sama suur kui nähtamatute ultraviolettlainete pikkus. Seda mõõdetakse sadade ongströmitega — spektroskopistide poolt spetsiaalselt kasutusele võetud tillukeste pikkusühikutega: üks ongström on 10^{-8} sm ehk üks sajamiljondik sentimeetrit. (See pikkusühik sai nimetuse rootsi füüsiku Anders Ångströmi järgi, kes mõõdunud sajandil väga täpselt mõõtis lainepikkusi päikesespektris).

Ongströmitega mõõdavad füüsikud aatomite suurustki. Seesama «elektronilainete» aatomimastaap võimaldas otsese katsega kontrollida elektronide lainekujulisust.

Kuid isegi tühiselt väike suurus, näiteks mingid 100 ongströmit tuleb jagada arvuga, kus on 54 nulli, et saada teada «maalainete» ligikaudset pikkust: see on 10^{-60} sentimeetrit! Millistes nähtustes võib nii nullilähedane suurus mingit osa etendada? Kuidas võidi seda märgata ja arvestada taevakehade liikumise seaduste uurimisel?

Te näete, et klassikalise mehhaanika pimedus oli andestatav.

● Füüsikud võrdlesid aatomit päikesesüsteemiga. Aga mis siis, kui teha vastupidi — võrrelda päikesesüsteemi aatomiga?

Valitsegu selles nagu aatomiski Bohri kvanthüpped. Olgu seal nagu aatomiski ainult lubatud orbiitide pidevuseta rida. Sarnasuse põhjal tähendab see, et planeedid võivad püsivalt ümber Päikese liikuda ainult mööda neid ellipseid, kuhu mahub tingimata üksnes täisarv «planeedilaineid». Teised ellipsid on keelatud.

Ja nüüd — Maa.

Oletame, et ta liigub mingil põhjusel Päikese-tuuma poole kas või ühe ongströmi võrra — sajamiljondiku sentimeetri võrra. Ja olgu tema uus orbiit samuti lubatud, s. t. mahtugu sinna samuti täisarv «maalaineid». Rõngakujulisse vahesse vana ja uue orbiidi vahel mahuks, ehkki suure vaevaga, vesiniku aatom — selle diameeter võrdub ligikaudu ühe ongströmiga. Tuleb välja, et kogu oma väiksuse juures on Maa nihe Päikese suunas reaalselt tajutav, vähemalt aatomimastaabis. Aga mõtelgem järele, kui palju lubatud orbiite on Maa jaoks selles rõngakujulises vahes?

Rõnga laius on «maalaine» pikkusega võrreldes kohutavalt suur: terve ongström. Aga uus, Päikesele lähem orbiit ei ole vanast lühem mitte ühe, vaid koguni mitme ongströmi võrra. Tähendab, see erineb vanast loendamatu hulga «maalainete» poolest: isegi ühes sajamiljondikus sentimeetris mõõtub nende lainete hulk 52 nulliga arvuga! Aga kui nihe oleks nii väike, et ta kaotaks ainult ühe «maalaine», oleks uus orbiit samuti lubatud. Järelikult mahub meie aatomilaiusse vahesse veel jumal teab kui palju lubatud orbiite. Ja tõeliselt naaberorbiitide vahele ei mahu enam ükski aatom. Ükski elektron. Ja üldse mitte miski reaalselt eksisteeriv.

Mitte ainult maistes, vaid isegi tillukestes aatomimastaapides on pikkus suurusjärguga 10^{-52} ongströmit või 10^{-60} sentimeetrit tabamatult väike, lihtsalt eristamatu. Kui nii tohib väljendada, siis pole see reaalsem nullist.

Niisiis, mis tuli välja meie katsest allutada päikesesüsteem Bohri aatomi jaoks mõeldud kvantseadustele? Mitte midagi uut. Mitte midagi uut klassikalise mehhaanika seadustega võrreldes.

Tuli välja, et praktiliselt on planeetide jaoks looduse poolt lubatud igasugused orbiidid. Lubatud ellipsid liibu-

vad nii tihedasti üksteise vastu, et kaugused nende vahel on täiesti tajumatud. Mingit pidetust — reaalset pidetust — pole olemas.

Planeetide ja Päikese vastastikuse külgetõmbejõu energianivood, mis sõltuvad orbiitide raadiustest, ei moodusta kuigivõrd märgatavate astmetega trepistikke. Need energia lubatud kvantnivood sulavad planeetide jaoks ideaalseks lauskjaks kaldteeks.

Kvanthüpetest ühelt nivoolt teisele oleks täiesti mõttetu rääkida.

Seepärast ei aimanudki klassikaline mehhaanika mitte mingit sellist veidrust. Loodusnähtuste vallas on ta ülimalt täpne. Oli täpne ja jääb täpseks.

Aga põhjus on selles, et maa lainekujulisus on näiline. Selle hiiglasuure mateeriatüki, gigantse «aineosakese» de Broglie' poolt avastatud värin on, kasutades väljendust, millega Tšitšikov rääkis surnud hingedest — «noh, lihtsalt ptüi!»

Niisama näiline on ka mõne kümnendikgrammise haavli lainekujulisus. Selle mass on tühine ainult senikaua, kuni me pole seda võrrelnud elektroni massiga. Aga niipea, kui oleme sellise võrdluse teinud, läheb meil tarvis 26 nulliga arvu, et näidata haavli ülekaalu. Kui haavel ja elektron lendavad ühesuguse kiirusega, siis on ka «haavlilaine» elektronilainest niisama palju kordi lühem. Jagage ongström või sada ongströmit selle arvuga ja te saate meie ümmargusele tinatükile omaste «mateerialainete» pikkuse ligikaudse hinnangu. See on umbes 10^{-34} või 10^{-32} sm.

Jällegi ei saa kujutleda eksperimenti nii väikese pikkuse mõõtmiseks ruumis.

Sest vajalikku katset välja mõelda tähendab leida füüsikaline efekt, kus niisugune kaduvväike erinevus kahe pikkuse vahel avaldaks reaalset mõju. Aga selliseid efekte pole looduses teada. Võib-olla leitakse neid aja jooksul? Vaevalt küll. Füüsikuil on tänapäeval tõsine alus mõelda, et maailmaruumis pole üldse füüsikalisi nähtusi, mille käigus võiksid kajastuda nii väikesed ruumilised muutused. (Selle oletuse varjus peitub üks kõige hämmeldavamaid kaasaegseid füüsikalisi ideesid — kujutlus väikseimatest, jagamatutest ruumikvantidest. Mõned teoreetikud eeldavad, et need on «elektronisuurused rakud»: kujutlege kuupi servaga 10^{-13} sentimeetrit! Kui mõte sellistest

minimaalsetest «ruumiportsjonitest» on õige, siis on selge, et füüsikaliselt ei saa avastada mitte mingisuguseid protsesse, mis sõltuksid väiksematest suurustest, just nagu ei saa jaotada jagamatut kiirguskvanti.)

Jääb üle lahkuda hiiglasuurte mastaapide maailmast — selliste massiivsete kehade maailmast nagu maakera või haavel. Tuleb mikromaailma tagasi pöörduda.

Me oleme võlgu vesiniku aatomi tuumale. Maakera ega haavel ei teinud läbi praktilist eksamit lainekujulisuses. Aga kas prooton tuleb toime?

Jah, muidugi.

Tema mass on üsnagi väike, nii et «prootonilainete» pikkus osutub küllalt suureks. Tema lainekujulisus on täiesti reaalne.

Ja tõepoolest: kuna massi poolest on prooton ainult kaks tuhat korda elektronist suurem, siis on tema lained ainult kaks tuhat korda lühemad. Aga see polegi nii hirmus väike suurus. Tuhandikud ongströmid on aatomi mastaabis võrdlemisi märgatavad. See on märksa suurem elektroni läbimõõdust, kui kujutleda viimast kerakesena, — mitukümmend korda suurem! Aga sel juhul ei või «protoonilained» eksisteerida, jätmata jälge aatomimaailma sündmustele.

Ja tõepoolest, vesinikutuumade lainekujuline käitumine tehti laboratooriumides kindlaks otseste katsete teel: nendegi voog kaardub kristallvõredes takistuste taha, seegi annab tüüpilise difraktsioonipildi. See oli füüsik Dempsteri peen eksperimentaalne saavutus, mida teised hiljem palju kordi kordasid. On kerge aimata, et see oli veel peenem kui kristallide «pildistamine» elektronkiirtes.

Nii kinnitas ka prooton footoni ja elektroni järel näitlikult ja käegakatsutavalt mateeria hämmastavat kahesust. Niisamuti nagu eksisteerisid fotograafia ja elektrongraafia, nii on võimalik ka prootongraafia. Aga neutrongraafia on praegu juba terve teadus.

Aga üldiselt öeldes on meile juba ammu selge, et kogu mikromaailma kääbusrahvastik kuulub kahtlemata kummalisse mikrokentauride — korpuskul-lainete või lainekorpuskulite (see on üks ja sama) tõugu. Ja on selge, et iga uut liiki elementaarosakeste kahesust pole vaja enam spetsiaalselt otseste katsete teel tõestada. See on juba ette silmanähtav: igasuguste sellises mastaabis kehade mass on nii väike, et lainekujulisus osutub suureks.

Silmanähtav on ka teine asjaolu: kõik elementaarosakesed — laetud ja neutraalsed, püsivad ja mittepüsivad, seisumassiga ja ilma, lihtsalt osakesed ja antiosakesed — ükski neist ei või oma väiksuse tõttu alluda tavaliste kehade liikumisseadustele. Ükski neist — nii need, mis avastati meie sajandi möödunud aastakümneil aatomite põues, kosmilises kiirguses, aatomite lagunemisproduktides nende tulistamisel võimsatel kiirendajatel, kui ka need, mis avastatakse homme või kunagi hiljem — ükski neist ei meenuta oma käitumise kahesuse tõttu kunagi suuri kehi, mille kohta klassikaline mehhaanika tegi kindlaks õiged, ehkki mitte üldkehtivad seadused.

20-ndate aastate keskpaiku sai füüsikuile täiesti selgeks, et nähtamatu ja kuuldamatu mikromaailm peab paratamatult olema kummaliselt korraldatud maailm.

Bohri kvanthüpped ja de Broglie' lained panid aluse uuele mehhaanikale.

KOLMAS PEATÜKK

- Mõni sõna lohutuseks.
- Algul oli kaks teed.
- Zürichi professor ja Göttingeni assistent.
- Ühekülgsed kired.
- «26. aasta ime».
- Ligikaudsuse udus.
- Piiratus ja võimsus.
- Vastuseta küsimus.
- Diogenese meetod ei sobi meile!
- Ei saa näha olematut.

Veidrate olendite maailm.
Kummaliselt korraldatud maailm.

On midagi pealetükkivat, midagi tüütut neis poolluulelistes lausetes, selles, kuidas looduses tavalist nimetatakse inimliku mõõdupuu järgi ebatavaliseks, just nagu oleks inimesel tõepoolest seaduslik õigus pidada ennast ja oma üpris piiratud kogemusi asjade üldiseks mõõdupuuks.

Kas pole see lõppude lõpuks tühine sõnade mäng, kui nimetame normaalset veidraks, loomulikku kummaliseks?

Kas on loodus süüdi, et inimesed hakkasid maailmaruumi «valest otsast» tundma õppima? Õigemini «keskpaigast», asjadest ja sündmustest maises mastaabis, ning alles hiljem võisid suunduda galaktikate sügavusse — suure suunas, ja aatomi sisemusse — väikese poole... Kui inimesed oleksid asja kallale asunud mõistlike loogikareeglite järgi, s. t. alustanud lihtsamast, et järk-

järgult minna keerulisema poole, siis ei oleks tõepoolest toimunud mingit ideede draamat. Kõik oleks avanenud järk-järgult, looduse enda poolt sisseseatud korra alusel. Kõike oleks saadud teada aste-astmelt keerulisema poole suundudes, alustades mateeria elementaarosakeste käitumise seadustest ja elementaarseimate protsesside kulgemisest aegruumis. Vasturääkivusteta teadmine kasvaks nagu lumepall esimese helbe ümber. Arusaamad rikastuksid ohvreid nõudmata: poleks tarvis endistest kujutlustest lahti öelda, vaid neid ainult arendada.

Ja me ei tunneks alandavat kibedust teadmisest, et meil on nii raske mõista kõige lihtsamat looduses. Küllap oleks kvantmehhaanika siis füüsika aritmeetikaks, seda õpiksid juba lapsedki.

Sageli kirjutatakse isegi raamatuis, et aatom on ehitatud palju keerulisemalt kui päikesesüsteem, ehkki niisugune jutt on rumalus juba ainuüksi sellepärast, et iga taevakeha koosneb aatomite müriaadidest. Ka kõige keerukam neist on võrratult vähem veider kui väikseim tolmutera Maal. Kuid ometi näeme just mikromaailmas üht kummalisust teise järel.

(Nii on teadlased, kes peensusteni kaasaegse keele finesse valdavad ja vaevata Puškinit või Kanti loevad, aastakümneid pead murdnud egiptuse hieroglüüfide või Lihavõttesaare tahvlite kallal, mille tekstid on primitiivsed nagu kirjad mälestussammastel, lihtsustatud nagu sildid.)

Me tungisime aatomisse külje pealt — tulime sinna kujutlustega, mis on töötatud välja nende sündmuste mehhanismi tundmaõppimisel, kus mateeria laineomadused milleski ei avaldu, ja oleme ülatunud, et meie füüsikalises keeles ei saa seal lihtsalt väljenduda.

Inimkonna jaoks leidub õigustuski: loodus on ise süüdi, et inimesed teda «keskpaigast» uurima hakkasid. Tal pole olemas esimest lumehelvest — pole kõige lihtsamat.

Kui oleks juhtunud võimatu ja muistsed inimesed oleksid kunagi alustanud elementaarosakestest, tuleks ikkagi välja, et nad pole alanud algusest. Ja lõpuks oleks loodus, pannud aluse elule maakeral, ise kindlaks määranud inimelu mastaabi.

Mõtlev olevus poleks saanud olla mikroolend — aatomimaailma elanik. On üks ootamatu argument, mis seda seletab, peale kõigi bioloogiliste ja ajalooliste tõdede.

Küberneetika näitas, et võib ehitada masina, mis toodab täpselt samasuguseid masinaid kui ta ise. Ent tähelepanuväärne on see, et tõestati teoreem, mille järgi sellisel «isetootval masinal» peab olema kindel keerulisuse aste. See ei saa olla lihtsa konstruktsiooniga! Näib, et lihtsat oleks kergem taastoota, kuid endasarnase taastootmine on nii keeruline protsess, et lihtne pole selleks suuteline. Labidas ei valmista labidat. Nii on isegi ainuraksed viirused ülikeerukad aatomikonstruktsioonid, kõrgmolekulaarsed moodustised mikromaailmadest. Muidu poleks nemad, primitiivseimad, väikseimad, nähtamatud, suutelised elu esmaseks totaalseks imeks — iseenda koopiate loomiseks sobivais tingimustes.

Aga mõtlemine pole esmane ega sugugi üldine, vaid üliharuldane elu ime. See on elu suurim saavutus. Ja insenerlikust vaatepunktist on aatomist viiruseni lühem vahemaa kui viirusest inimeseni. Mateeria olemise mikrotaseme piiridest väljumata oleksid inimese konstruktsiooni keerukus ja paindlikkus teostamatud.

Loodusseadustega on ette määratud inimese mastaap — see makromastaap, mille juures aine kahesus pole reaalselt märgatav.

Nii tulebki välja, et mõtlevad olendid on sunnitud hämmelduma elementaarosakeste kui veidrate moodustiste üle mitte oma piiratuse tõttu, vaid just tänu oma täiuslikkusele. Sõna «kummaline» püsib õigusega meie suus, kui laskume mateeria sügavustesse. Seletamatu tähendaks vastupidist — kui meie kujutlus tunneks end lainete-korpuskulite seas «nagu kodus», siis ei saaks loodus inimeses lihtsalt jõuda endatunnetamiseni: inimene oleks selle jaoks liiga primitiivne olend.

Milleks siin kõigest sellest räägitakse?

Tõtt öelda, kõigepealt lohutuseks. Praegu seisavad meil ees uued ohvrid: lahkumine kujutlustest, mis peaksid nagu puutumatuks jääma isegi tänapäeva füüsika saginas.

Ärge arvake, et pikkade vestluste varju elementaarosakeste kahesusest on ununenud kavatsus näha, kuidas juhtus, et mikromaailm ilmus füüsikute vaimusilma ette «kaotatud trajektooride maailma» ootamatul kujul. Vastupidi, kõik need jutud lainetest-osakestest ongi selleks, et trajektooride kadumises poleks midagi ootamatut.

Esimesel pilgul võib näida, et eesmärk on tõepoolest

juba saavutatud. Muidugi, laineomadustega osakesed ei saa käituda nagu kõvad kerad. Ja täiesti mõistetav, et nende liikumisteedel puudub nähtavasti klassikaliste trajektooride range määratletus. See on tajutav «kompamisi» — tõestusteta. Igal juhul pole siin küll midagi imelikku, pärast seda kui saime jagu imestusest mateeria kahesuse üle!

Ja uuesti tuleb välja, et ähvardati käsitamatuga, aga tegelikult on kõik nii silmanähtav...

Mis takistas Einsteinil aga selle silmanähtavusega leppimist? Mis kutsus esile de Broglie' protesti? Miks vaidlevad füüsikud ja filosoofid kolmkümmend viis aastat näiliselt nii süütu asja ümber? Võib-olla polegi klassikaliste trajektooride kaotamine mikromaailmas nii süütu nähtus?

Jah, see osutus teadusliku tunnetamise ja omandamise jaoks sada korda vaevarikkamaks kui absoluutse ruumi ja absoluutse aja hukkumine relatiivsusteoorias.

20-ndate aastate füüsikud pidid esimestena jagu saama püstloodis järsakust. Tõus jätkub praegugi. Ent endine igatsus on alles jäänud — kui saaks ainult korra pilguga mõõta avanenud kõrgust (või kuristikku — kuidas soovite)! See-eest on meil nüüd varuks lohutus, et iga makroolend peab looduse enda tahtel selleks pea kuklasse heitma, mütsi kõvasti kinni hoides, et see maha ei kukuks.

● Teaduslike otsingute ajalugu aitab alati nende endi olemusse tungida. Kvantmehhaanika ajaloos on üks väga huvitav joon just selliste «abistajate» hulgast. Lugu oli nii...

Veel varem, kui eksperimentaatoreilt tuli otsene tõend elektronide lainekujulisuse kohta, hakkasid kaks teoreetikut teineteisest sõltumatult mikrokosmose mehhaanikat välja töötama. Juba üle veerandsaja aasta oli maailma laboratooriumides olemas ja koguti üha juurde tohutut juurdlusmaterjali «Aatomi kohtuasjas» ja asi nõudis ühtset seletust.

Pole tarvis korrata, et kõige rohkem huvitasid füüsikuid aatomispektrid, needsamad aatomispektrid, mille pidetuse Bohr 1913. aastal arusaadavaks muutis oletusega, et elektronid kihutavad aatomis mööda lubatud orbiitide astmestikku. Mäletate, enne Bohri teooriat nimetas Einstein spektroskoopiat põlglikult «zooloogiaks», aga pä-

rast Bohri hakkas Sommerfeld kõnelema «spektraalmuusikast». Füüsik, kes oli meelestatud asjalikult, aga mitte pilkavalt (zooloogia!), proosaliselt, aga mitte ülendatult (muusika!), oleks võinud tunnistada, et tema huvi spektrite vastu on üldiselt puhtraamatupidajalik: need kaunid spektrid on üksnes hoolikalt lahtritesse jaotatud aruanded energiatulude ja -kulude kohta aatomimajapidamises. Kuid selles seisiski nende hindamatu väärtus teoreetikute jaoks.

Iga spektrijoon on jälg, mille jätab aatomi hüppeline üleminek. Jooni on palju, terve varbtara. Seda seepärast, et aatomeil on palju looduse poolt lubatud energianivoosid, terve astmestik. Kui aatomil oleks ainult kaks lubatud nivood — üks astmevahe, siis eksisteeriks ainult üks hüppevariant. Spektris säraks üksainus joon: kõik kujutletava, nivoodevaese aine aatomid kiirgaksid ühesuurusi kvante — ühesuguse sagedusega, üht värvi valgust. Spektrijoonte kirev mitmekesisus ei saaks tekkida. Ei, reaalsetele aatomitele on selline energeetiliste võimaluste nappus võõras. Ja Bohri energianivoode astmestik seletas spektrit suurepäraselt: see keelas elektronidel pidevalt läheneda aatomituumale, pidevalt valgust kiirata, kuid jättis nende käsutusse kümneid «lühikeste» ja «pikkade» hüpete variante suurte ja väikeste energiakvantide kiirgamisega.

Kõik oleks hästi olnud, aga Bohri teooria ei suutnud seletada teist silmatorkavat ja kõigile tuttavat fakti: ühed jooned on spektrites eredad, teised kahvatud, kolmandad — vaevumärgatavad. Mispärast? Tähendab, kõik kvanthüpped pole võrdõiguslikud?

... Füüsik asetab põleti leeki strontsiumiterakese. Leek muutub kohe erkpunaseks. Võiks arvata, et strontsium ongi see võimalustevaene ebareaalne aine, mille aatomis on ainult kaks energianivood. Teravad ja sagedased kokkupõrked kõrge temperatuuriga leegis ergastavad triljoneid strontsiumitera aatomeid. Aga seejärel pöörduvad nende aatomite elektronid, mis on tuumast kaugemale kihutatud, peaaegu ühel hetkel hüppeliselt tagasi, kiirates ootamatult omandatud energia kvantidena välja. Leeki vaadeldes on füüsikul tõepoolest õigus, et strontsiumi aatomid ei oska kiirata mitte mingeid teistsuguseid kvante peale punase valguse footonite. Kuid see on liiga ebatõenäoline: isegi vesiniku aatomil, kus ümber tuuma liigub

üksainus elektron, on palju energianivoosid ja võimalikke kvanthüppeid. Aga keerulises strontsiumi aatomis on kümneid elektrone. Milles on siis asi?

Füüsik seab põleti punase leegi spektroskoobi pilu ette. Strontsiumi kiirgus lendab läbi prisma. Erineva sagedusega elektromagnetilised valguslained murduvad erinevalt — ekraanile ilmub pilu kujutiste mitmevärviline lehvik. Nagu füüsik ootaski, lendavad strontsiumikübemest välja mitmesuguse suurusega kvandid. Seal teostuvad arvukad kvanthüpete variandid.

Kuid siiski põleb punane joon ülekaalukalt, ärevalt (just nagu meenutades, et strontsiumil on ohtlik radioaktiivne isotoop). Jällegi — milles on asi? Kiirgavad üheaegselt müriaadid leegist ergastatud aatomeid. Kui punane joon on teistest nii palju eredam, et tapab ülejäänud värvid, siis tähendab see, et «punane hüpe» toimub teistest variantidest tõenäoliselt palju sagedamini. Miks? Miks põleb naatriumil kõige eredamalt kollane joon? Miks on seal kõige tõenäosem «kollane hüpe»? Miks esinevad mõned võimalused harvemini ja miks kiiratakse teisi kvante vähem?

Te tajute: neile pealetükkivaile küsimustele, nagu kümnetele teistelegi, võis vastata ainult kõrgele tasemele arendatud mikromaailma mehhaanika, mis tunneb saladuslike kvantüleminekute seaduspärasusi. Aga Bohri teooria joonistas õigesti ainult energeetiliste nivoode — elektronide ja tuuma seoste energianivoode — astmestiku aatomis. Liikumise reeglitest sel astmestikul — aga loodus oli siin nähtavasti kehtestanud mingisugused omad reeglid — ei osanud Bohri mudel midagi öelda. See oli just nagu momentvõte aatomist, mitte aga filmilint, mis näitab sündmuste kulgu aatomi aegruumis.

See ei olnud veel mikroosakeste m e h h a a n i k a.

Kui de Broglie hakkas kümme aastat hiljem rääkima liikuva elektroni laineomadustest, tekkis uus mure: mõista kui just mitte nende arusaamatute «mateerialainete» olemust, siis vähemalt liikumisreegleidki. Kuid teaduses pole uued mured koormaks. Need äratavad uusi lootusi. Kohe sai selgeks aatomi energianivoode astmestik. Tähendab, võis loota, et de Broglie' lained seletavad palju muudki. Ent ka de Broglie' lainemudel polnud rohkem kui momentvõte liikuvast elektronist aatomis.

See ei andnud veel elektronilainete m e h h a a n i k a t.

On juba näha, et teoreetikute otsiv mõte võis liikuda edasi mööda kaht erinevat teed. Pidetus ja pidevus... Osakesed ja lained... Meie tagasihoidliku kujutlusvõime jaoks on need kaks erinevat stiihiat. Kuid füüsikaliste konstruktsioonide puhul samuti. Seda enam matemaatiliste kirjelduste jaoks. Neissesamusse erinevaisse stiihiatesse sukeldusidki kaks teoreetikut, kes lõid 20-ndate aastate keskpaiku kaks mikromaailma mehhaanikat.

Nimed said üheaegselt võrdselt kuulsaks. Me juba kohtasime neid hiljuti. Werner Heisenberg ja Erwin Schrödinger.

● Näib, et nad kuni 1926. aastani isegi ei tundnud teineteist. Töötasid eri linnades, omasid teaduses erinevat positsiooni, kuulusid eri põlvkondadesse: üks sündis möödunud sajandil, teine käesoleval. Ühesõnaga, väliselt ei sidunud miski peaaegu neljakümne-aastast Zürichi professorit Schrödingeri, kellel endal olid juba õpilased, ja füüsikakateedri assistenti, kes polnud veel kahekümne viie aastanegi, algajat Göttingeni teadlast Heisenbergi.

Te ootate, et see-eest oli nende vahel sügav sisemine seos, sest mõlemad olid mikromaailma mehhaanika loojad. Kuid ka see pole õige.

Vähe sellest, et nad töötasid eraldi ja teineteisest sõltumatult, neil olid ka erinevad lootused. Nad kujutlesid mikrotegelikkust täiesti erinevalt. Nad töötasid samaaegselt ühe suure asja kallal. Kokku leppimata võitlesid nad ühe ja sama eesmärgi eest. Kuid selgus, et nad on vastased veendumustelt — füüsikalistelt vaadetelt aatominähtuste olemusele.

Juba üle kolmekümne viie aasta seisavad nende nimed alati kõrvu «kvantmehhaanikast kõnelevate traktaatide» lehekülgedel. Ja niisama kaua aastaid kestis* kord avalik, kord varjatud vaidlus nende vahel.

Kuidas seda näidata ja arusaadavaks teha?

Jämedais joontes muidugi, kuid siiski mitte nii jämedais, et asja tõelisest olemusest midagi järele ei jääks, võib nende esialgsete otsingute mõtet nõnda edasi anda: mõlemad lootsid mikromehhaanika üles ehitada, lahates erinevalt laine-korpuskulite või korpuskul-lainete kummalist kahesust. Sisuliselt tahtis kumbki neist oma vaate-

* Erwin Schrödinger suri 1961. aastal Dublinis Iirimaal.

nurgast näidata, et elementaarosakestel on ainult üks pale tõeline, teine aga mask. Üks vastab nende materiaalsele olemusele, teine aga kajastab ainult keerulist käitumist.

Rääkides mitte enam jämedais joontes, vaid ainult piltlikult, võib öelda, et mõlemad füüsikud kujutasid aatomimaailma sündmusi nagu karnevali, kus osakesed panevad ette lainete näokatte või siis esinevad lained osakeste maskis. Tuli valida, kas kujutleda asja käiku nii või teisiti. Tuli valida, kas eelistada laineid või osakesi.

Kui tänapäeva üliõpilased kvantmehhaanika praktilisi ülesandeid lahendavad, on neil valikut kerge teha, sest nad mõtlevad ainult arutluste mugavusest ja matemaatiliste teisenduste lihtsustamisest. Põhimõtteliselt pole aga küsimus kumba eelistada neile üldse oluline: nad teavad juba, et mõlemat pidi tuleb ühtmoodi hästi välja. Juba esimesel loengul kuulsid nad ja jätsid eluajaks meelde, et lainete ja osakeste sümmeetria on mikromaailmas täielik! Kuid sellest ei tohi järeldada, et ka mikromehhaanika loojad võisid küsimuse enda jaoks lahendada lihtsa liisuheitmisega: viskasid raha üles ja vaatasid, kas tuli «kull» või «kiri», ja ütlesid: «Nii ka olgu!» Ja ei maksa ka mõelda, et kumbki neist tegi oma valiku kaine arvestuse alusel: vaatas järele, vaagis raskusi ja otsustas: «Nii on parem!» Üks otsustas: «Hakkan vaatlema osakesi ega unusta ka laineid.» Teine otsustas: «Hakkan vaatlema laineid ja pean silmas osakesi.»

Siin on mängus intuitsioon. Tol algperioodil puudutas valik osakeste ja lainete vahel füüsikalise maailmavaate aluseid. Viimase aga määrasid mõtte- ja hingelaad. Siin võitlesid varjatult loodusteaduse XIX ja XX sajand. See pole liialdus.

«Mateerialained»! Ähmases kujundis taaselustus lootus pöörduda tagasi vana, läbiproovitud liikumise pidevuse juurde looduses.

Osakesed ja kvanthüpped! Selles, kujutluse jaoks samavõrd ebamäärases oletuses avaldus vanale looduspildile võõras mikromaailma protsesside pidetus.

Tuleks detailselt jälgida mõlema teadlase varasema teadusliku biograafia kõiki käänakuid, et eksimatult kindlaks teha, miks hakkas Schrödinger töötama deviisi all «Lained ja pidevus!», aga Heisenberg deviisi all — «Pidetus ja osakesed!» Kuid piisab märkusest, et Zürichi

professor oli neliteist aastat vanem ja järelikult oli Göttingeni assistent neliteist aastat noorem... Mõlemad sammusid edasi, kuid Schrödingeril seisid silme ees klassikaliste kujutluste pildid füüsikaliste protsesside pidevast kulgemisest, aga Heisenberg oli valmis igaks uudsuseks, ka kõige hämmastavamaks.

Sellistest erinevaist püüdlustest sündisidki aastail 1925—1926 kaks erinevat mikrosündmuste mehhaanikat. See pole väljamõeldis. Väljapaistev teoreetik Max Born (tema nimi esines juba kord) on andnud kindla tunnistuse, et lugu oli tõepoolest nii, mitte aga kuidagi teisiti.

Millised olid siis need kaks mehhaanikat? Siin võib nende ülitarkuse kohta lausuda ainult paar sõna, kuid meile piisab sellestki.

● Heisenberg mõtiskles aatomi püsivate olekute diskreetsest reast, liikumisreeglitest Bohri kvanthüpete astmestikul. Teda ei häirinud see, et polnud üldse võimalik kujutleda ega kirjeldada, kuidas iga säärane hüpe toimub.

Ta nägi, et need hüpped on r e a a l s e d! Ja oli veendunud, et püüe nende mehhanismi lahata on sihitu: sisemiselt ei jagune nad väiksemateks sündmusteks. Aga kui nad peaksidki liigenduma, siis ei avaldu see füüsikaliselt: hüpet saadab terve kvandi kiirgamine või neelamine.

Diskreetsus on paljude mikromaailma sündmuste tõeline pale. Mikroosakeste lainekujulisust pidas Heisenberg maskiks. Ja algul lootis ta sellest hoopis vabaneda.

Ta tahtis tungida matemaatilistesse seaduspärasustesse, mille järgi ühed kvantüleminekud aatomeis on sagedamad, teised harvemad. Ta otsis viisi, kuidas ennustada kõiki võimalikke hüppeid ühelt nivoolt teisele. Siis saaks vastata küsimusele, miks põleb naatriumi spektris nii heledalt just kollane joon. Ergastatud strontsiumi aatomeis on aga kõige sagedasem hüpe, mille korral kiirgub punase valguse kvant.

Siis oleks aga võimalik olnud matemaatiliselt kirjeldada mikroosakestest kvantsüsteemide käitumist.

Ta oli tollal Max Borni assistent — «väga andekas, kuid veel väga noor ja mitte väga haritud» (nii kirjutas Born). Võiks lisada: nii andekas ja nii harimatu, et nuputas ise oma füüsikaliste ideede tarvis välja erilise matemaatilise aparaadi, teadmata, et taolise aparaadi on matemaatikud

«maatriksarvutuse» nime all juba ammu välja mõelnud. (Isehakanud leiutaja kohta öeldakse — «ta mõtleb jalgratast välja». Te kindlasti nõustute, et Heisenbergi puhul pole niisugune nali eriti kohane.)

Samal ajal arendas Schrödinger Zürichis edasi de Broglie' ideid. Kuid vähe arendamisest: ta kavatses «mateerialainete» idee nii välja töötada, et elementaarosakeste korpuskulaarsusest ja aatomiolekute diskreetsusest mitte midagi järele ei jääks.

Teiste sõnadega, ta tahtis öelda, et pidevus on jääv ka mikroprotsessides, aga lubatud energianivoode diskreetne rida aatomeis on ainult mask: selle taha peituvad pidevate üksteist kustutada või võimendada võivate lainete käitumise seaduspärasused. Siin oli varjul seesama mõte, mis aitas de Broglie'l seletada, miks on Bohri lubatud orbiidid aatomis hajali ja moodustavad diskreetse rea.

Kuid Schrödinger läks märksa kaugemale. Ta oli sügavalt veendunud, et k õ i k sündmused mikromaailmas on laineprotsessid ja mitte midagi muud!

Ta tuletas kuulsa lainevõrrandi, toetudes klassikalisele lainenähtuste teooriale ja de Broglie' põhiideele. Võrrand annab teatud lainete, või nagu füüsikud enamasti räägivad, lainefunktsioonide ajas ja ruumis muutumise seadused. Nende abil oli võimalik matemaatiliselt kirjeldada aatomi erinevaid olekuid ja nende olekute vaheldumist, erinevate tingimuste mõju mikrokentauride liikumisele.

Kui Schrödinger 1926. aasta kevadel Zürichist oma tööde käsikirja Pariisi de Broglie'le saatis, siis tundis «jampsliku, kuid elegantse» väitekirja autor, nagu ta ise tunnistab, valmustatud imetlust: teda hämmastas Schrödingeri konstruktsioonide ilu ja ta nägi, kui sügava ning ootamatu arenduse said lõpuks tema esialgsed laineideed. Ta nimetas neid nüüd isegi «primitiivseiks». Kuid muidugi oli see iva «primitiivsus», millest aja jooksul võrsub viljapea.

Matemaatikud on oma sümbolite jaoks ammu okupeerinud kogu kreeka ja ladina tähestiku. Kui ilmusid Schrödingeri lainefunktsioonid, polnud üldse enam vabu tähti. Seepärast nimetas ta neid võrdlemisi «vähekulunud» tähega «psii». Sellest ajast on Schrödingeri lainete kreekakeelne nimetus saanud pea kõige sagedasemaks külaliseks mikrofüüsika-alaste teoreetiliste uurimuste

lehekülgedel. Sellega võib populaarsuse poolest võistelda üksainus sõna — «maatriks» —, mis tänu Heisenbergile kõrgemast algebrast mikromaailma teooriasse rändas.

Kiretu teaduslikkuse jäisust õhkub lõputute matemaatiliste tehete põimikust psiifunktsioonide ja maatriksitega. Mõni mitte väga teaduslik fantaseerija ütleb ehk kunagi, et see võib olla marsielanike poolt Maale unustatud šiffer. Nii kohutavalt ligipääsmatu, nii isikupäratu, nii erinev elavast, rahutust inimkeelest on see aatomiteadlaste rahvusvahelise sõnaraamatu sümbolite kardlõng. Kuid see sõnavara pole sündinud erakute tundetutes teostes, vaid tormilistes vaidlustes, unetutel tundidel — mitte piltlikult öeldes, vaid tõeliselt — nördimushoogudes ja isegi, nagu mäletame, meeleheitetundidel.

Nii oli algusest peale.

Max Born kinnitab, et Schrödinger andus täielikult oma lainemehhaanika väljatöötamisele «vastumeelsuse tõttu Bohri äkiliste kvanthüpete vastu». (Ega te pole unustanud, et Zürichi professor nimetas neid «neetud» hüpeteks ja karjus, et kui mikromaailma pildis tuleb säilitada diskreetsus, siis kahetseb eluaeg, et üldse kvantteooriaga tegemist tegi!) Nii siis kui ka pärastpoole ja veel päris hiljaaegugi kutsus Schrödinger Max Borni sõnade järgi «kirglikult üles kihutama füüsikast välja . . .» Keda? Ei, ei maksa siinkohal oodata mingite ebasoovitavate nimede loetelu — tõelised teadlased võitlevad ideedega, mitte nende kandjatega. Schrödinger kutsus üles kihutama füüsikast välja igasuguseid kujutlusi osakestest, lubatud püsivatest olekutest ja kvantüleminekutest nende vahel. Need olid tema «isiklikud vaenlased».

Aga Heisenbergi maatriksmehhaanika toetus just niisugustele kujutlustele. Kas võis Göttingeni assistent ükskõikseks jääda? Ei, ka tema oli meelestatud teravalt ja leppimatult. Oli vaja ainult ajendit, et leppimatus välja purskaks. Ajend leidus. Kui ilmus lainemehhaanika, hakkas Max Born mõtisklema imelihtsa, kuid ka kõige raskema küsimuse üle: aga mis need Schrödingeri psiilained õieti on? Milline on nende füüsikaline sisu? Mõistate, ta ei heitnud neid kõrvale, nagu oleks tahtnud tema noor assistent, vaid nägi ka lainekonstruktsioonides seda, mida Einstein nimetas «tõe servaks». Sellest oli küllalt esmakordse põhimõttelise ebakõla tekitamiseks õpilase ja õpetaja vahel. Oma kahekümne viiele eluaastale iseloomuliku

hasardiga süüdistas Heisenberg Borni «maatriksmehhaanika vaimu reetmises». Reetmises — mitte vähemas.

Sellised olid kired — ühekülgsed kired.

Need aitavadki meil praegu üht-teist tabada tollal sündinud, praegu aga mitte veel vananenud kummalise mikrotegelikkuse pildis.

Niisiis, füüsikute vahel käis varjatud sõda.

Nende konstruktsioonid võistlesid omavahel avalikult. Aga loodus — kas tema oli siis tõepoolest vait?

● Tavaliselt, kui loodusteaduses ilmus kaks teooriat «ühe ja sama asja kohta», siis võitis üks neist tingimata teise. Kas kohe või pikas võitluses õnnestus sellel, võitjal, kas või ajutiseltki tõestada, et ta on täielikum ja peegeldab reaalsust paremini. Tema poolt oli k a t s e t u l e m u s.

Nii võitlesid kaks sajandit vahelduva eduga kaks valguse teooriat — korpuskulaar- ja laineteooria. Ei XVIII ega XIX sajandil tunnistatud, et mõlemad võivad üheaegselt õiged olla.

Kui 1925—1926. aastal ilmus kaks erinevat mikromaailma mehhaanikat — maatriks- ja lainemehhaanika — «pidevuse mehhaanika ja pidetuse mehhaanika» —, tekkis füüsikas just nagu absurdne, ainulaadne olukord. Teooriad olid vastandlikud, katse aga otsekohe mõlema poolt!

Niihästi Schrödingeri mehhaanika seaduste kui ka Heisenbergi mehhaanika reeglite järgi väljaarvutatuna oli vesiniku aatom täpselt selline, nagu eksperimentaatorid ja peaasi — spektroskopistid — teda juba paljude detailide järgi tundsid. Ja selline mõlemate mehhaanikute ennustuste kooskõla laboratoorsete andmetega mikromaailma kohta oli alati ühesugune: mõlemad andsid ühtedele ja samadele küsimustele ühe ja sama vastuse. Sõnaga, loodus ei vaikinud, vastupidi teadlaste tavalistele ootustele tunnistas ta võrdselt õigeks kaks omavahel vaenulikku seisukohta.

Võrdselt! — see on väga tähtis.

On ju iga füüsikaline teooria ainult lähenemine tegelikkusele. Suuremal või vähemal määral. Kahest teooriast «ühe ja sama kohta» räägib täpsem ja peenem veel tõtt looduse kohta, kui teine hakkab juba valetama. Nii kõnelevad Newtoni ja Einsteini seadused väikeste kiirustega liikumistest üht ja sama, kuid kiirete liikumiste kohta annavad Newtoni valemid juba täiesti vale ettekujutuse

kas või ainult seepärast, et nad ei arvesta massi muutumist sõltuvalt kiirusest. Siin ei lähe klassikalised ennustused täide.

Poleks midagi kummalist, kui kaks mikromaailma mehhaanikat oleksid mõlemad õiged, ent erineval määral. See tähendaks ainult, et üks on teisest täpsem, tähendab, kajastab mikrotegelikkust peenemalt ja sügavamalt. Siis oleks ebatavaline ainult see, et nad tulid ilmale üheaegselt: reeglina on tarvis pikka aega ja mägede kaupa uusi uurimusi, et jämedajoonelisem teooria asenduks peenemaga.

Kuid «1926. aasta ime» selles just seisiski, et kaks omavahel vaimult ja matemaatiliselt kujult nii erinevat mikromaailma mehhaanikat näitasid tõesust võrdsel määral. Polnud sellist mikrosündmust, mida lainemehhaanika oleks põhimõtteliselt võinud kirjeldada, aga maatriksmehhaanika mitte. Või vastupidi.

Mõlemad olid kas kõlblikud või ei kõlvanud kumbki. Teiste sõnadega, mõlemad võimaldasid reaalsusele ühepalju läheneda. Mõlemad olid võrdselt hästi aatomimaailma tunnetamise teenistuses, täiesti sõltumatult ühekülgseist kirgedest, mis vaevasid nende loojaid. (Nii näitavad erinevat süsteemi head kellad ühesuguse täpsusega õiget aega sõltumata sellest, mida mõtlesid aja loomusest neid valmistanud meistrid.)

... Nüüd ma näen, et toimisin ülepeakaela. Oleks pidanud sellest, «1926. aasta imest» tegema intrigeeriva saladuse, aga pärast koos sinuga, lugeja, otsima selle juuri.

Nii tõmbasime saladuslikust faktist, et valgust ei saa peatada, entsüklopeedia usaldusväärsest teatest, et valgusosakese mass on paigalseisus null, nagu ampullist välja relatiivsusteooria kõigi ideede põhilise sisu. Ja olime sunnitud — nimelt sunnitud — nõustuma, et loodus on korraldatud väga kummaliselt: on olemas piirkiirus, aga absoluutset aega ega absoluutset ruumi ei ole; kehade mass sõltub nende kiirusest ja igasuguse kujuga energia omab massi.

Võib-olla oleks meil praegugi parem samasugust teed minna: alustada osakeste mehhaanika ja lainemehhaanika, pidetuse mehhaanika ja pidevuse mehhaanika ajaloost, seejärel aga hakata «niisugust mõttetust» loogiliselt lahti harutama. Siis oleks kummaline pilt mikromaailmast kui

olematute trajektooride maailmast kerkinud meie ette kiiremini ja loogilise mõõdapääsmatusega.

See on skeem teest, mille läbinud oleksime...

Kokkusobimatute mehhaanikate kokkulangemise saladuslik fakt oleks meid tingimata toonud raudse järeldusseni, et mikromaailmas endas sobivad kuidagi kokku sellised kokkusobimatud asjad, nagu osakesed ja lained, diskreetsus ja pidevus.

Ei jääks isegi niisugust lohutavat võimalust, nagu oletus, et osakesteks on seal ühed mikromaailma detailid, aga laineteks — teised. Ei jääks isegi lootust, nagu võiks otsustada, et diskreetseina või pidevaina näivad sealsed sündmused sõltuvalt «vaatepunktist» — nende olemusse tungimise sügavusest. Siis ei langeks kaks mehhaanikat üldse kokku: kumbki jutustaks oma tõde — tõde erinevatest asjadest ja erinevais mahtudes. Üldiselt paneks sundloogika meid muutuma niisama kartmatult läbinägelikeks kui Einstein ja de Broglie. Me hakkaksime ise kõnelema korpuskulite lainekujulisusest või lainete korpuskulaarsusest — kummalistest mikrokentauridest kui mikromaailma ainuvõimalikest elanikest.

Muidugi, kujutlusvõime tõstaks kohe mässu: kuidas peab ta ühes kujundis ühendama osakeste jäiga muutumatuse lainete nõtke muutlikkusega? Kuid loogilise paratamatuse ees peaks vaene kujutlus lõppude lõpuks alla andma, pärast aga meile hindamatut abi osutama.

See keelduks ju andmast kujutlematute mikrokentauride liikumise näitlikku pilti. Ja tõega, aatomi elektron kui osake võiks iga hetk olla kinnistatud teatud ruumipunkti külge ja liikuda sellest punktist eemale kindlas suunas kindla kiirusega. Elektroni-osakese jaoks oleksid Bohri orbiidid täiesti reaalsed. Ent elektron kui laine ei või olla ühte punkti koondunud ei antud hetkel ega järgmisel ega mitte ühelgi: elektroni lainekujulisus sunnib teda nagu muusikatki saalis mingil viisil täitma kogu aatomiruumi. (Aga aatomivälise — vaba! — elektroniga on kujutlusel veel raskem toime tulla: kui osake peab ta kuskil viibima, ent kui vaba laine võib ta hajuda kogu ääretusse ruumi.)

Muidugi, nii materiaalne punkt kui ka piiritu laine on matemaatilised abstraktsioonid. Neid me loodusest ei leia. Kuid nad on ka reaalsuse kujundid: nad on sündinud tegelike füüsikaliste kogemuste üldistamisest. Ja meie «reaal-

sustunnet» ei solva ju pildid päikesesüsteemist, kus planeetide raskuskeset kujutavad punktid, mis joonistavad ellipseid ümber Päikese, mida kujutletakse samuti materiaalse punktina?!

Meie kujutlus lepib kergesti igasuguste abstraktsioonidega, kui ta tunneb või teab nende reaalset alust. Kuid «osakese-laine» kujutlusega ei või ta seepärast leppida, et pole kunagi kokku puutunud mitte millegagi, mis võiks sellele kujundile reaalseks aluseks olla.

Laine eraldi ja osake eraldi — olge hea. Kuid k o o s?!

Samal põhjusel ei suuda kujutlus niisugust kentauri maalida liikumises. Liikuda nagu klassikaline osake — ühest kindlaksmääratud punktist rangelt kindlaksmääratud naaberpunkti rangelt kindlaksmääratud kiirusega takistab elektroni tema lainekujulisus, aga lainesarnaselt liikuda — vabalt kogu käepärast olevas ruumis levida — takistab teda korpuskulaarsus.

Kui kujutlusvõime keelduks mikrokentauride liikumise piltlikust kujutamisest, siis sooritaks ta meile hindamatu teene teel «1926. aasta imest» selle juurteni: kohe muutuks paratamatuks loogiline järeldus: m i k r o m a a i l m a s p o l e k l a s s i k a l i s i t r a j e k t o o r e.

Nii jõuaksime, lähtudes mikromaailma kahe vastandliku mehhaanika kokkulangemise faktist, tõepoolest üsna kiiresti järelduseni, milleni meid viis pikk tee. Kuid võites tee pikkuses, oleksime kaotanud muljeid, nagu kiirustavad turistid, kes valivad lühima marsruudi. (Aga tingimuste kohaselt jääb see raamat millekski reisimärkmete taoliseks.) Nii et poleks erilist mõtet olnud korrata loogilist eksperimenti footoniga.

Nüüd tuleb lahti saada «1926. aasta imest», et näha lõpuks füüsikuid varitsevat kuristikku.

● Kõigepealt on selge, et mingit imet ei olnud: «laineosakese» kujund ilmus enne Heisenbergi ja Schrödingeri. Juhul kui see vastas looduse tõele, siis pidid mehhaanikad ühte langema. Muud väljapääsu ei leidunud: oli ju mõlema teooria aluseks üks ja seesama mikrotegelikkus. Mõlemad teooriad püüdsid seletada katseandmeid, aga need imelikud andmed olid niisugused, nagu nad just olid: faktidega pole mingeil ühekülgseil kirgedel midagi peale hakata.

Mehhaanikad langesid praktikas ühte. Paistab, et muud

polnud enam tarviski. Kuid ei, teoreetikuil oli sellest muidugi vähe. Nad ei ole liiga kergeusklikud: aga äkki kohatakse tulevikus aatomimõistatusi, mille lahendamisel ilmneb mõlema teooria lahkuminek?

Selsamal 1926. aastal tõestati matemaatiliselt rangelt, et sellised kahtlused on alusetud. Lihtsalt tõestati — ja seda tegi Schrödinger —, et lainete mikromehhaanika ja osakeste mikromehhaanika võivad nagu vahetada matemaatilisi aparaate. Nad on ühtede ja samade seaduspärasuste üleskirjutis looduse ühtse füüsikalise keele erinevais matemaatilistes dialektides. Nad on aatomikarnevali kirjeldus, kus tõelised näod ja maskid on eraldamatud, sest maskeraadist osavõtjad ise on olemuselt kahepalgelised.

Kui 1927. aasta kevadel saabusid eksperimentaatoreilt lõpuks esimesed kristallide difraktsioonifotod ja hakkas arenema ootamatu tehnikaala — elektronoptika —, siis avaldas aine lainekujulisuse otsene tõend sügavat muljet kõigile peale teoreetikute. Neid ei saanud see enam hämmastada ega rikastada: nad olid oma töö teinud kahtlusi välistava kindlusega. Ja nad teadsid: lainekatsed elektronidega peavad õnnestuma, just nii nagu peab toimuma ennustatud kuuvarjutus.

Töö oli tehtud. Kaks mehhaanikat sulasid üheks. Nende esialgseid nimetusi «lainemehhaanika» ja «maatriksmehhaanika» hakati aastate vältel üha harvemini kasutama, peamiselt filosoofilistes ja puhtteoreetilistes vaidlustes. Aga kõigi maailma füüsikateaduskondade loengu- ja seminariplaanidesse ilmus uus õppeaine — kvantmehhaanika, mis kohutas professoreid — «kuidas seda kursust lugeda, nii et kõik oleks arusaadav» — ja hirmutas üliõpilasi — «kuidas selle kuratliku aine eksamil läbi saada».

Eksamil võis tõepoolest kergesti läbi kukkuda: oli vaja ainult arvata, et küll matemaatika hädast välja aitab!

Paljusõnalise ja massiivsena oli kvantmehhaanika matemaatika üsna tüütu, kuid just seetõttu näiski päästvana: hakkad keerutama operaatorite, integraalide, deltafunktsioonide, psiifunktsioonide või maatrikselementidega, kõiksugu hermiitilisuse või ortogonaalsusega, küllap eksamineerija jääbki uskuma, et sa kõike tead, et saad kõigest aru ja oled lihtsalt imelaps! Kui riukaline matemaatika ka ei ole, lõppude lõpuks on ta kerge, sest kõik jääb läbi-

nisti loogiliseks ning seda juhib järelduste ja tuletiste raudne paratamatus. Seal tuleneb kõik just nagu iseendast. Ent kui palju vaesekesi lahkus eksamilt rõhutud sammul, urisedes pahaselt kursusekaaslaste kaastundeavalduste peale: neetud füüsikalised küsimused vedasid alt.

... Väike mälestus kaugeist ülikooliaastaist. (Reisimärkmeis on autorile kõik lubatud.)

1935—1936. aastal oli kogu Moskva ülikoolile tuntud «seitsmeteistkümnendas auditooriumis» Mohhovaja tänavas keemiaüliõpilaste teaduslik konverents. Tollal peeti kvantfüüsikat keemiafakulteedis rängaks vaimunärimiseks, mida tulevastel orgaanikutel ja anorgaanikutel vaevalt kunagi tarvis läheb. Ent dekaan Adam Vladislavovitš Rakovski oli teisel arvamisel. Ta jumaldas kaasaegset füüsikat ja selle aparatuur ei valmistanud talle raskusi — iseenda kohta sõnas ta pilkavalt: «Olen parim keemik matemaatikute hulgas ja parim matemaatik keemikute hulgas.» Ta otsustas: tehtagu või üliõpilaste teaduslikul konverentsilgi suhteliselt lihtne ettekanne «Schrödingeri võrrand ja vesiniku aatom». Õnneks või õnnetuseks tehti see ettekanne ülesandeks minule. Praegu, aastat kakskümmend viis hiljem, on kõik tolle ajaga seotu armas. Kuid tollal nägi see välja pisut teisiti.

Ma töötasin ausalt — üliõpilasele on erakordselt meeldiv tunda end lektorina. Käisin kateedrit asendava demonstratsioonilaua ees edasi-tagasi, jäljendades kedagi professoreist, tõenäoliselt Rakovskit ennast, kes hiilgavalt luges füüsikalist keemiat. Tugev valgus paistis silma — keegi pildistas konverentsi ülikooli ajalehe jaoks. Ma rõõmustasin, et kogu tuttavate nägude amfiteatrile on nii hästi näha tahvel, kuhu mu käsi hoogsalt maalis lainevõrrandi ja muud matemaatilised üksikasjad. Ja ma rõõmustasin, et ei näe valguse tõttu sõbra nägu, kes oli tõotanud «mõnitavalt naeratada». (Nüüd on tema, Boriss Klimenok, saanud lugupeetud keemiadoktoriks ja oleks võinud peale selle saada ka silmapaistvaks kunstnikuks, kui meil jätkuks elus kõigeks aega ja elu ise oleks igavene üliõpilaspõlv.) Mäletan, kui rahulolevalt maalisin valemeid, püüdes mitte ära jätta vähimaidki tõestusi, võlutuna matemaatika ilust ja kõlavusest. Ja mäletan, kuidas keegi, keda see nähtavasti üldse ei võlunud, küsis aeglaselt maailma igavaima häälega: «Aga kas sa nende psii-

funktsioonide füüsikalisest mõttest ka kunagi räägid?» Mäletan, et vaevu olin ma suurejooneliselt lubanud «sellel üksikasjaliselt peatuda», kui kostis teine, laisalt pilklik hääl: «Kui seal pole orbiite, kuidas sul siis elektron liigub?» «See pole minul, vaid Heisenbergil,» hüüdsin leidlikult.

Muide, ma petan: sellise suurepärase vastuse mõtlesin ma välja hiljem, hilinenult, nagu ikka sellistel juhtudel, pikal trepil, aga tol hetkel... Aga tol hetkel kustus fotograafi lamp, täiskirjutatud tahvel uppus hämusesse poolpimedusse ja nagu ahtriga randuv laev sööstis äkki kateedri poole ammu igavuse ja arusaamatuse käes vaevlev amfiteater. Selles talvise valgustuse tuhmis argipäevasuses visklesin ma veel kaua, paisatuna ilusate valemite päästvast sõõrist välja lihtsate füüsikaliste küsimuste lühikese, kuid tagasitõrjumatu lainega. Mul ei olnud varuks selgeid vastuseid. Ligikaudsuse udu täitis pea ja peale kätteõpitud, kuid teadvuse poolt omandamata sõnade «klassikaliste mõistete piiratusest» ja kvantfüüsika kujutluste «põhimõttelisest mittenäitlikkusest» polnud mul midagi öelda. Aga kuidas saaks enesekindel üliõpilane oma abitust tunnistada? Nähtavasti valitses kogu mu ilukõnet üksainus kahtlase väärtusega mõte: «Kui siin on miskit arusaamatut, siis seepärast, et peabki olema arusaamatu.»

Kõik lõppes üpris alandavalt. Tahvli juurde astus Rakovski. Välgutas irooniliselt prilliklaase. Ja hakkas rääkima niisama teravate lausetega nagu ta laitmatu musketärihabegi.

Ta rääkis umbes niiviisi: «On kahesuguseid lektoreid. Kui esimest tüüpi lektor lõpetab loengu, mõtlevad kuulajad: «Kui tark tema on ja kui rumalad oleme meie — me ei saanud mitte midagi aru!» Kui suleb suu teist tüüpi lektor, vahetavad kuulajad imestunult pilke: «Kui rumal on tema ja kui targad oleme meie — meile oli kõik arusaadav!» Mina eelistan kuuluda teise alaliiki. Meie noor ettekandja eelistab nähtavasti esimest.»

Mäletan auditooriumi naeru, kui see pärast kahetunnist tülpimust lõbusaks muutus — naeru, millega minul polnud õigust ühineda.

...Võib-olla ongi jutt mikromehhaanika kõige üldisemate füüsikaliste ideede sünnist neil lehekülgedel seepärast nii pikale veninud, et jutustaja pole unustanud, kui

raske, ent hea on saavutada lollpea (ehk pehmemalt — lihtsameelse) kuulsus ja kui kerge, aga vastik on näida tarkpeana (või veel halvem — šarlatanina), jutustades tarkadest asjadest, mida sa ise pole välja mõelnud.

● Ligikaudsuse udu ei haju käsusõnade mõjul. Aga sõnad klassikaliste kujutluste piiratusest kõlavad sageli just nagu käsusõnad: «Ära topi neid kujutlusi mikromaailma — nad ei kõlba sinna!» Kuid füüsika pole usuõpetus: tal pole käsusõnadega midagi peale hakata. Ja kvantmehhaanikat ei eksisteeriks, kui klassikaliste mõistete ja kujundite piiratuse tunnistamisele poleks järgnenud selle piiratuse piiride selgitamine.

Aatomisisest maailma õpib inimene tundma suure maailma laboratooriumides, teist teed pole. Liiguvad aparaatide osutid, signaliseerivad loendajad, võbisevad automaatkirjutajate suled, filmilint jäädvustab uduseid jooni, rivistuvad spektrijoonte tarad... Kõik nähtamatu, mis toimub mateeria mikronivool, muutub vaatlusele kättesaadavaks alles siis, kui jõuab ilmneda suurema mõõduga nähtustes. Kuulmatu aatomisosin muutub tajutavaks ainult võimendatuna suurte nähtuste kõuehäälse kõneni. Aga klassikalised kujutlused on tekkinud just looduse suuremastaabilise tegelikkuse uurimisel.

Oletagem siis minutiks, et kõik füüsikalised kujutlused, mis on hangitud igivanast maisest kogemusest, osutuksid mikrotegelikkuse tundmaõppimisel mõttetuks.

Oletagem, et kujutlused diskreetsusest ja pidevusest, osakestest ja lainetest, laengust ja massist, impulsist ja energiast, lõpuks ka ajast ja ruumist on kõik muutunud kasutuks teaduslikus jutustuses mateeria omadustest ja käitumisest selle sügavuses. Kas see ei tähendaks, et mikro- ja makromaailma vahel pole mingit järgnevust — mingit reaalset sidet? Nende vahele kasvaks läbitungimatu müür ilma ainsagi praota, kust makroelemendid oma makrolaboratooriumides võiksid aatomi põue vaadata. Kõik eksperimentaatorite ja teoreetikute püüdlused muutuksid mõttetuks jõuraiskamiseks. Nad ei saaks isegi teada seda, et mikromaailm on kummaline, sest nad ei teaks temast üldse mitte midagi.

Õnneks on see järjekordne ettepanek «kujutleda» niisama rumal kui teised sama laadi ettepanekud, mille mõttetuse oleme juba järele proovinud (näiteks katse «kujut-

leda» valguse kiirusega lendavat raketti). Kui poleks järkjärgulist üleminekut mikromaailmast makromaailma, siis ei saaks keegi kujutleda ka läbitungimatut müüri nende vahel: mõtlev olend — makrokonstruktsioon mikromaailmadest — ei tekiks kunagi.

Maailmaruumi olemasolu ise tunnistab: müüri ei ole! Loodus on ühtne. See pole filosoofiline eeldus, vaid füüsikaline fakt.

Nii olemegi juba kohustatud mõtlema mitte ainult klassikaliste kujutluste piiratusest, vaid ka nende võimsusest.

Piiratus torkab kohe silma: mateeria sügavuses pole korpuskulid korpuskulid ega lained lained, elementaarosakesed on just nagu miski kolmas asi ja vana füüsika ei leidnud *vasturääkivusteta* kujundit, et haarata nende ebatavalist olemust.

Kuid ka klassikaliste mõistete võimsus on silmanähtav, ehkki esialgu võiks arvata vastupidist.

Selgus ju, et põhiliste klassikaliste kujutluste arsenal on siiski *küllaldane* mikromaailma mehhaanika pähkli katkihammustamiseks: kui seda kindlust otserünnakuga ei valluta, siis tiibmanöövriga kahest vastassuunast saab ta kätte. Leiti siiski sellised läbiproovitud kujutluste enneolematud kombinatsioonid, mis võimaldasid edukalt kujutada mikrotegelikkuse veidrusi! Inimkonna «suure kogemuse» seisukohast on sellised hübriidid loomuvastased. Ent tähtis on see, et füüsikud lõid nad mõisteist ja kujutlustest, mis on teaduse poolt kasvatatud sellesama neid kõrvale heitva «suure kogemuse» pinnal.

Tühja ka, et seejuures tuli loobuda piltlike mudelite mugavusest: kerakestest ja traadist ei saa meisterdada tõelise aatomi koopiat — maketti, mille loodus on valmistanud mikrokentauridest. (Muide, paljud füüsikud kinnitavad, et nad on lainete-osakestega, pidevuse-diskreetsuse ja muude kujutlematute asjadega juba nii harjunud, et *näevad* neid mõttes!)

Sellestki pole midagi, et tõestused, valemid ja arvutused on hirmus keeruliseks muutunud ja lihtsurelikel on raske nii kõrgel teemal vestelda. (Muide, raske ei tähenda veel lootusetu: vestleme ju meiegi praegu selsamal teemal!)

Lausa suurepärane — ja see katab kõik kulud-kahjud —, et mikromaailmas piiratud ulatuses kehtivaist klassikalistest kujutlustest loodud seninägematud hübriidid täida-

vad oma ülesandeid oivaliselt: juba üle kolme aastakümne aitavad nad teadlastel koguda üha uusi kindlate teadmiste saake. Ja muidugi pole kõik mingi õnnelik juhus, vaid väljendab ilmekalt looduse sügavat ühtsust, mille lõputust kordamisest neil lehekülgedel olete nähtavasti juba tüdinud.

Jah, mikromaailmas lihtsalt klassikalise füüsika keeles väljenduda ei saa. Aga mitte lihtsalt, vaid keeruliselt, erilises kvantfüüsika laadis — palun!

... Seal pole trajektoore. «Kuidas sul siis elektron liigub?»

Tõepoolest — kuidas?

● Pole küsimust, mis loomulikumalt kõlaks. Aga samal ajal ei saa sellele mingit täpset vastust anda. Raske uskuda, või õigemini — raske mõista. Kuid oletagem, et leiduks täpne vastus. Siis oleks võimalik igal hetkel täie veendumusega öelda, kus on elektron ja kuhu, millise kiirusega ta oma asukohast liigub. Sest just niisugune mõte peab olema täpsel vastusel, mida me igatseme. Kui see vastus oleks loodusel varuks, kas ei saaks siis samm-sammult jälgida täiesti kindlat elektroni liikumisjoont ja pealegi seda ruumis üles joonistada?

Täpne vastus tooks meid otsekohe tagasi tavaliste klassikaliste liikumistrajektooride juurde. Aga need trajektoorid kuuluvad ühte tavaliste kerakujuliste osakestega, millel pole mingeid laineomadusi. Need kerakesed paiskaksid meid aga tagasi... pole vist tarvis jätkata?

On selge, et mikrotegelikkus muutuks uuesti mõistatuslikuks — uuesti ümbritseks aatomi ehitust ja kiirguse teket teadmatuse pimedus, jälle oleks võimalik ainult käsi laiutada valguse korpuskulaarse olemuse ja aine lainekäitumise üle. Ühesõnaga, kui hämmastav see ongi, ent just täpne vastus meie pealetükkivale ja loomulikule küsimusele teeks füüsika peajao madalamaks!

See on kallis hind uudishimu eest, mida loodus rahuldada ei suuda.

Ja ikkagi ei saa keelduda sellest üliseaduspärasest küsimusest: «Kuidas siis liigub elektron?» Ta ju ometi liigub! Aga kui liigub, siis kuidas? Me ei jää rahule enne, kuni pole seda teada saanud. Kuid andkem endale aru: mida me tegelikult taotleme?

Tuleb ausalt tunnistada — me igatseme ainult üht:

suuta näha, paberile joonistada või täpse liigutusega näidata, kuidas liiguvad ruumis aatomimaailma moodustavad osakesed-lained. Ilma selleta ei hooli me mitte ühestki füüsikalisest teadmisest. Ilma selleta tunneb meie mõte end abituna. Alateadlikult nõuame teaduse käest sedasama, mida nõuame õigusega kunstilt: tunnetatava kujutamist. Alles siis oleme nõus igasuguseid loodusteadusliikke ideid vastu võtma. Üldiselt igatseme alati nähtavat sarnasust millegagi, mis on meile juba tuttav teadmise kolmemõõtmelise, ruumilise «meelelisuse» järgi. (Just seepärast rõõmustas kõiki Rutherfordi planetaarne aatom ja ainult füüsikuid viis see segadusse.)

Lühidalt öeldes nõuame oma küsimusele klassikalist vastust. Aga samal ajal peab sellele vastama täiesti mitteklassikaline — mitte-Newtoni-pärane mikrotegelikkus.

Mida loodus peab siis peale hakkama? Millise vastusega võime arvestada, kui juba ette on lootusetu oodata, et elektroni liikumine sarnaneks haavli või Maa lennuga, mille lainekujulisus pole märgatav? Ent kui klassikalist vastust pole oodata, miks me siis rääkisime klassikaliste kujutluste võimsusest? Mis võimsus see on, kui nad ütlevad «pass» juba esimese raskuse ees lainete-osakeste mehhaanikas — elektroni liikumise kujutamise ees.

Ärge tõtake, ärge tõtake... Võib-olla kordub siin sama lugu, mis juhtus nende «lainete-osakestegagi»: nende kummaline kuju sisaldas looduse täiesti mitteklassikalist vastust küsimusele elektroni ja footoni, sellega koos aga ka kõigi teiste elementaarosakeste materiaalse ühtsuse kohta. Ent kuigi see on täiesti mitteklassikaline (kus on nähtud, et eksisteeriksid lained-osakesed!), konstrueeriti mikrokentauride kujund vanadest klassikalistest mõistetest, sest nagu me veendusime, ei räägi loodus üheski teises keeles otseselt ja vahetult meiega, inimestega, klassikalises mastaabis olenditega. Kas ei aja loodus meiega selles meile mõistetavas keeles mingit oma, mitteklassikalist, mikromastaabilist juttu ka elektroni liikumisest?

Kindlasti ajab! On tarvis seda ainult kuulda.

● Jalgpalliväljaku kohal lendab pall. Reeglite vastaselt peatab kaitsja selle käega: ta oleks võinud vanduda, et pall oleks lennanud värava ülemisse nurka ja väravavaht ei oleks seda kätte saanud. Kust see kindlus?

Kogemustes kasvanud kindlast «trajektoorimeelest». Füüsikalises keeles kõneldes: kaitsja oli veendunud, et tolles kindlas ruumipunktis väljaku kohal, kus ta palli peatas, oli sellel täiesti kindla suuruse ja suunaga kiirus. See kiirus oleks palli surmkindlalt toimetanud kindlasse naaberpunkti ruumis, aga seal oleks veidi muutunud, kuid jällegi täiesti määratletud kiirus viinud palli teise naaberpunkti, nii et liikumine oleks kõrvalekaldumatult lõppenud väravavõrgus — väravavahi jaoks kättesaamatus ülanurgas. Parem siis juba karistuslöök kui kindel värav! . . .

Maapealsed kogemused varustavad meid vankumatu klassikalise veendumusega, et iga liikuvat keha võib tabada täiesti kindlaksmääratavas ja ettemääratud kohas, kust see hakkab edasi liikuma niisama täpselt määratletava ja ettemääratud kiirusega. Nii koha kui ka kiiruse määrab kindlaks keha liikumise kogu ajalugu.

See ongi meie «trajektoorimeel». Ta annab enesekindlust jahiretkele minevale kütile. Ta aitab poisikesel lumepalli eest kõrvale hoida. Ta on meie teenistuses iga tund ja kogu elu. Ja kuigi ta on alateadlik, kajastub selles objektiivne fakt: meie endi kui liikuvate kehade ja kõige ümbritseva, nähtava, kombitava lainekujulisus on nii varjatud, et ei teata endast kunagi. Me oleme «ainult korpuskulid».

Ja nüüd on meie ees teine maailm, kus lainekujulisus pole sugugi viirastus ja kus trajektoorid on kadunud. Kuidas siis jääb elektroni koordinaatide ja elektroni kiiruse klassikaliste mõistetega? Kas võib mikrokentauride liikumist vanaviisi nende abil kirjeldada? Ei, mitte midagi ei tule välja! Sest niipea, kui tahame endale kinnitada, et elektronil on iga hetk niihästi täpselt kindlaks määratav asukoht kui ka täpselt kindlaks määratav kiirus, «sunnime» teda otsekohe mööda trajektoori liikuma. See aga on meie poolt ainult lohutav endapettus. Elektron ei saa meile kuuletuda. Ta ei suuda oma kaksikloomusest lahti öelda üksnes seepärast, et me seda nii väga tahame, ja tema lainekujulisus meie soovil ei kao.

Tähendab, jällegi, nagu võis ka oodata, näitavad klassikalise mehhaanika läbiproovitumad mõisted — seekord keha koordinaadid ja kiirus — oma kõlbmatust mikromaailmas. Või vähemalt piiratud kõlblikkust. On selge, et nad peaksid tõestama füüsikuile ka oma võimsust, nagu suutsid seda teha osakesed ja lained.

Võib sõnadega keerutada ja mängida kui palju tahes, aga elektroni liikumine väljendub ikkagi ruumilises ümberpaiknemises! Tuleb välja, et mingist kujutlusest elektroni asukoha kohta, või teiste sõnadega, koordinaatide mõistest me lahti ei saa. Ja ükskõik, kuidas see ruumiline ümberpaiknemine ka toimub, ikka kulub selleks aega! Järelikult on ka kiiruse mõistest võimatu loobuda.

Füüsikuil oli vaja välja pääseda nõiaringist, sest loodus pole inimesi õpetanud nägema liikumist seal, kus miski ei muutu ei ajas ega ruumis: siis kaotab liikumise mõiste ise meie jaoks igasuguse mõtte.

Mis siis teha? Kas tuli tõesti langetada äärmuslik otsus — võtta ja kuulutada, et liikumisest mikromaailmas ei tohigi rääkida?!

See võrduks loobumisega mikrotegelikkuse tunnetamisest.

Aga peale selle...

Raskepäraste teaduslike ja filosoofiliste väidete asemel ütleb teenistusvalmis mälu meile ette kuulsad Puškini värsiread:

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить, —
Сильнее бы не мог он возразить.

Ja tõsi — nägija nähku: läbi pimeduse tungib majakakiir, see on mikrokentauride — footonite voog, kahtlemata need liiguvad; laboratoorset märklauda tulistab nähtamatute mürskude kitsas kimp, mis on välja saadetud Dubna hiiglasuurest aatomilingust, ka see on mikrokentauride — prootonite — voog ja nemadki liiguvad; Aragatsi filmikaadreile jätavad enda järel uduniite elektronid, mesonid, vesinikutuumad kosmosest, ja ka need on mikrokentauride vastuvaidlematu liikumise jäljed. Ühesõnaga, meie käsutuses on tuhanded eredad tõendid iga liiki laine-korpuskulite aeglasest kui ka kiirest ümberpaiknemisest aegruumis.

Tõendid on nii ilmekad, et pistodataolise prožektorikiire või valge tähesaju pilt udukambris toob kaasa lisakiusatuse — tahaks hüüda: «See on ju liikumine mööda trajektoore, osakeste ümberpaiknemise kõverad on palja silmaga näha!» Kuid otsekohe peab juba keelde hammustama. Selline ettevaatamatu hüüatus oleks andeksand-

matu tõtlikkus, isegi suur klassikaline kogemus on teadlased ammu ära võõrutanud usaldamast kontrollimatult meie nägemise vahendusel saadud jämedaid ja tihti petlikke andmeid.

Puškini tarkade muistses vaidluses paistis too teine, kes liikumise tõestamiseks vaikides kõndima hakkas, kahtlemata võitjana. Kuid Puškin poleks hakanud oma luuletust kirjutama, kui ta oleks tahtnud ainult seda tõestada. Teda köitis sügavam mõte:

Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей.

Niisiis, näivusse tuleb ettevaatlikult suhtuda. Järelikult... Kuid oodake, enne kui jätkata, tahaks Puškini värssidest veel ühtteist välja tuua.

Nähtavasti hämmeldas igaüht juba koolipõlves väike arusaamatus: miks oli esimesel muistsetest tarkadest üldse õigus targa nime saada? Ütles kaks ja pool tuhat aastat tagasi silmanähtava rumaluse, oli sealsamas sõnadeta vastuvaidlematult häbistatud, aga miskipärast räägitakse sellest «lõbusast vahejuhtumist» sajandite kestel pikki jutte! Tõenäoliselt polnudki see rumal tark nii lihtsameelne?

Ta polnud lihtsameelne kahes suhtes. Puškin kirjutas Zenonist. Aga Zenon esitas küsimuse: «Lendab nool, igal hetkel võib teda kuskil tabada, seal on ta sel hetkel paigal, kust tuleb siis liikumine? Tähendab, liikumine on paigalolekute järgnevus? Kas see pole absurdne?»

Arutlus oli laitmatu. Kuid ka Diogenese tõestus, kes käima hakkas, oli ümberlükkamatu. Kas võis leiduda väljapääs silmanähtavast vastuolust — liikumine koosneb paigalolekutest? Väljapääs tuli leida ja leiti.

Selleks pidid matemaatika ja mehhaanika õppima opereerima lõpmata väikeste suurustega. Nad pidid õppima paigaloleku seisundit vaatlema kui kaduvväikese ümberpaiknemise nullpiiri. Seda teeb diferentsiaalarvutus. Ja pidid õppima selliseid nulle liitma, imestamata, et lõpmatult väikeste liikumiste lõpmatu liitmine võib anda täiesti reaalse, l õ p l i k u teelõigu. Seda teeb integraalarvutus.

Zenoni arutluses oli märkamatu loogikaviga. Ta jagas

noole ümberpaiknemise lõputuks seisuolekute hulgaks, aga liitis neid lõplike summade aritmeetilise loogika järgi: kui võtta nii- ja niipalju nulle, tuleb ikkagi välja null. Ja ütles seepärast: «Liikumist ei ole.» Kogu asi on aga selles, et kui suur ka poleks aritmeetiline «nii- ja niipalju», ometi pole see veel lõpmatus. Diogenes võis Zenoni ainult vaikides ümber lükata — sõnadega poleks tal midagi välja tulnud, sest tollal polnud selleks vajalikke sõnu. Diogenes «integreeris» jalgadega.

Lõplike suuruste loogikast pidi inimkond sammuma edasi lõputute hulkade loogika suunas. Selleks kulus üle kahe aastatuhande. Ja ligikaudu niisama palju aega kulus filosoofial, et jõuda range dialektilise järelduseni: looduses realiseerub igal sammul pideva ja pidetu, lõpliku ja lõputu ühtsus.

Näete nüüd: isegi lihtsaimat, klassikalist trajektoori mööda liikumist pole naljaasi mõista. Ent Puškin ei tahtnud rääkida sellest komplikatsioonist, vaid hoopis teisest: millise kahtlase väärtusega on meie vihjed silmanähtavusele, kui me tahame midagi tõestada!

Jonnakas Galilei kaitses Maa pöörlemist vastuoksa tema näivale liikumatusele — ja tal oli õigus. Diogenese viis tõde näitlikult demonstreerida ei kõlba alati.

Meile ei kõlba see üldse.

● Demonstreerida liikumisprotsessi mikromaailmas ei suudaks ükski XX sajandi Diogenes. Ja ei suudaks nimelt seepärast, et seal pole trajektoore. Nägemist tunnistajaks kutsuda on naiivne.

Kas märkame sirgjooneliselt lendavas valguskiires üksikut footonit? Ega Kepler asjatult arvanud, et valgusallikast voolab pidevalt mateeriat, — nagu meie kõik, nägi ta, et «see on nii», ja — eksis.

Kui lambakari valgub laiali mööda mägiteid, libiseb iga üksiku lamba tõeline liikumine väljapoole meie tähelepanu piire. Vaadeldes uduniite Wilsoni fotodel, ei jälgi me üldse kosmilise osakese tõelist teed: need udutilgakestest trekid on just nagu langetatud puud metsasihil — nad ei anna täpselt aru puuraiuja liigutustest. (Mäletate, osake udujälje sees sarnanes kärbsega metroo tunnelis.)

Ma rääkisin lambaist, puuraidurist, ja kahetsesin otsekohe. Sellised võrdlused viivad kiusatusse: vägisi tekib

mõte, et mõni ülimalt peen katse muudab ikkagi kunagi piltselgeks näiteks elektroni liikumise vesiniku aatomis. Võib ju binokli ja kannatusega relvastatult teada saada iga üksiku lamba käärulist teed karjas. Ja puuraidurigi teed võib lõppude lõpuks kõigis detailides kindlaks teha — tuleb ainult ette võtta tüütu uurimine. Miks siis mitte eeldada, et füüsikud konstrueerivad aja jooksul ülivõimsa mikroskoobi teadusliku dokumentaalfilmi «Elektroni teekond» või «Elektron orbiidil» filmimiseks?

Kogu lugu on selles, et niisugust filmi ei tehta iialgi. Ja sõnas «iialgi» avaldub looduse enda keeld, väga arusaadav keeld.

... Selleks et elektroni aatomis näha ja pildistada, on seda kääbust tarvis valgustada.

Ükski nähtava spektri kiir — sinisest punaseni — selleks ei sobi: nende lainepikkused on liiga suured, vahemikus 3000—7000 ongströmit (sajamiljondikku sentimeetrit). Aga vesiniku aatomi mõõtmed on normaalolekus ühe ongströmi piires. Kas võib siis oodata, et nähtav valgus peegelduks tagasi isegi mitte elektronilt, vaid tervelt vesiniku aatomilt? See on sama hea, kui oodata merelaine märgatavat tagasipeegeldumist ühelt liivateralt kaldal.

Nähtav valgus ei taju aatomit kuigivõrd tõsise takistusena. Õhust ümbritsetuna ei märka me selle aatomeid, kuigi neid valgustab päike — punaste, kollaste, roheliste, siniste kiirte valge segu. Nende kiirte hajumine kokkupõrkeil hapniku, lämmastiku, vesiniku molekulidega on äärmiselt tühine, seepärast õhku ei olegi näha. Kuid ikkagi, mida lühem on valguslaine, seda märgatavamaks takistuseks on need molekulid kiire jaoks. (Täpsemalt tuleb öelda, et päikesekiirte jaoks pole «märgatavamad» mitte üksikud molekulid, vaid nende tihedad kogumid, niinimetatud «õhutiheduse fluktuatsioonid», mis atmosfääris pidevalt tekivad.) Ja seepärast hajutab õhk kõige lühemalainelisi nähtavaist kiirtest — siniseid — tajutavamalt kui punaseid. Hiiglapaksus Maa atmosfääris see tilluke efekt kasvab vähehaaval ja loob läbipaistva taeva sügava sina. Aga pikalainelised kiired, kollasest punaseni, läbivad atmosfääri peaaegu hajumata ning loovad meie tajus päikese oranži värvi.

Kui punase valguse elektromagnetilised lained oleksid, vastupidi, kõige lühemad, aga sinised kõige pikemad, elaksime punase taeva ja sinise päikese all.

Millise valgusega valgustada elektroni aatomis? Te olete nõus, et sellise valguse lainepikkus peab olema aatomi mõõtmeist väiksem. Noh, kas või kümme kordagi, siis kerkib elektron reaalse takistusena nende lainete teele. Ilmub lootus lõpuks oma silmaga näha saada kummalist võõrast, kellest füüsikud meile enesekindlalt tuhandeid huvitavaid lugusid jutustavad, teadmata isegi, «kuidas ta välja näeb». Aga oletatav filmimine sellistes kiirtes äratab lootusi saada kujuteldava mikroskoobi all ühetoonilisuse tõttu kõige igavama, kuid ebatavalisuse tõttu ka kõige hämmastavama filmi. Tõsi, selliseid ultralühilainelisi kiiri — 0,1 ongströmit — meie silm ei taju. Kuid see on alles pool häda: kavalate seadmetega suudaksid insenerid nähtamatu röntgenikujutise muuta tavaliseks — nähtavaks. Häda on muus. Ja sedakorda juba tõepoolest saatuslik.

Igasugused elektromagnetilised kiired ei ole mitte lihtsalt lainete voog, vaid mikrokentauride — lainete-osakeste — footonite voog. Iga footon on elektromagnetilise energia kvant. Ja te pole muidugi veel unustanud, et see kvant, see energiaportsjon on seda suurem, mida suurema sagedusega toimuvad elektromagnetilised võnked või, mis on seesama, mida lühem on elektromagnetiliste lainete pikkus. «Sinine footon» kannab endaga (või endas) rohkem energiat kui «punane footon», aga röntgenikiirguse footon — tuhandeid kordi rohkem kui ükski nähtava valguse footon, sest kiirguse lainepikkus on siin tuhandeid kordi lühem (meile tarvilike kiirte puhul isegi kümneid tuhandeid kordi lühem: võrrelge — 0,1 ongströmit ja 3000—7000 ongströmit). Aga mida energilisem on footon, seda massiivsem ta on. Tema massi on kerge teada saada meile nii hästi tuttava Einsteini seaduse järgi: $E = mc^2$. Ja lõpuks on päris kerge arvutada — see on kõige lihtsam aritmeetika —, milline tuleb oma massilt tolle ultralühilainelise röntgenikiirguse footon, mis võiks kas või põhimõtteliselt valgustada aatomi sees olevat elektroni.

Selgub, et sellise footoni mass peaks ligikaudu võrduma elektroni massiga!

Nüüd võib lõpuks alata kauaoodatud pildistamine.

Kas pole selge, et see tuleb peaaegu kohe katkestada. Aatomile valgub ju niisama massiivsete osakeste voog nagu elektron ise. Selle asemel, et aatomit korralikult valgustada, ajab see voog tuuma ümber liikuvad elektronid

hoopis laiali. Ta hajutab elektronpilve — riietab aatomi lahti. Ta muudab selle paljaks tuumaks.

Kuid pole tarviski mõelda footonite hävitavast voost: vesiniku aatomis on üksainus elektron ja piisab, kui kujutleda üheainsa footoni kohtumist sellega. Võrdne kohtub võrdsega. Ja tulemus on silmanähtav. Vanas piljardikuulide keeles tähendab see kahe ühesuguse kiire kuuli kokkupõrget — löök paiskab elektroni teelt kõrvale ning aatomiruumist välja. Fikseerinud nõnda sündmuse koha, rikub footon samas kogu võtteobjekti: enam pole midagi filmida.

Tähendab, isegi kui aatomis eksisteeriksid meie kujutlusele nii kallid täpsed orbiidid, ei saaks me neid ikkagi vaadelda. Kõige täiuslikum mikroskoop, isegi mõttelises, ideaalses katses, näitaks elektroni kogu trajektoorist ainult üht punkti. Aga teisele kaadrile «järgmist punkti» võtta pole võimalik: elektron lihtsalt ei oleks eeldatavas naaberpunktis ja poleks mingit mõtet kõnelda tema «järgmisest» asendist orbiidil.

Õnneks ei põhjusta tõik, et imepeen katse on määratud nurjumisele, nii suurt pettumust nagu juhul, kui trajektoorid mikromaailmas tõepoolest eksisteeriksid. Aga kas asjaolu, et olematut ei saa näha, kurvastab?

Ja ikkagi...

Ja ikkagi liigub elektron kuidagiviisi ruumis ja ajas.

Pärast Puškinit, puuraidurit, lambaid ja kasutut ülimikroskoopi tuleb ikkagi tagasi pöörduda selle neetud «kuidagiviisi» juurde. Liikuva keha koordinaatide ja kiiruse klassikalised mõisted, mille piiratud kõlblikkus on paljastatud, peavad kuidagi olema rakendatavad ka mikromaailma sündmuste kirjeldamisel.

NELJAS PEATÜKK

- **Määramatused, mida ei saa kõrvaldada.**
- **Mõttetuste laukas.**
- **Sellega pole midagi peale hakata!**
- **«Ebatäpsuste kamber.»**
- **Klassikute meelekibedus.**
- **Tragunikapten kõneleb jumala nimel.**
- **Maailmakonstandid.**
- **«Saladuslik saadik reaalsest maailmast.»**
- **Heisenbergi relatsioon.**
- **Mõistetakse ka seda, mida ei saa kujutleda.**
- **«Oodake, Landau, laske ka mul sõnake sekka lausuda!»**

Esmakordselt ühele Himaalaja kaheksatuhandelisele tipule — pilvedetagusele Annapurnale — tõusnud alpinistide salga juhi märkmete seas on sügavat muljet avaldav mõtisklus:

«Ühelgi loomal ega taimel pole siin õigust eksisteerida. See igasuguse elu puudumine, see looduse karm ihnsus koos puhta koidusäraga ainult suurendab meie sisemist jõudu. Kes suudaks mõista indu, mida ammutame sellest olematusest, kui inimesi meelitab tavaliselt helde ja rikas loodus?»

Kui ma lugesin neid kauneid ridu, viirastus mulle midagi väga tuttavat. Ma heitsin pilgu seljataha nagu tänaval: «Pea, kes see oli? Me oleme ju kohtunud! Kui halb mälu mul on!» Edasi lugeda oli raske. Tahtsin tingimata

meelde tuletada, kus, millises raamatus olin hiljuti midagi äärmiselt sarnast kohanud? Teise alpinisti märkmetes? Ei, jutustus Annapurna vallutamisest sattus mulle juhuslikult kätte — juba aasta otsa polnud ma avanud muid raamatuid kui «füüsikast» ja «füüsikutest». Kuid kas tõesti võisid mõnes neist, luulelisusest kaugeis raamatuis, leiduda read «vaimustusest, mida ammutatakse olematusest» ja muud lennukused?... Otsustasin igaks juhuks (et vähemalt teist jälge mitte kaotada) alpinisti mõtisklused välja kirjutada. Ja vaevu oli pliiats paberit puutunud, kui mulle kõik kohe meelde tuli, nii nagu oleks käel omaenda kindel mälu: see oli juba kord samasuguseid sõnu kirjutanud.

Sorisin hiljutisi märkmeid ja leidsin ühe minutiga selle, mida otsisin. Need olid read Werner Heisenbergi loengust kaasaegse füüsika ning Goethe ja Newtoni valgusteooriate kohta:

«Loodusuurijat, kes väljub vahetute meeleliste tajude piirkonnast, et avastada üldisemaid seoseid, võib ehk võrrelda alpinistiga, kes tahab tõusta kõige kõrgema mäe harjale, et vaadelda enda ees lebavat maakohta kogu selle mitmekesisuses. Ka alpinist peab lahkuma viljakaist asustatud orgudest. Mida kõrgemale ta tõuseb, seda laiem maa-ala avaneb tema ees, kuid samal ajal näeb ta enda ümber järjest harvem elu tunnuseid. Lõpuks jõuab ta pimestavalt säravasse jää- ja lumepiirkonda, kus pole enam mingit elu ja hingata on peaaegu võimatu. Ainult seda läbides võib ta tipule jõuda...»

Niisugune on teoreetiku enesetunne, kes uurib mateeria liikumise sügavaid seaduspärasusi.

Vaieldes vastu kvantmehhaanika kriitikuile, sõnas Heisenberg teisal, et katsetel tungida aatominähtuste detailidesse hajuvad selle reaalse kummalise maailma kontuurid füüsiku jaoks «matemaatika läbipaistvas selguses». Teoreetikud ammutavad sarnaselt alpinistidega innustust just nagu «olematusest»: nii kauge on igapäevasest reaalsusest, elu kaemuslikust heldest rikkusest elementaarosakeste nähtamatu ja kuuldamatu maailm, kus teadlaste otsiv mõte elab lihatute abstraktsioonide ja kujutlematute mõistete atmosfääris.

Mõnikord, kui mõtlen, et need leheküljed satuvad sellise füüsiku-alpinisti silme alla, hakkab mul ebamugav. Puuraidur... Puškin... 26-nda aasta ime... Lüürilised

mälestused... Lambakari... Kuningad-alkeemikud... Milleks see kõik? Milline seos on sel meie jutustuse teemaga?... Ma rahustan oma südametunnistust lihtsa arutlusega: seda lugu ei kirjutata kaheksatuhandeliste tippude vallutajate jaoks.

Kui mittefüüsik tahab mõista kaasaegsete füüsikaideede uudsust ja tabada nende mõtet, mis peab ta siis tegema? Talle kättesaamatu matemaatika läbipaistvat selgust ei saa millegagi asendada. Võib-olla aitavad siis piltlikud võrdlused, kauged paralleelid, lüürilised kõrvalepõiked, ajaloolised vihjed vähemalt kuigivõrd mõista «indu», mida füüsikud ammutavad «olematusest»? Võib-olla! Kui seda ei saa eelnevalt tõestada, siis igatahes ei saa seda ka eelnevalt ümber lükata.

Mul jääb üle ainult endist viisi juttu jätkata. Jälle faktid, loogika ja igasugused «reisimärkmed».

...Niisiis, kui juba elektron, nagu iga teinegi mikrokentaur, ei või liikuda mööda trajektoori, see tähendab, ei oma samaaegselt ja täpselt kindlaksmääratavat asukohta ning täpselt määratletavat kiirust, seejuures aga siiski liigub, siis on kaheldamatu üks: tema koordinaate ja tema kiirust mõjutab määramatus. Mingisugune määramatus!

Missugune siis? Niisugune küsimus tekib otsekohe meie suurimast austusest füüsika kui täppisteaduse vastu. Aga veel tähtsam on sügav veendumus, et loodus ise on alati ja kõikjal täpne. Ja kui seal esineb umbmäärasusi, siis peavad need olema määratletud! «Siit» ja «sinnani»...

Mõlema määramatuse allikaks on ikka seesama, kõigi mitteklassikaliste hädade allikas: elektroni lainekujulisus. Oleks ta ainult osake, ei takistaks miski teda liikumast mööda ranget trajektoori ja poleks olemas mingeid määramatusi. Kuid paluda elektroni «olla ainult osake» ja «mitte olla laine» ei saa. Ja seepärast ei või need määramatused kaduda — nulliks muutuda, et nii osakese-laine koordinaadid kui ka kiiruse väärtuses s a m a a e g s e l t valitseks täielik klassikaline määratletus.

Kas tajute, kui ebatavaline see on ja kui tähtis on siin just sõna «samaaegselt»? Seda on kerge hinnata makromastaabis näitega.

Kandume mõtteis sõja-aastaisse. Kord võttis hävitajate staap Balti merel vastu ainult katkendi raadioteatest: «...Vaenlase eskadrill möödub praegu Helgolandi ko-

halt.» Viisteist minutit hiljem tabati aga uus informatsioonikatke: «... Vaenlane liigub praegu kursiga nordost, kiirus 300». Hävitajad oli tarvis õhku saata, ent kuidas anda neile täpne ülesanne? Kummaski teates käis sõna «praegu» vaenlase reidi erinevate momentide kohta. Kui koordinaadid ühes punktis ristusid, jäi teadmata, kuhu ja kui kiiresti lendab eskadrill. Kui saadi teada lennu kurss ja kiirus, jäi saladuseks, kus eskadrill samal ajal viibis. Algul määramatus kiiruses, siis määramatus koordinaatides. Tulemuseks oli täielik selgusetus. Kui side oleks olnud korras, oleksid mõlemad määramatused võinud koraga kaduda ja siis poleks õnnetust juhtunud.

Aga mikromaailmas ei kao need kaks määramatust k u n a g i samaaegselt! Ja mitte mingi täpsus informatsiooni vastuvõtmises mateeria sügavusest ei saa siin aidata. Teiste sõnadega, kvantmehhaanika sundis kõigist täppisteaduste kogemustest hoolimata füüsikuid loobuma lootusest kahe tähtsaima suuruse samaaegsest suvaliselt t ä p s e s t mõõtmisest, milleta, nagu näib, pole mõeldavgi mikroosakeste liikumise ja vastasmõju kirjeldamine.

Näe, millise pöörde asi võttis!

Kuid ärge arvake, et see märgib aatomiteaduse jõuetust. Muide, vaevalt selline mõte kellelgi pähe tuleb. Meie ajal pole veel keegi oma teaduslike ennustuste õigsust nii veenvalt tõestanud kui aatomifüüsikud. Nende pilguteravus — nii julgustav kui ka kohutav — on võimaldanud tervet käesolevat sajandit aatomisajandiks nimetada. Tähendab, see, et pole võimalik jagu saada määramatustest mikromaailmas, ei suutnud takistada nende edu? Ei, ei suutnud. M õ i s t e t u d jõuetus sai nende jõuks.

Kuid kas me saime täiesti aru, et samaaegne võit mõlema määramatuse üle on tegelikult võimatu? See on niivõrd tähtis, et ei tohi jääda mingeid kahtlusi ega illusioone, mida sosistab meie «suur kogemus».

Ja kas ainult suur? Suutis ju väga lühilaineline footon tabada elektroni kindlas punktis ning ülimikroskoop näitas meile seda punkti! Järelikult, üht kahest suurusest — elektroni koordinaati — võib põhimõtteliselt mõõta suvalise täpsusega, eks ole?

Mis takistab siis samaaegselt samasuguse täpsusega mõõta ka elektroni kiirust? Kahtlus on põhjendatud. Kuidas seda hajutada?

● Tuleb korrata filmimist ülimikroskoobi all.

Tuleb vaadata, millise hinnaga füüsikud saavutaksid absoluutse piirtäpsuse elektroni koordinaatide mõõtmisel.

See, mida neil teha tuleks, meenutab üht väga arusaadavat igapäevast protseduuri, mis on tuttav kõigile, kes on sõja läbi teinud või käinud kaugeil ekspeditsioonidel või lõpuks ka lihtsalt matkamas.

... Mäletan 49-ndat aastat. Angara lisajõe ülemjooks. Pole maanteid ega asulaid. Geoloog laotab põlvedele kaardi mastaabis 1:1 000 000, sõnab kollektorile: «Ma ootan sind siin», võtab pliiatsi, tahab märkida punkti jõekäärus, kuid märkab oma pahameeleks, et süsi on murdunud. «Tee teravamaks,» lausub ta kollektorile. Ja ohkab: selle rohmaka kaardi järgi on raske orienteeruda, ühes sentimeetris on kümme kilomeetrit reaalset maad. Nüri pliiatsiga tehtud punkti läbimõõt on poolteist millimeetrit, see on poolteist kilomeetrit taigat. Tore täpsus! «Valmis?» pärib ta kollektorilt. Ja kaardile ilmub juuspeen märk, nii terav on pliiats. «Nüüd on kõik korras!» ütleb kogenematu kollektor. Geoloog toriseb: «Eks me näe.» Ta teab, et nad leppisid kohtumispaiga kokku ainult juuksekarva täpsusega, see on aga niisama hea kui sadakond meetrit kaldaäärset võsa. Ja kaartigi ei usalda ta eriti: «Eks me näe ...»

Kaardimõõt vähendab reaalset, mikroskoop suurendab, kuid olemus on üks ja sama.

Terav röntgenikiir torkab elektroni aatomikaardil. Ta teeb seda hiiglasuure täpsusega, kuid mitte suuremaga «oma teraviku laiusest». Selle laius sõltub aga footoni lainepikkusest. Veidi üldistatult võib isegi öelda, et kiir märgib elektroniga kohtumise paika samasuguse suurusega punkti, kui on tema lainepikkus. Just sellise täpsusega saabki füüsik teada elektroni asukoha aatomis — ihaldatud koordinaadi.

Mäletate, me leppisime kokku, et füüsik valis kiirguse lainepikkusega üks kümnendik ongströmit, selleks et footon võiks tungida vesiniku aatomisse. See määras kindlaks elektroni koordinaatide mõõtmise täpsuse. Kuid füüsik võis pliiatsiotsa veel peenemaks teritada: kasutada veel lühemate lainetega nähtamatut valgust — mitte röntgenikiiri, vaid gammakiiri või üligammakiiri, mis on nii kõrge sagedusega, et nad on kaasaegsele tehnikale tundmatud ning neil pole nimegi. (Katse on mõtteline — tehnilised raskused ei tule arvesse.)

Talitagugi füüsik sel kombel. Otsustagu ta mõõta elektroni koordinaati tuhat korda täpsemalt. Tal läheb tarvis tuhat korda lühema lainepikkusega footonit. Sellest saab tuhat korda peenem teravik.

Tõsi, vaevalt et katse nüüd libedasti läheb. Selline footon kujutab endast üsna suurt elektromagnetilise energia portsjonit: ta on endisest tuhat korda massiivsem. Ja kui eelmist võis massilt võrrelda elektroniga, siis see sarnaneb juba vesiniku aatomi tuumaga — prootoniga.

Niisugusega kohtumine pole aatomi elektroni jaoks enam «võrdsete kokkusaamine». Elektron põrkab temast eemale nagu lendavast püssikuulist.

Kuid kas kuuli lend elektroniga kokkupõrkamise tõttu muutub?

On ju tingimata tarvis, et see juhtuks: muidu ei saa füüsik teada, et footoni teele sattus elektron — ja aatomi kaardile ei märgita punkti. (Seepärast on kiirendajates tuumareaktsioonidel ja aatomireaktoreis uraani lagunemisel tekkinud gammakiired kõige ohtlikumaks kiirguseks: nad tungivad läbi paksude betoonseinte ja kaitse leidmine on rängaks tehniliseks ülesandeks.)

Üldiselt on kahtlane loota, et meie kuul-footon «hajub elektronilt», nagu füüsikud räägivad. Kuid antud juhul on seade täiuslik ja me oletame, et eksperimentaator suudab märgata ka kõige tillukesemat footoni kõrvalekaldumist. See tähendab, et ülipeen teravik tabas tõepoolest elektroni ja teatas selle asukoha. Koordinaat täpsustub mitte ühe kümnendiku, vaid ühe kümnetuhandiku ongströmini.

Loomulikult tahab füüsik koordinaate mõõta üha täpsemini. Katsed muutuvad järjest raskemaks, kuid mõttes võib neid jätkata lõpmatuseni, tehes pliiatsi üha teravamaks.

Lõpmatuseni? Jah, lõpmatuseni, sest lõpp on kättesaamatu. Absoluutne täpsus — nullteravik — jääb saavutamatuks.

Ja tõepoolest: footon, millesse just nagu pakitud elektromagnetiliste lainete pikkus on null ehk lõpmata väike, omaks lõpmata suurt energiat-massi. Ta kujutaks endast füüsikalist mõttetust. Füüsik lihtsalt ei saaks niisugust footonit katse jaoks «tarvitada». Ning pealegi ei saaks selline hiiglasuur footon elektroni torgata, see poleks temale vähimakski takistuseks.

Fantastilisest allikast väljalastud müütiline footon suudaks sõna tõsises mõttes kõikjale tungida: milleltki tagasi põrkamata, millelgi hajumata, kõiki takistusi teelt pühkides liiguks ta läbi maailmaruumi nagu läbi kõrbe ja kaoks selle ääretusse.

Kas on tarvis rääkida, miks sellise footoni allikas näiks fantastilisena? Selles peaks mingi elektrilaeng võnkuma lõpmata suure sagedusega, et ruumi eemalduksid lõpmata lühikesed lained. Kuid laeng on «mateeriatükike» ja lõpmata sagedusega virvendamise keelavad tal peale kõige muu veel relatiivsusteooria poolt avastatud seadused. Selline virvendamine võrdub liikumisega lõpmata suure kiirusega, mida pole olemas.

Nii tõukab püüe saavutada absoluutset mõõtmistäpsust füüsiku mõttetuste rappa.

Kuid p ü ü e järjest suurema täpsuse poole pole sugugi mõttetus. Küsige füüsikult: «Kas te võite teada saada elektroni asukohta katsemomendil veaga, mis pole suurem kui sajamiljardik ongströmit?» Ta vastab: «Põhimõtteliselt võin.» Ja nimetab lainepikkuse või footoni sageduse, mida ta selle jaoks vajaks. Kui te aga soovite veel suuremat täpsust, nimetab ta veel suurema sageduse (ehk veel väiksema lainepikkuse, mis on seesama).

Tõsi, kõiki neid arve nimetab füüsik tõepoolest ainult «põhimõtteliselt». Ehk õigemini öeldes, ainult selleks, et lohutada teid, kes te nõuate ja janunete veel suurema täpsuse järele. Aga salajas, oma sisimas, teab füüsik, et teel piiritu täpsuse poole elektroni asukoha mõõtmisel kerkib tingimata üks ületamatu takistus, millest teoreetikud kaugeltki kohe aimu ei saanud. Siin võib seda ainult mööda-minnes mainida.

Küsimus on selles, et footon — «mateeriatükike» — võib sobivais tingimusis muutuda teisteks «mateeriatükikesteks». Ta võib kaduda, tekitades uue osakeste paari — elektroni ja positroni. Selleks on kõigepealt tarvis, et footonil oleks küllalt energiat (tähendab, ka massi) niisuguse uute mikrokentauride paari tekitamiseks. Moodustub just osakeste paar, tingimata paar: negatiivselt laetud elektron ja positiivselt laetud positron, et mõlema osakese laengute summa võrduks nulliga, sest footonil endal on null-laeng — ta on neutraalne. Aga kui footonil on energiat-massi nii palju, et võib tekkida palju paare, siis sünnib sobivais tingimustes hulgaliselt elektrone ja positrone.

Võimas footon hukkub, aga tema kohale ilmub terve perekond pärijaid.

Aatomi elektroni «puurimist» ülilühilainelise, ülienergilise footoni «teravikuga» saadabki paljude paaride teke. Füüsikalised tingimused — kokkupõrge aatomiga — on selleks väga sobivad. Aga massi on mõõtmiseks võetud elektronil nii palju, et pärijad vist ei viivita ilmavalgusele tulekuga (täpsem oleks vist öelda mitte «ilmavalgusele», vaid «-valgusest»). Kui siis aatomielektroni kõrvale ilmuvad uued, äsja tekkinud elektronid, ei suuda ükski eksperimentaator eraldada süüdlast, kelle koordinaate mõõdeti, tema kaksikvendadest. Mõõtmine osutub kasutuks. Peale muu saab seegi takistuseks teel täpsuse suurendamisele.

● Kuidas lugu ka ei oleks — koordinaatide mõõtmise hetkel saab füüsik jagu määramatusest elektroni asendis. Ja mida täpsem on oletatav mõõtmine, seda täielikum on võit. Kahest määramatusest võib ta ühe, kas või mõtteliselt, piiramatu eduga kõrvaldada. Jääb üle vaadata, kas ei saa seejuures samasuguse eduga võita ka teist?

Just nimelt «seejuures», samal ajal.

Teiste sõnadega, tuleb vaadata, kas ei saa üheaegselt suvaliselt täpse informatsiooniga aatomi asukohast elektronis saada niisama täpset informatsiooni tema liikumissuunast ja kiirusest? Kuigi oleme juba mitmel korral kinnitanud, et see pole võimalik, tuleb selles tegelikult veenduda.

Kui «0,1-ongströmise läbimõõduga teravik» torkab aatomielektroni, paiskab kokkupõrge väga massiivse footoniga elektroni aatomiruumist välja. See eemaldub kokkupõrke paigast kuhugi teadmatusse, sõna-sõnalt teadmatusse, sest kokkupõrke variante on lõpmata palju. (Veel rohkem kui vanal heal piljardilaual, sest ei footon ega elektron pole kõvad kerakesed.) Teadmatusse kandub elektron kiirusega, mille ta omandab just tänu kokkupõrkele footoniga. Tähendab, tuleb tunnistada, et samal hetkel, kui täpsustub elektroni koordinaat, muutub kontrollimatult ja hüppeliselt tema kiirus.

Mõistate, mis juhtub, ja veel paratamatult: just ja ainult koordinaati täpsustav mõõtmine on süüdi, et kiirus muutub mõõtmise hetkel veel määramatumaks, kui ta oleks ilma aatomisse tungiva, selle normaalset elu häiriva footonita.

Ja on selge, et kui füüsik võtab veel peenema, veel tabavama «teraviku» — footoni lainepikkusega 0,0001 ongströmit, teeb elektroni liikumine torkehetkel läbi veel suurema perturbatsiooni. Tema kiirus muutub veel jahmatavama hüppega.

Niisugune on kasvava täpsuse hind mikrokentauri asukoha mõõtmisel: kasvav ebatäpsus tema kiiruse väärtuses. Kui esimene määramatus kahaneb, siis teine paratamatult kasvab.

Ja on tähelepanuväärne, et sinna pole midagi parata.

Nii väike ja tundlik on mikromaailm, et isegi delikaatseim mõõtmine võrdub jõhkra tungimisega tema normaalsesse eluvoolu. Selles pole midagi ootamatut: mõõtmine on materiaalne füüsikaline protsess. Mõõta võib ainult «millegagi». Puutugu füüsik aatomisisest maailma kas või «unelmkergete sõrmedega», ikkagi juhtub seal puudutuse tagajärjel midagi tajutavalt reaalset. Need sõrmed, nii õrnad kui nad ka on, pole väiksemad sellest, mida nad puudutavad: nagu mikromaailmgi, on füüsikaaparaadid paratamatult «konstrueeritud» aatomeist, kvantidest, elementaarosakestest. Ja pange tähele, kui füüsik sooritas järjest täpsemaid elektroni koordinaadi mõõtmisi, viis ta iga kord katsealuse vesinikuaatomi «rivist välja» — eemaldas sealt tahtmatult elektroni. Ta poleks ühel ja samal vesiniku aatomil isegi mõtteliste katsete seeriat saanud sooritada. Iga kord oleks ta pidanud võtma uue eksemplari, mida sissetungimine veel puudutanud polnud. Bioloogid teavad, et elektronmikroskoobis ei näe nad kunagi elavat rakku. Rakku valgustavate elektronlainete voog tapab ta. See pole elavate rakkude kirurgia, vaid rakulaipade prepareerimine. Bioloogid saavad tohutul hulgal tähtsaid andmeid, kuid ainult gigantsed katseseeriad tuhandete rakkudega võimaldavad neil statistiliselt taastada elu pilti rakustruktuuris. Nii on ka mikrofüüsikas — mõõtmine moonutab vaatlusobjekti. Kas te mõistate, kui oluline oli endale sellest täielikult aru anda?

Me võiksime füüsikut paluda korraldada elektroni koordinaatide mõõtmiste seeria vastupidises järjekorras: võtta järjest tõmbimad teravikud — järjest pikemalainelised footonid. Need ei häiriks nii märgatavalt aatomielektroni normaalset liikumist. Ja mida «märkamatum», mida «nõrgem» oleks footon, seda pehmem ja vormitum oleks punkt, mille ta aatomi kaardile jätab. Elektroni kiirus neist puu-

dutustest eriti ei kannataks, kuid kas pole näha, et määramatuse vähendamise eest kiiruse mõõtmisel oleks tulnud tasuda elektroni koordinaatide määramatuse kasvuga? Mõõtmine järjest laialivalguvamate punktide abil annaks üha ebatäpsemat informatsiooni elektroni asukohast aatomis.

Võiks lõpuks välja mõelda ideaalse katse just mikroosakese kiiruse (või tema impulsi — «kiirusega korrutatud massi») mõõtmiseks. Tulemus oleks aga seesama: füüsikud lihtsalt veenaksid meid uut moodi veel kord selles, et mitte mingite ülitäpsete mõõtmisvõtetega pole võimalik üheaegselt võita mõlemaid määramatusi.

Tähendab, nende määramatuste vahel valitseb tõepoolest tihe seos?

● Seos on väga lihtne. Kuid see on niisugune mõistatuslik lihtsus, mis tähistab harilikult kõige üldisemaid ja põhilisemaid loodusseadusi: matemaatiline valem näib nii tagasihoidlik kui üldse võib olla, aga füüsikaline olemus sunnib kahtlustes piinlema terveid uurijate põlvkondi.

Seos on saladuslik ja sügav. Nii sügav, et põhja pole nähagi.

Kas teate, mida see seos elektroni asukoha ja kiiruse määramatuste vahel väliselt meenutab? Muide, võrdlusi on nii palju kui tahes. (Just seose lihtsuse tõttu.) Tahaks valida midagi piltlikumat — «elulähedasemat». Kas või seos antud põrandapinnaga toa pikkuse ja laiuse vahel.

Tuba, mis meie kapriisi tõttu muutus kord ideaalseks ruuduks, kord totralt kitsaks koridoriks, läks meile Aragatsil kord juba tarvis. Kuid siis oli jutt füüsikaliselt täiesti lihtsast objektist: sellest, mida endast kujutab kosmilise osakese impulss. Impulss võib olla milline tahes ja kujutletav tuba võis olla ükskõik kui väike või suur.

Aga nüüd tuleb meil kujutleda, et tegu on kõige väiksemaga võimalikest tubadest — sellisega, «millest väiksemat pole olemas», kuna seekord peab seal keegi elama, igatahes sinna sisse mahtuma!

Soovides kambri laiust äärmuseni vähendada, venitame selle lõpmata pikaks. Elanik peab muutuma lamedaks olendiks. Aga nii ebamugav, kui ta elu sellises pilus ka oleks, ometi ei tohi ta kaevata, et talt oleks kas või jalatäis vajalikku elamispinda ära võetud: pind jäi niisama suureks — «millest väiksemat enam ei ole». Katse viia pikkus nul-

lini venitaks toa lõpmata laiaks. Elaniku jaoks oleks see niisama vägivaldne operatsioon, kuid ta ei tohiks jällegi kurta: ka nii ei oskaks keegi ta elamispinda vähendada. Ainult siis, kui me arvaksime heaks vähendada ühe a e g-selt nii toa pikkust kui ka laiust, poleks elanik enam rahul. «Kuulge,» ütleks ta, «see on juba liig! Te tõstate minu lihtsalt välja.» Meie arutu kavatsus oleks vastuolus elaniku olemasolu faktiga, sest temalt ei saa ära võtta ainelisust. Ja seepärast oleks kavatsus täitmatu.

Võib kujutleda ainult üht juhtu, kus pikkuse ja laiuse samaaegne vähendamine õnnestuks: kui tuba poleks juba algusest peale minimaalne. Siis ei takistaks muidugi miski vähendamast tema pindala senikaua, kui on saavutatud loomulik miinimum — «millest väiksemat pole olemas». Aga edaspidisest tuleks meil loobuda — pikkuse ja laiuse samaaegne vähendamine muutuks jällegi võimatuks.

Niisamuti tuleks leppida eksperimentaatoril, kes soovib samaaegselt äärmuseni vähendada ebatäpsust elementaarosakese koordinaadi mõõtmises ja ebatäpsust kiiruse mõõtmises.

Kõik, mis jutustasime ideaalsest ülimikroskoobist — seda nimetatakse mõnikord Heisenbergi mikroskoobiks —, viib kokkuvõttes «ebatäpsuste kambrini», millest väiksemat pole olemas. Mitte mingi eksperimentaalse vägivallaga looduse kallal ei saa vähendada kambri pindala: tema «laiuse» — koordinaadi ebatäpsuse — vähendamine viib paratamatult ja automaatselt «pikkuse» — kiiruse ebatäpsuse kasvamiseni. (Või impulsi ebatäpsuse kasvamiseni, sellesama impulsi, mis just äsja vilksatas meie pilgu ees. Füüsikud eelistavad kiiruse asemel rääkida impulsist, kuna see on sisukam: teda nimetatakse põhjendatult ka «liikumishulgaks» — omades kiiruse suunda, sisaldab impulss peale kiiruse ka osakese massi.)

Minimaalses «ebatäpsuste kambris» pekslevad nagu puuris eksperimendi äärmuslikud võimalused.

Muidugi, reaalsed mõõtmised on alati seotud veaga. Kui Pjotr Nikolajevitš Lebedev mõõtis valguse rõhku, püüdis ta töötada öösi ja tundis rõõmu paksu lume üle õues: öösiti sõitsid laboratooriumist harva mööda hobuveokid, lumi aga pehmendas sillutise põrumist, kasvas lootus peente katsete täpsusele.

Kui füüsik on lohakas, tema aparaadid viletsad ja katsed hooletud, võivad mõõtmistes olla kohutavad vead ning

katsealune osake — näiteks aatomi elektron — võib sellisel füüsikul asuda mitte «ebatäpsuste kambris», vaid ruumikas «hooletuste saalis». Siis peab tulema teine füüsik — see täiustab aparaate, parandab katseid. Kohe kahanevad ka saali mõõtmed. Saal muutub väikseks «eksimuste toaks», mida ei saa esialgu kõrvaldada puht-tehniliselt. Mööduvad aastad, eksperimenditehnika täiustub veelgi, andekas füüsik leiab uued mõõtmisviisid. Ent ikkagi rohkemat, kui suudab anda ideaalne mõtteline katse, ta ei saavuta. Ja elektroni minimaalsest «ebatäpsuste kambrist» välja tõsta pole enam tema võimuses.

Milline siis on see minimaalne kamber, «millest väiksemat pole olemas»? Muidugi on see ebatavaliselt huvitav. Kuid selge see, et füüsikud poleks laboratooriumides eksperimentaalsel teel kuidagi saanud tema suurust kindlaks määrata: selle pindalale oleks alati tulnud lisa vigadest, mida tingib lihtsalt katsete ebatäiuslikkus. Kambri suuruse võis leida ainult teoreetiliselt.

Selle arvutas 1927. aastal Werner Heisenberg.

Manipulatsioonid, mida ta pliiatsi ja paberiga tegi, pole meile tähtsad. Aga tema mõttekäiku me juba jälgisime kobamisi. «Ebatäpsuste kambri» suuruseks sai ta huvitava arvu. Selle suuruse päritolu tasub selgitada.

● Nägime: kogu asi on selles, et i g a mõõtmisprotsessiga segab füüsik paratamatult vahele mikromaailma loomulikku elukorraldusse. Täpsustades üht asja, moonutab ta paratamatult teist. Sellist moonutamist saab kõrvaldada ainult mõõtmistest loobumise hinnaga. Kuid seda hinda ei või füüsik maksta. See on tema jaoks liiga kallis, eks ole?

Ta tahab t e a d a, aga selleks on tarvis t e a d a s a a d a.

Ja mõõtmistest loobumise asemel tegeleb füüsik küsimusega: milline joon loodusnähtustes ei lase mikromaailma sissetungimise paratamatut moonutavat mõju nulliks ehk kuitahes väikeseks muuta?

Kolmekümne aasta kestel pidasid paljud filosoofid ja füüsikud — meil ja Läänes — seda joont kvantmehhaanika puuduseks, mitte looduse omaduseks.

Nad arvasid, et klassikaline mehhaanika on palju täiuslikum: see lubas põhimõtteliselt kõigi mõõtmiste üheaegset absoluutset täpsust. See tunnistas lihtsalt kõlbmatuks eksperimendi, mille puhul mõõdetav oleks kuidagi sõltunud mõõtmisprotsessist.

Astronoom vaatas teleskoobis Kuud ja mõistis muidugi, et tema vaatamisest ei juhtu Kuuga mitte midagi. Ja tal oli tõepoolest õigus mitte mõelda sellest, et keegi valgustab Kuud, andes astronoomile seega võimaluse vaadelda. See «keegi» on Päike, mille valgus langeb Kuule otse või Maalt peegeldununa. Kuid astronoomil oli õigus mitte mõelda küsimuse sellest küljest ainult seepärast, et päikesefootonite vood ei võinud Kuu liikumisele mingit märgatavat mõju avaldada.

Kas tõesti ei mõistnud klassikalist «teadmise täpsust» igatsevad teadlased-unistajad seda lihtsat asjaolu? Muidugi mõistsid. Kuid nad mõtlesid ka veel sellest, et klassikaline füüsika ei keelanud kunagi absoluutse täpsusega arvestada eksperimentide i g a s u g u s e i d sunnitud ebatäpsusi. Kas või põhimõtteliselt! Muidugi jätab astronoom kõrvale valguse rõhumise Kuu pinnale ja muud detailid selle hiiglakeha ning footonite vastasmõjust. Kuid põhimõtteliselt, teoreetiliselt, võib ta absoluutselt täpselt teada, m i s ta kõrvale jätab. Mitte ligikaudselt, vaid täiesti täpselt! Tuleb ainult välja arvutada. Tehnilised raskused pole olulised — tähtis on see, et mitte mingisugused klassikalise füüsika tunnetatud loodusseadused seda ei takista.

Nii arutasid ja arutavad igatsevad unistajad. Neile ei meeldi, et järsku ilmus teadus, mis kinnitab, et tahtmisest hoolimata ei saavuta astronoom ei praktiliselt ega teoreetiliselt absoluutset täpsust. Ihaldatud eesmärgi juures ootab teda väike, kuid mitte enam vähendatav «ebatäpsuste kamber». Ja kui tillukesed ta parandused ka poleks, ometi asub liikuv Kuu varem või hiljem sellesse kambrisse ning teda ei õnnestu enam absoluutselt täpse orbiidi külge naelutada. Tõsi, siin tekib astronoomilise mastaabiga võrreldes imetilluke teadmise ebatäpsus, naeruväärselt tilluke, kuid küsimus pole ebatäpsuse suuruses: põhimõtteliselt «tuleb halvasti välja». Teadus just nagu piirab ise oma võimalusi. See viib segadusse.

Kui palju kordi oleme eelnevail lehekülgedel veendunud, et raske on lahkuda igipõlistest veendumustest! Ning meil on kerge mõista, miks füüsikud-mehhanistid ja füüsikud-klassikud kuulutasid kvantmehhaanika sisemiseks nõrkuseks selle avameelse tunnistuse, et ta ei suuda sugugi alati absoluutselt täpselt mõõta ja arvutada. Ning juba kolmkümmend aastat on kvantfüüsikud sunnitud uskma-

tuile kuulutama, et ei maksa neid, teoreetikuid, kividega loopida: mitte nemad pole süüdi — siin avanesid mateeria enda omadused, mida võis täheldada ainult looduse mikrotasemel. See kajastus äärmise selgusega just minimaalse «ebatäpsuste kambri» suuruses.

Kambri suurust võib hinnata järgmisel viisil.

● Mõte on selles, et ükskõik millise elementaarosakese koordinaadi või kiiruse mõõtmisel ja üldse igasugusel mõõtmisel peab füüsik mikrokentaure sundima rääkima — esitatud küsimusele vastust andma. Mõõtmisele allutatud aatomisüsteemilt peab tulema vastussignaal. Kui signaali ei tule, siis ei saa füüsik midagi teada.

Aga signaali ei saa keegi anda armuannina! Ei mõõtja ega mõõdetav. Selles ongi kogu asi.

Kedagi ei üllata materiaalsed laboratoorsed kulutused — igaühele on selge: aparaat peab töötama selleks, et mõõta. Kuid looduse samuti täiesti materiaalseid vastukulutusi vastamisel eksperimentaatoreile on teadlased enne aatomiajajärku vähe arvestanud. Mikromaailm sundis neid õiglasemaks muutuma. Aatomite ja osakeste väiksuse tõttu läheb vastussignaal mikromaailmale väga kalliks maksma. Selles seisabki mõõtmise moonutav mõju.

Mida siis aatom või osake vastuseks kulutab?

Energiat ja aega.

Signaal võib olla energiline, kuid lühike. Või nõrk, aga kestev. Eksperimentaatorile sobib nii üks kui teine: talle on tähtis ainult, et mõõdetav süsteem sooritaks teo, vastaks m õ j u g a. (Sõna «tegu» on siin ilukirjanduslik, kuid sõna «mõju» pärineb füüsikast.) Meie eesmärgi puhul võib vastussignaali mõõta mõju hulgaga.

See suurus — ajaga korrutatud energia — toodi teadusse kehade liikumisest väga ammu, tundub, et isegi enne Newtonit, 18. sajandi keskpaigast sai see aga üheks klassikalise mehhaanika põhimõisteks. Ja ehkki tal pole nii igapäevaselt selget sisu, nagu jõul või tööl, nagu kiirusel või kiirendusel, mõtles see, kes leiutas termini «mõju», kujukalt ja lihtsalt.

18. sajandil sai prantslane Maupertuis, suurepärase haridusega tragunikapten, kellele teadus näis sõjast huvitavam, astronoomiks, geodeediks, mehhaanikuks ja jättis endast surematu mälestuse, pärandades füüsikateooriale vähima mõju printsiibi. Muretsemata rangemaid ja arves-

tatavamaid argumente, viitas ta «maailmaruumi looja ja valitseja» tarkusele, kes tema arvates poleks lubanud töö ja aja kasutut kulutamist. Endine tragun suri kaputsiini munkade käte vahel. Ja mitte juhuslikult: füüsikaga tegeldes mõtles ta päris tõsiselt, et issand jumal kuulutab tema suu läbi oma administratiivseid saladusi — jutustab, kuidas ta maailmaruumi valitseb. Hoolimata Maupertuis' müstilisest endapettest nägi vähima mõju saladus välja nagu mateeria ökonoomse omavalitsuse seadus:

«Kui looduses toimub mõni muutus iseenesest, siis on selleks tarvilik mõju kõige väiksem võimalikest.»

Spetsiaalsete jõupingutustega võib sundida kivi maa peale kukkuma nii mööda spiraali kui ka murdjoont, ent iseenda hooleks jäetuna valib ta gravitatsiooniväljas kõige säästlikuma tee — vertikaalse. Kohates läätse tihedat ainet, murdub valguskiir selles niisuguse nurga all, et energia- ja ajakulu läbi klaasi lendamisel oleksid tema jaoks samuti minimaalsed.

Seda põhimõtet järgitakse looduses kõikjal ning alati. Ja sajand pärast Maupertuis'd, 19. sajandi 40-ndail aastail tänu kahe geniaalse matemaatiku — peterburglase Mihhail Ostrogradski ja dablinlase William Hamiltoni peaaegu üheaegsetele ning sõltumatutele töödele, sai see põhimõte klassikalise mehhaanika juhtideeks. Selle sügavast sisust on mõtisklenud paljud füüsikud ja filosoofid.

Ainult koolis, isegi keskkoolis, ei räägita vähima mõju printsiibist. Ei võeta läbi isegi kujutlust m õ j u s t. Ei jätku aega! Hulgale tarbetutele asjadele, mida enamik lapsi praktilises elus kunagi ei kasuta ja mis ei avasta midagi olulist maailmapildis, jätkub aega. (Klassis põlevad elektrilambid, aga õpetaja hõõrub pulgakest villase lapiga, et näidata elektri olemasolu. Õpilased, kes ei kavatse üldse hakata elektrotehnikuiks, tuubivad Kirchhoffi seadusi ning jändavad arvutusülesannetega, tundes, et higi ja vaevaga kättesaadud lahendused ei rikasta millegagi nende vaest mõistust ega vaeseid hingi.) Kuid paratamatult tuleb aeg, mil kooli füüsikaprogramm muutub maailma füüsikalise m õ i s t m i s e programmiks. Siis räägivad õpetajad mehhaanikatundides ka nii vanaaegsest mõistest kui mõju.

Vanaaegsest? Miks siis sel juhul ärrituda? Aga seepärast, et meie aatomisajandil on see vanaaegne mõiste muutunud ebatavaliselt uudseks — saanud uue, suurejoo-

nelise mõtte, mida ei aimanud ei Maupertuis, Ostrogradski ega ka Hamilton.

Sõnad «vähim mõju» omandasid mikromaailmas veel ühe tähenduse. Imelise tähenduse. See juhtus tol päeval, mil sündis kvantfüüsika — tol õnnelikul 1900. aasta detsembripäeval, kui Max Planck söandas Saksa Füüsika Ühingule esitada oma «tööhüpoteesi» energiakvantidest.

Muidugi suhtusid tema kolleegid umbusklikult avastusse, et eksisteerivad minimaalsed kiirgusportsjonid, «millest väiksemaid pole olemas». Mäletate, ta suhtus ka ise eelarvamusega hämmastavalt lihtsasse valemisse nende jagamatute «energia-aatomite» suuruse jaoks: $E = h \cdot \nu$. Aga samal ajal sai Planck sellest valemist tasuta veel ühe niisama hämmastava ja kohmetama paneva teadmise: looduses on olemas minimaalne mõju, «millest väiksemat pole samuti olemas»!

● Selle valemiga oli meil juba tegemist, siis kui oli jutuks footonite — valgusosakeste idee. Kirjutasime ta üles niisama, ainult tagasihoidliku lihtsuse tõttu. Aga juba tollal võis huvi tunda, mis konstant see h on, mille korrutamisest ν-ga — kiirgusallika võnkesagedusega — piisab, et saada teada kõige väiksemat energiaportsjonit, mida allikas kiirgab.

Saladuslik jääv suurus. Kõikjal ja alati muutumatu. Ühesugune kõigi jagamatute energiaportsjonite — sinise ja punase, rohelise ja kollase valguse, nähtamatu röntgenikiirguse või nähtamatu raadiokiirguse jaoks.

Tõepoolest, väga saladuslik konstant!

Mõelge ise, millistesse mateeria ühtsuse sügavustesse ta mõtte juhib...

Plancki seadusele ei allu ju mitte ainult valguskiirguse portsjonid. Ei kujutlustes energiast ega ka sageduse mõistes pole midagi spetsiaalset, «obligatoorselt elektromagnetilist». Seda pole tarvis tõestada. Ja kui mõne energiatombu eksisteerimine on seotud mingi laineprotsessiga, on Plancki valemit võimalik ka siinkohal rakendada. Valguskvantide esialgse kujutluse avardamises sellisiks tegelikult de Broglie' idee, kui ta hakkas rääkima «mateerialainetest». Geniaalselt lihtne idee.

Iga elementaarosake on energiatomp, sest ta on massitomp. (On teil veel meeles jutustus relatiivsusteooriast?)

Teisest küljest on de Broglie' järgi igale mateeriatom-

bule omane lainekujulisus, kummaline, katsetega hiilgavalt tõestatud lainekujulisus, mida omavad võrdse paratamatusega, kuid erineval määral nii elektron, prooton, haavel kui ka Maa. Mida võtta lainekujulisuse mõõdupuuks? Kas lainepikkus? Võib. Meie toimisimegi nõnda. Võnkeperiood, see tähendab «ühe laine aeg»? Ka see sobib. Aga igal laineprotsessil on veel kolmas karakteristik, mis võib asendada kaht esimest: sagedus, lainete arv ajaühiku kestel. See näitab, kui palju kordi mahub sekundisse «ühe laine aeg». See on ν Plancki valemis.

Ja tulebki välja, et igal elementaarosakesel on olemas kõik mis tarvis, selleks et end täie õigusega kvandiks pidada: nagu korpuskulil, nii on tal olemas energia E (mis on just nagu kontsentreerunud osakese massis), nagu lainel, nii on tal olemas sagedus ν (mis kajastab tema lainekujulisuse mõõtu). Ja vastavalt de Broglie' ideele on energia selle sagedusega seotud ikka sellesama konstandiga: $E = h \cdot \nu$.

Sel peab olema sügav füüsikaline sisu, sel saladuslikult universaalsel konstandil.

... Laskugem tavalisse kujutlusmängu. Kujutlegem «teist maailmaruumi», mis erineb meie omast ainult selle poolest, et seal on Plancki konstant teine kui meil. Mõõdetuna samades ühikutes nagu kasutame Maal — meie grammides, meie sentimeetreis, meie sekundeis, — olgu see konstant näiteks 100 korda väiksem!

Punase valguse kvandid oleksid ka seal punase valguse kvandid, sest elektromagnetiliste võngete sagedus jääks seal samasuguseks kui meil, aga värv sõltub sagedusest. Elektronid oleksid ka seal elektronid ning prootonid — prootonid. Kuid selles kujuteldavas «teises maailmaruumis» oleksid kõik kiirguskvandid ja kõik osakesed 100 korda vähem «energilised» ja järelikult 100 korda vähem «massiivsed» kui meil. Ja see ei jääks märkamatuks. Nii oleksid gravitatsioonijõud, mis sõltuvad külgetõmbavate masside korrutisest, juba mitte 100, vaid 10 000 korda nõrgemad ($100 \cdot 100 = 10\,000$). Ja sealne Maa tiirleks ümber sealse Päikese hoopis teisel orbiidil ning temale langeks hoopis teine hulk viljastavat kiirgust. Ühesõnaga, see «teine maailmaruum» oleks tõepoolest oluliselt teistsugune. Ainus tingimus, et ta erineks meie omast üksnes konstandi h väärtuse poolest, tooks kaasa lugematul hulgal eripärasusi.

Täpselt samuti võiks sõnamängus kujutleda maailma, kus teine kuulus konstant — valguse kiirus c (Einsteini konstant) — oleks teistsuguse väärtusega. Mõõdetuna samuti üldkasutatavais pikkus- ja ajaühikuis, oleks ta seal, ütleme, näiteks kaks korda suurem! Siis saadaks sealsete aatomielektrijaamade reaktoreis neli korda rohkem kasulikku energiat kui meie reaktoreis. (Neli, aga mitte kaks korda, sest Einsteini seadus energia ja massi seose kohta sisaldab valguse kiiruse ruudu). Kuid reaktorid on pisiasi, aga tähtedes termotuumareaktsioonidel tekkiva energia neljakordistumine muudaks «tolles maailmaruumis» nähtavasti kogu ajaloo käigu. Sealne Päike pillaks märksa rohkem energiat ja elu oleks sealsel Maal nähtavasti hoopis teistsugune ... Üldiselt oleks ka see hoopis erinev maailm.

Muidugi meenutab see kõik laste ennustusi: milline oleks elu saarel, kus kaks korda kaks on neliteist ja puud käivad üksteisel külas. Kuid siiski peitub neis kujutlusmängudes mingi mõte: muutub äkki tajutavalt selgeks, miks teadlased nimetavad selliseid konstante, nagu c ja h pidulikult maailmakonstantideks. Nende väärtusest sõltub maailmaruumi enda pale. Ehk vastupidi: nende väärtus kajastab olulisel määral maailmaruumi ehitust.

Ja veel, muutub arusaadavaks füüsikute alaline hool nende suuruste veel täpsema mõõtmise eest. Need on toeks kõige maailmas leiduva kvantitatiivsele tundmisele.

Ümardades räägime, et valguse kiirus c on 300 000 kilomeetrit sekundis. Aga füüsikud ei saa alati sellise ümardamisega rahul olla. Ja seepärast mõõdetakse valguse kiirust üha uuesti ning uuesti. Nii andis 1951. aasta suuruse 299 792 kilomeetrit sekundis tõenäose ebatäpsusega ainult 1—2 kilomeetrit. See väärtus erineb pisut sellest, mida tundis Michelson. Ja just nimelt see suurus, mitte aga 300 000 on maailma füüsikaliste kiiruste piir.

Aga Plancki konstant — milline on selle suurus? Pole tarvis kahelda, et füüsikud on korduvate katsete ja arvutuste järgi määranud tema väärtuse tänapäeval kättesaadava täpsusega. Ja on kerge aimata, et tulemuseks on väga väike suurus. Väiksuses peab kajastuma kogu mikromaailma väiksus. Arve ümardades võib Plancki konstandi suuruse märkida sellise muinaslooliselt tillukese murdarvu kujul:

$$\frac{6}{1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000}\ \text{erg} \cdot \text{s}.$$

Täpsemalt aga $6{,}6237 \cdot 10^{-27}$ erg · sekundit (energia korrutatud ajaga).

Kuid muidugi on niisugune täpsus meile täiesti ükskõik. Tähtis on muu. Tähtis on, et Plancki konstant, just nagu Einsteini konstantki, on samuti füüsikaline piirväärtus. See on just nagu iga kvandi suuruse algalus. Einsteini konstant osutab midagi kõige suuremat looduses, Plancki konstant — kõige väiksemat. c on füüsikaline kiirus, millest suuremat ei või olla. Aga mis on *h*? Mõju? Järelikult väikseim mõju hulk, mis looduses võimalik on: selline mõju portsjon, millest väiksemat pole olemas.

Füüsikud nimetasid seda maailmakonstanti mõjukvandiks.

Nii väike kui mõjukvant ka on, ometi tunneb mikromaailm selle suurust reaalselt. Ja selleks on aatomite ning elementaarosakeste ülitundlikkuse määr, mis viib füüsikuid mõõtmistel «ebatäpsuste kambrisse».

Nüüd on selge, kust tulevad kambri minimaalsed mõõtmed: mikromaailma vastussignaal laboratoorse riista küsivale mõjule nõuab energiat ja aega, aga nende ühine kulu — «energia ja aja korrutis» — ei saa kunagi olla väiksem mõjukvandist. «Ebatäpsuste kambri» väikseim suurus — selle elamispind — on otseselt seotud Plancki konstandi väärtusega.

(Siin võib tekkida väike arusaamatus: meie kambri «pikkus» ja «laius» on ebatäpsused impulsis ja koordinaadis, teiste sõnadega — osakese kiiruses ja asukohas, mõjukvant on aga «energia korrutatud ajaga». Täiesti erinevad asjad — vähemalt väliselt. Jah, muidugi. Kuid ainult väliselt. Aga füüsikaliselt on see üks ja seesama. Ka varem, Maupertuis' ajal, kui energia mõiste ise oli veel ähmane ega eristunud jõu mõistest, ühinesid kujutluses mõjust just need mõisted, mida meil on tarvis: mass, kiirus ja keha ümberpaiknemine. See oli «impulsi ja koordinaadi korrutis». Energiaks ja ajaks hakati mõju lahutama hiljem. Kuid juba sada aastat toimivad füüsikud vajaduse järgi kord nii, kord teisiti. Siin pole mingit kavalust ega uut teadmistki — see on manipulatsioon ühe ja sama valemi sees. (Oleks tore, kui kõiki meie arusaamatusi saaks niisama kergesti lahendada!)

Ja ongi käidud väsitavalt paljusõnaline tee kvantmehhaanika kõige veidrama ja põhilisema seaduse — Heisenbergi ebatäpsuste relatsiooni juurde. Me läksime selle suunas nii pikka aega, et oleks tõesti kahju, kui me ei kirjutaks seda seadust üles matemaatiliste märkidega, ja laseksime mööda juhuse veel kord veenduda, kui lihtsad näevad välja kõige sügavamad loodusseadused.

$$\Delta x \cdot \Delta p \approx h,$$

kus Δx — «delta iks» — on koordinaadi ebatäpsus, «ebatäpsuste kambri» laius;
Δp — «delta pee» — impulsi ebatäpsus, «ebatäpsuste kambri» pikkus;
$\approx$ — «võrdub ligikaudselt».
Ja ongi kõik!

● Ja ongi kõik?

Ei, isegi jutustuses ainult kõige peamisest («kuradile üksikasjad!») pole see kaugeltki kõik.

Lõppude lõpuks, mis on meil asja mõõtmiste ebatäpsustega? Elementaarosakesed eksisteerivad ja liiguvad, tundmata huvi, kas inimene vaatleb neid või mitte. Mikromaailm teeb oma ajalugu, uurimata eksperimentaatori kavatsusi. Mis loeb meile teadmiste ebatäpsus, kui oleme absoluutselt veendunud, et loodus ise on täpne! Füüsikud tulevad ja lähevad, aga maailm jääb. Mille suhtes kehtib siis ebatäpsuste seadus — kvantmehhaanika omaduste või maailmakorralduse suhtes?

Sisuliselt oli vastus antud juba eelnevail lehekülgedel: maailmakorralduse suhtes! Kuid miks tugines siis kogu vaatlus mõõtmistele — mikromaailma vastasmõjule meie laboratooriumiaparaadiga?

See äratab igaühes kahtlusi, millega paljud füüsikud ja filosoofid heitlevad juba kolmkümmend aastat: kas ei kirjuta kvantmehhaanika looduse arvele omadusi, mida sel üldse ei ole? Võib-olla on see ainult «aparaadifüüsika»?

Võib-olla siis, kui me ei tungi mateeria sügavusse, ei lõhu seal toole ega lauanõusid, toimuvad kõik sündmused aatomi valdustes teisiti? Teisiti — see tähendab vana mudeli järgi, ideaalse klassikalise määratletusega. Võib-olla liigub elektron vesiniku aatomis ümber prootoni siiski mööda täpset Bohri orbiiti, nagu Kuu liigub

ümber Maa mööda Kepleri orbiiti? Võib-olla on kvantseaduspärasusi tarvis ainult selleks, et selgitada mitteklassikalisi hüppeid ühelt orbiidilt teisele (spektri diskreetsus), ülejäänud ajal on elektron aga täiesti korralik kerake? Tuntud röntgenoskopist-kristallograaf, Inglise Akadeemia president Bragg-seenior tarvitas naljakat võrdlust, et Bohri esialgse, pooliku teooria järgi oleksid füüsikud pidanud esmaspäeviti, kolmapäeviti ja reedeti kasutama klassikalisi seadusi, teisipäeviti, neljapäeviti ja laupäeviti aga kvantseadusi. Niisiis, kui mitte midagi mõõta — mitte puurida elektroni footoniga, võib-olla käitub ta siis vähemalt esmaspäeviti, kolmapäeviti ja reedeti «korralikult» — liigub mööda täpseid orbiite?

Ühesõnaga, kas kõik hädad ei tule neist neetud mõõtmistest? Ja kas pole kvantmehhaanika koos oma ebatäpsuste suhtega ainult teadus neist hädadest — teadus mikromaailma traumadest, mitte aga selle tervest elust?

XX sajand on avardanud paljude vanade sõnade õigusi. Informatsioon... Naljatamisi rääkides oli see varem lihtsalt kõlav ladinakeelne sünonüüm olustikulisele sõnale «keelepeks»: selle all mõeldi jutustajat, kes annab edasi teateid ja uudiseid, niihästi tähtsaid kui ka vähemtähtsaid. Informatsioon oli inimtegevus ja muud mitte midagi. Ning äkki avanes füüsikaliste teadete edasiandmise suur osa kõigis elusa ja eluta looduse lülides. Ja vana sõna sai uued, grandioossed õigused: informatsiooniteooria muutus küberneetika aluseks, kõige kaasaegsema teaduse aluseks, millest on maailmatunnetuse sügavuse poolest saanud ootamatult füüsika — vanima teaduse — võistleja.*

Mõõtmine... Varem kujutleti seda nii: tunnetuses on ühel pool poiss, joonlaud käes, või hallipäine täheteadlane kahuritaolise hiiglateleskoobi all, aga teisel pool — osavõtmatu loodus, pime ja tuim puuslik, kes ei aimagi, et teda risti ja põiki ära mõõdetakse. Ja äkki puuslik ärkas. Selgus, et mõõtmine on füüsikaline sündmus, mille suhtes loodus ei saa kuidagi ükskõikne olla. Selgus, et

* Tõsi, paljud füüsikud ei pea küberneetikat eri teaduseks. Nad räägivad: on olemas informatsiooniteooria, on matemaatiline loogika, on elektroonika. Need on teadused oma selge käsitlusainega. Aga küberneetika on pigem midagi erilise meetodi taolist teiste teaduste probleemide teaduslik-tehniliseks lahendamiseks. Olgu pealegi. Sellest ei muutu küberneetikute hiilgavad edusammud vähemtähtsateks ja -olulisteks.

mõõtja ja mõõdetava vastasmõju protsessil on tõsised tagajärjed. Puhtinimlikust tegevusest muutus mõõtmise käik looduse enda mureobjektiks. Ja Heisenbergi valem näitas selle muretsemise määra.

«Elementaarne mõjukvant. See konstant ongi too saladuslik saadik reaalsest maailmast, kes kõikvõimalike mõõtmiste ajal ikka ja jälle lavale ilmus ning... endale füüsikalises maailmapildis tungivalt kohta nõudis.» Nii kõneles Max Planck.

Te kuulete: saadik reaalsest maailmast!

Jah, müidugi! On ju iga mõõtmine ainult selle jäljendamine, mis võib toimuda ja toimubki reaalses maailmas. Kui päikesefootonite vood tungivad Maa atmosfääri ja hajuvad õhu molekulidel, teevad nad täpselt sedasama, mida footon Heisenbergi kujutletava mikroskoobi all: nad «mõõdavad vastujuhtuvate molekulide asukohta». Vahe on ainult selles, et keegi ei registreeri nende mõõtmiste tulemusi. Loodusel pole seda tarvis. Aga füüsik ei saa niisuguste kontrollimatute sündmuste vilja kasutada — ta ei tea laboratooriumivälise katse tingimusi. Kuid meenutage: t a e v a s i n a teeb kokkuvõtteid sellest grandioossest eksperimendist, mida loodus tahtmatult korraldab. Maupertuis ütleks, et «maailmakõiksuse valitseja» mõõdab nõnda atmosfääriosakeste asukohta. Kuid endine tragunikapten peaks tunnistama, et issand jumal ei toimi siis kuigi mõistlikult: ta ei kasuta katse jaoks just mitte kõige sobivamaid footoneid, vaid liiga pikalainelisi. Ja Voltaire, kes irvitas jumala idee ning Maupertuis' üle, võiks kvantmehhaanika abil veel kord tõestada, et «maailmakõiksuse valitseja» pole ei tark ega kõikvõimas, see tähendab, et tal puuduvad tema määravad omadused ning järelikult pole teda olemas.

Ei, loodus korraldab oma katseid sihitult: vastasmõjude pidevas põimumises on tema elu, tema ajalugu. Aga kõik need vastasmõjud on just nagu mõõtmisaktid. Kõikvõimalike, igakülgsete mõõtmiste aktid, millest füüsikud võivad ainult unistada. Kas on oluline, et keegi ei pea sealjuures laboratooriumipäevikut?

Üheski aparaadis ei toimu midagi peale selle, mis leiab aset looduses endaski. Mõõtmisel on õigus kanda kaht vabrikumärki: «Valmistatud laboratooriumis» ja «Sooritatud mikromaailmas». Ja seepärast pole kvantmehhaanika sugugi «aparaadifüüsika», vaid tõeline «looduse-

füüsika». Jätame kõrvale filosoofilised peensused ning ühtlasi ka toorused, mida aatomifüüsikud on nii palju pidanud kuulma idealistidelt ja võltsmaterialistidelt. Mõistkem nagu Max Planckki, et kutsumata külaline — mõjukvant koos oma «ebatäpsuste kambriga» — ilmub tunnetuse lavale ainult seepärast, et teda volitab selleks loodus! Laboratooriumis on ta saladuslik saadik reaalsest maailmast, reaalses maailmas aga tavaline kodanik.

Mõõtmistes märgiga «Valmistatud laboratooriumis» on ebatäpsused, mida ei saa kõrvaldada.

Mõõtmistes märgiga «Sooritatud looduses» on määramatused, mida ei saa kõrvaldada.

Ei tasu isegi öelda, et esimesed on tingitud teistest. See on lihtsalt üks ja sama asi! Kuid parem on mitte nimetada Heisenbergi seadust «määramatuste relatsiooniks» — see tekitab asjatuid kahtlusi — kahtlusi kvantmehhaanika poolt vallutatud teadmiste objektiivses väärtuses. Meie tuntud teoreetik akadeemik Vladimir Aleksandrovitš Fok, nagu paljud teisedki füüsikud, hoidubki seepärast kasutamast väljendust «ebatäpsuse suhe». Aga tema on üks kvantmehhaanika teenekaid veterane ning osavõtja paljudest filosoofilistest lahingutest uue teaduse probleemide ümber. Tema hoiatus kõlab nagu hääl lahinguväljalt. Laboratoorsete e b a t ä p s u s t e rõhutamises kostab talle mikromaailmas endas esinevate m ä ä r a m a t u s t e arutamise asemel kaja ammumöödunud ajast, mil veel tihti mõeldi, et elektroni impulsil ja koordinaadil on «tegelikult» alati kindlad väärtused ja neid ainult «ei saa mingi looduse kapriisi tõttu ühekorraga jälgida».

Aga meile on juba selge, et loodus ei kapriisitse laboratooriumides, vaid avaldab ainult oma seadusi. Heisenbergi määramatuste relatsioon või määramatuse printsiip on üks selliseid fundamentaalseid loodusseadusi.

Oma olemasolu ja universaalse tähtsuse eest on ta tänu võlgu mateeria põhilisele omadusele — selle kahesusele: elementaarosakeste lainekujulisusele. Selles on kogu kurja juur.

Keegi inglane mõtles mikrokentauride jaoks isegi uue sõna välja: «wavecles», mis tähendaks tõlkes «laineosad». Oleks võinud öelda ka «osaned». Sõnad oleksid sünonüümid. Vabas jutustuses kvantmehhaanikast oleks'd taolised sõnad isegi kasulikud: nad tõestavad, et uuel teadusel tuli tegelda uute mõistetega, mille tähistamiseks vanas sõna-

varas ei leidunud tarvilikke sõnu. Kuid kvantmehhaanikale endale ei annaks «laineosad» ega «osaned» mitte midagi: sõnalised fookused ei lahendaks tõeliselt dramaatilist ülesannet — tunnetada klassikalistes mõistetes kaotatud trajektooride mitteklassikalist maailma. Oli tarvis mõista, kuidas lainekujulisus piirab osakeste õigusi ja kuidas korpuskulaarsus piirab lainete õigusi. Ja oli tarvis mõista, millise hinnaga säilitab oma võimsuse ka mikromaailmas ainuke meile käsitatav kujutlus liikumisest kui protsessist, mis kulgeb ajas ja ruumis. Millise hinnaga! — vaat seda oligi tarvis avastada.

Ja nüüd võib edasi jutustada, millega lõppes see 1926. aasta episood, kui kahekümne viie aastane Werner Heisenberg süüdistas oma šeffi Max Borni «reetmises» ...

Mäletate, Born hakkas otsima Erwin Schrödingeri laineideede füüsikalist mõtet, ja see kutsus esile Heisenbergi nördimuse, kes ehitas uut mehhaanikat teisest otsast. Raiudes tunnelit ei aimanud ta veel (nagu ei aimanud tollal ükski hing), et Schrödinger tuli talle teiselt poolt mäge tee «lainepoole» võrra vastu. Neid lahutas ainult õhuke vahekiht tunnelite ühinemiskohas. Veel samm — ja see oleks purunenud. Kuid kes võis seda ette teada. Siiski astus just Heisenberg selle otsustava sammu, mille järel avanes helge, ühtne tunnel: lained ja osakesed, pidevus ja diskreetsus polnud lõpuks ometi enam vaenuialal.

Siis vaibus kohe ka Heisenbergi ühekülgse erapoolikuse puhang. «Peagi tuli tal aru pähe,» jutustab Max Born oma geniaalsest assistendist, «ja ta leidis hämmastava viisi lepitada korpuskulaarset ning lainepilti ...»

Selleks hämmastavaks viisiks osutuski määramatuste relatsioon, mis avastati 1927. aastal.

● Ning jällegi — on veel vara punkti panna.

«Määramatuse printsiibi avastamine on, nagu mulle näib, üks inimmõistuse suurimaid triumfe,» — need sõnad kuuluvad meie suurimale teoreetikule akadeemik Lev Davõdovitš Landaule. Neid ei saa tähele panemata jätta: küsige füüsikuilt — kui Landau räägib «mulle näib» —, siis tähendab see peaaegu kindlasti «nii see ongi».

«See põhimõte,» ütles Landau määramatuste relatsiooni kohta kõnes pidulikul koosolekul, mis oli pühendatud Max Plancki sajandale sünniaastapäevale 17. aprillil 1958. aastal, «on vastuolus kõigega, mida oleme harjunud uskuma

oma aistingute põhjal, millega oleme harjunud varasest lapsepõlvest peale. Me oleme harjunud suurte mastaapidega — aatomit pole meist aga keegi oma silmaga näinud. Seepärast ei või me oma sisevaistuga tajuda, kuidas toimub liikumine aatomis, ja sellest hoolimata osutub võimalikuks uurida seda liikumist teaduslike meetoditega. Määramatuse printsiibi avastamine näitas, et inimene võib looduse tunnetamise protsessis rebida end lahti oma kujutlusest, ta võib avastada ja tunnetada isegi seda, mille kujutlemine pole talle jõukohane. Selles on määramatuse printsiibi suurim teene.»

... Rebida end lahti oma kujutlusest.

... Tunnetada seda, mille kujutlemine pole jõukohane.

Kui akadeemik Landau kordas neid sõnu ükskord kirjanike auditooriumi ees, avaldasid need kuulajaile sügavat muljet. Seda sügavamat, et kunstiinimeste jaoks tähendab «kujutlusest lahtirebimine» loobumist loomingust. Kuid igale inimesele näib vajadus «tunnetada seda, mida ei saa kujutleda» vaevarikka katsumusena. Ja isegi lootusetuna. Igapäevane elu pole inimestele selliseid katsumusi seadnud. Ent kas jääb see alatiseks nii?

Muide, tihti räägitakse, et niisuguseid mõttepiinu on inimkond juba läbi teinud. Räägitakse näiteks, et see juhtus siis, kui Maa kerakujulisus sai teaduslikuks tõeks ja inimesed pidid tunnetama, et nende antipoodid planeedi «teisel poolel» ei ripu, pea alaspidi. Kujutlemine näis samuti võimatuna, aga mõtestada tuli see paratamatult.

Aga ei, tookord kohtusid inimesed hoopis teistsuguste mõttepiinadega. Ei nõudnud mingit vaeva kujutleda, et Maa on kera. See nõudis võrratult väiksemaid jõupingutusi, kui kujutleda lamedat ketast kolmel elevandil ja kolme elevanti veel vaala seljas. Piisas, kui määrida õun kokku meega ja panna üks kärbes istuma «üles», teine «alla», et luua kodune mudel maakerast ning mittekukkuvaist antipoodidest. Raskusi valmistas hoopis muu: meena kleepuv gravitatsioon. Lühidalt öeldes, mõtte jõuproov oli otse vastupidine: tuli tunnetada seda, mida oli imekerge kujutleda, kuid mis just oma skulptuurse selguse tõttu näis arusaamatuna.

Kaasaegne füüsika teeb ettepaneku *mõista kujutlematut*. Ei mingeid koduseid mudeleid! Ja pole mitte vähimatki lootust tagasipöördumiseks füüsikalise teadmise varasema piltlikkuse juurde.

Aga samal ajal muutub uus teadmine meie silme all ajaloo materiaalseks jõuks. Samal ajal on meie sajandi elav, igapäevane elu täis tema saavutuste vastukajasid. Samal ajal tungib füüsika inimeste tulevikumõtteisse.

Üldiselt öeldes võib ka täna, nagu 16. sajandil, päris muretult elada Maal, aimamata, et see on tiirlev kera. Kuid inimene ei saa mitte mõelda sellest, kuidas maailm on korraldatud. Ja kui ta e i t e a, et Maa on kerakujuline vurr, siis ta m õ t l e b, et see on liikumatu lapp või midagi taolist. Aga siis mõtleb selline inimene kõigest maailmas midagi, «mis pole see», ja midagi, «mis pole nõnda». Kas saaks siis teisiti olla? See inimene on mööda lasknud sajandeid inimkultuuri. Ja vaevalt võib usaldada tema poeetilist kujutlustki: tõenäoliselt moonutab seegi maailma. Tekkivad kujundid ei saa kuuluda ei kaasaega ega ajaloo homsesse päeva.

Aatomitehnika lähem tulevik . . .

Maaelanike väljumine Maa piiridest . . .

Kõigil mandreil mõtlevad inimesed sellest. Aga meie maa noorukeil on veel suurem õigus kui eakaaslastel teistes maades suhtuda neisse probleemidesse tulevaste astronautide või tuumaenergeetika dispetšerite lõbusa murega. Nad ei saa tänapäeva füüsika kummalistest triumfidest kõrvale hoida isegi siis, kui nad ei kavatse hakata füüsikuiks, vaid tahavad ainult tunda end tuleviku kaasaegsetena. Sajandi lootused sunnivad tänapäeval ka loodusteadusest kaugeid inimesi «tunnetama seda, mida ei saa kujutleda». Aga homme paneb lihtne igapäevane elu kõiki sedasama tegema. Ja meie järeltulijad, kelle mõistus varustatakse juba lapsepõlvest, koolipingist peale, mõistega kujuteldamatust, osutuvad inimesteks, kel on ka märksa peenem kujutlusvõime kui meil teiega.

Kui palju uut ja ootamatut loovad nad nii kunstis kui ka teaduses.

Sellest ja paljust muustki mõtlesid kirjanikud akadeemik Landau sõnade mõju all.

Aga tema, pillanud oma mõtte nagu muuseas, lisas veel, et kvantmehhaanika koos oma määramatuse printsiibiga on viinud teadlasi märksa kaugemale tavalisest kogemusest kui relatiivsusteooria.

Võib ainult imestada, kui hoogsalt see uus, nii «ebamugav», piltlikkuseta teadmine on vallutanud füüsikute mõt-

temaailma: kvantmehhaanika ajaloo kahe esimese aasta kestel ilmus eri maades ligikaudu tuhat uurimust selle probleemidest! See oli poolt hääletavate käte mets. Kuid ei maksa imestada, et hääletamine polnud sugugi rahulik. Uus teadus sündis ja kasvas ägedate lahingute õhkkonnas teisitimõtlejatega ja mõttekaaslaste lõputuis vaidlustes.

Meile on see juba tuttav. Kuid üht lõbusat episoodi oleks kahju jutustamata jätta. Pealegi meenus see just parajal hetkel, sest on seotud akadeemik Landau nimega.

● Muide, Landau kõlavat nime oleksime neil lehekülgedel varem või hiljem ikkagi kohanud — nii palju on ta teinud mateeria elementaarosakeste teaduse jaoks.

Nii nagu elektronide esmaavastajat Thomson-seeniori füüsikud kutsusid lihtsalt Džii-Džii, mahutades sellesse sõbralikku hüüdnimesse kogu oma tunnustuse tema teenetele ja õiguse erilisele kohale maailma teaduse ümmarguse laua taga, nii nagu aatomifüüsikud nimetasid Igor Vassiljevitš Kurtšatovit isekeskis sõbralikult lihtsalt «Habe», nii nagu Abram Fjodorovitš Joffet kutsuti kogu maailmas pooljuhtide spetsialistide poolt «papa Joffeks», nii nimetavad füüsikud Lev Davõdovitš Landaud juba palju aastaid omavahel lühidalt ja lihtsalt «Dau» . . .

See väljendab neidsamu tundmusi. See on tunnustus neilesamadele õigustele erilisele kohale teaduses. «Dau arvab, et see on mõttetus», «Aga mida mõtleb sellest Dau?» — nii räägivad teoreetikud. «Tahaksin tutvuda Dauga,» nii rääkis Moskvas külas viibides Ameerika kirjanik ja füüsik Mitchell Wilson.

Aastast aastasse, kuust kuusse, nädalast nädalasse, täpselt kell 11 algab Landau teoreetiline seminar Teaduste Akadeemia Füüsikaprobleemide Instituudis. Täpselt kell üksteist. «Täpsus on kuningate viisakus,» meenutas üks kord Landau hilinenud kandidaadile vana lendsõna ja lisas: «Kardan, et teist ei saa kuningat!» Ammune episood, mis maalib nende aastate õhkkonda, mil olid noored nii kvantfüüs.ka kui Landau, ei pea praeguste seminaride suhtes paika. Ent see muutub kohe arusaadavaks igaühele, keda vajadus või uudishimu on kas või kordki toonud neljapäeval kell 11 hoonesse Kaluuga väravate juures.

Praegu, 1966. aasta algul, tuleb sellest kahjuks kirjutada minevikus: juba neli aastat ei juhata Landau enam oma seminari. 1962. aasta jaanuaris tabas teda meile tuttaval

Moskvast tuumafüüsika linna Dubnasse viival maanteel autoõnnetus. Kogu maailma ajakirjandus on kõnelnud tema legendaarsest päästmisest — ta toodi neli korda ellu tagasi, kui arstid kahtlustasid juba kliinilist surma. Legendaarseks sai mitte ainult arstide kutsealane kangelastegu, vaid ka enneolematu seltsimehelikkus, mida traagilisil päevil ilmutasid Landau õpilased ja tema õpilaste õpilased. 87 füüsikut kõigist Teaduste Akadeemia instituutidest lõid päästeteenistuse ja hoolitsesid, et raviarstide iga nõue ülikiirelt, ilmtingimata ja ideaalselt täidetaks. Legendaarseks on muutunud ka mitmete Euroopa ja Ameerika teadlaste, sealhulgas Niels Bohri, inglase John Cockcrofti, tšehh Františeki Šormi ja kanadalase Wildor Penfieldi osavõtt sellest epopöast. «Loo põhjal võiks luua õilsa filmi pealkirjaga «Kui kogu maailma teadlased»,» ütles selle epopöa kohta akadeemik Kapitsa. Ammu on möödas aeg, mil arstid kartsid Landau elu pärast. Ent raskete, eluohtlike traumade tagajärjed pole veel täielikult kõrvaldatud. Kuid tuleb päev, mil Landau pöördub tagasi füüsikasse, nii nagu ta pöördus tagasi ellu... ja seepärast tahaksin jutustada tema kuulsast teoreetilisest seminarist siiski olevikus, mitte minevikus.

...Teadlane X teeb ettekande uutest töödest — informatsioon on läbini spetsiaalne, selle peensused on mõistetavad ainult kitsale pühendatute ringkonnale. Kriit kopsib vastu tahvlit. Auditooriumis on vaikus — see loenguvaikus, kui ainult ühel on õigus valju häälega kõnelda — sellel, kel on kriit käes. Ent ootamatult kostab vaikuses hoogne küsimus.

Kõik pööravad pea pika, väga kõhna mehe poole. Hallinevad juuksed sõjaka lauba kohal, suurtes silmades — tähelepanu ja kannatamatus. (Detailid on ehk liigsedki, aga raske on neist mööda minna, vaikida.) Otsekohe tekib terav diskussioon. Pika mehe kiiretes küsimustes ja repliikides kõlavad kahtlused, lahkarvamused, vastused, mida X ise ei leidnud.

«Daul on muidugi õigus,» ütleb auditooriumis üks naaber vaikselt teisele. Aga ettekanne jätkub. Ainult loengurahu on lõplikult kadunud. Vaikus on muutunud ebakindlaks — iga hetk võib seda katkestada uus ootamatu diskussiooniplahvatus.

Jutustan neist kõrvaltvaataja muljeist seepärast, et Landau silmapilkne reageerimine ähmastele kohtadele üks-

kõik millises töös, märkamatute vasturääkivuste välkkiire paljastamine, sasipundarde häirimatu lahtiharutamine, — kõik see rabab. (Näib, et kui ta oleks maletaja, siis ta võib-olla haruharva kaotakski, ent ei mängiks kunagi viiki ega teaks, mis on ajahäda.) Teadusliku mõtlemise nähtamatu protsess muutub just nagu nähtavaks ja kombatavaks — neljapäeviti, pärast kella ühtteist hommikul, Moskva Füüsikaprobleemide Instituudis. Ja meenuvad Lomonossovi sõnad «kiire taibuga Newtonitest».

Maailmakuulsast teoreetilisest seminarist osavõtjad on sellega ammu harjunud. Ent neid hämmastab alati Landau kõikteadlikkus. Tema «võrdne huvitatus ja võrdne kompetentsus kõige mitmekesisemates küsimustes, nii suurtes kui ka väikestes, kutsuvad,» ühe füüsiku tunnistuse järgi, «seminarist osavõtjate hulgas mõnikord esile arusaamatuse ja rahulolematuse, kui elementaarosakeste lagunemise arutamine asendub äkki niisama üksikasjalise maarjajää omaduste arutamisega!» kirjutas tema õpilane V. Berestetski.

Kord vastas naeratav Landau ajakirjaniku küsimusele: «Millega te praegu tegelete?» järgmist:

«Olen paljude küsimuste uurija, üks vähestest järelejäänud universalistidest. Kui ma alustasin — minu esimene töö avaldati 1926. aasta lõpul, — olid kõik teoreetikud universalistid, s. t. tegelesid mitmesuguste küsimustega. Praegu on universalism närbunud, sest teoreetiline füüsika on tohutult paisunud.»

Esimene töö — aastal 1926. Kuid see on ju kvantmehhaanika sünniaasta? Jah. Ja Leningradi ülikooli 18-aastane üliõpilane suutis tookord juba Schrödingeri esimeses artiklis tunda tuleviku hõngu. Ta oli meil peaaegu esimene, kes artikli läbi luges, ja igal juhul esimene, kes seda täielikult hinnata oskas. «Dau avastas lainemehhaanika, kui ta oli kaheksateistaastane...» räägivad tema õpilased naljatades. Schrödingeri artikli järgi tegi ka tema oma esimese kvantmehhaanilise töö. Universalism algas huvist sajandi kõige eesrindlikumate füüsikaliste ideede vastu.

Ja nüüd lubatud episood...

Selle jutustas üks Niels Bohri õpilane, kes sõitis 1931. aasta veebruaris Kopenhaagenisse järjekordsele palveränakule oma õpetaja juurde. (Oli möödunud üle viieteistkümne aasta sellest ajast, mil Bohr oli samasugune palve-

sündur Rutherfordi juures, kui kvanthüpete idee päästis inglase planetaarse mudeli ja pani aluse kaasaegsele aatomiteooriale. Aeg oli Niels Bohri teinud suurimaks autoriteediks kvantfüüsikas ja 20-ndate aastate lõpust alates kogunesid tema juurde pidevalt mitmete maade noored teoreetikud.)

Astunud vaevalt üle Bohri instituudi läve, päris äsja saabunu viimaseid Kopenhaageni uudiseid, nagu päritakse rindeolukorra järele. Ta sai üpris ootamatu vastuse — tuntud füüsik Gamow ulatas talle vaikides tabava joonise, mis oli alles äsja peaaegu et natuuri järgi tehtud.

Seal oli kujutatud tooli külge kõvasti kinni seotud Landau. Tema suu oli kinni topitud. Tooli ees seisis Bohr, nimetissõrm püsti. Ta rääkis: «Oodake, oodake, Landau, laske ka mul kas või üks sõna öelda!»

Vaidlused kahekümne kolme aastase teoreetikuga Nõukogude Liidust olid Kopenhaagenis viimaseks rindeuudiseks. Landau oli tookord uue tööga Bohri juurde tulnud. Ta tegi selle koos noore inglise füüsiku Peierlsiga. Bohr polnud nõus töö järeldustega, selles aga «vaadeldi päris komplitseeritud küsimusi, mis olid seotud määramatuse printsiibiga».

«Niisugune diskussioon käib kogu aeg edasi,» ütles joonistuse autor. Ja lisas, et Peierls ei pidanud enam vastu: sõitis Kopenhaagenist ära täiesti kurnatuna.

Kuid Landau jäi veel mitmeks nädalaks. Ja lähemail päevil võis Bohri õpilane ise toimuvaid vaidlusi jälgides veenduda, et Gamowi joonistusel oli olukord liialdatud «ainult kunstilisele teravdamisele tavaliselt lubatud piirides». «Joonis,» räägib ta kahetsusega, «lasti tõenäoliselt hävida, enne kui tunnetati selle ajaloolist väärtust.»

Õnneks on säilinud vähemalt jutustus episoodist, mis nii värvikalt illustreerib tormi ja tungi ajastut mikromaailma füüsikas.*

* Niels Bohri 80. sünni-aastapäeva puhul avaldas Lev Davõdovitš Landau mälestusi oma õpetajast («Sõnake Niels Bohrist», «Komsomolskaja Pravda» 6. oktoobril 1965. a.). Selles memuaarkirjutises on read: «Kirjanik D. Danin jutustas oma raamatus «Kummalise maailma paratamatus» Gamowi karikatuurist, kus oli joonistatud Bohr ja mina tooli külge seotuna, tropp suus. Seal oli kirjutatud, nagu oleksin ma Bohri «surnuks rääkinud». See pole päris õige, Gamow ironiseerib oma joonisel Bohri, mitte minu üle. Bohr armastas rääkida, kuid tegi näo, nagu ei armastaks. Sain vaevalt sõna sekka öelda, kui Bohr jäi vait, siis aga palus: «Laske ka mul sõna lausuda!»

Vaidluste sisu puudutamine pole meile jõukohane ja seda pole tarviski. Ent te märkasite muidugi, et need keerlesid just määramatuste relatsiooni ümber. Jutt oli terve teaduse — elektrodünaamika — teooria peensustest selle printsiibi valgusel. Ja muuseas osakeste paaride hulgisündimisest, millest me hiljuti rääkisime.

Jutustatud episoodiga alustas Bohri õpilane suure taanlase 70. sünnipäevale pühendatud artiklit (1955. a. oktoobris), aga artikli ette asetas ta ladinakeelsest luuletusest võetud epigraafi: «Ka lahkheli võib tekitada kooskõla!»

Nii on see kvantfüüsikas juba aastakümneid.

VIIES PEATÜKK

- «Maailma lõhe läheb läbi minu südame.»
- Uus seadusandlus.
- Alguses olid lained.
- Osakesed lahustuvad ruumis.
- Idee tuleb otsijale.
- «Kahekesi tonte ei näe.»
- Kuhu langeb siis elektron?
- Psiilainete mõistatus lahendati.
- Tõenäosuslik maailm.
- Einstein on nõus meiega, aga mitte Bohriga.
- Kelle poolt on loodus?

● Määramatuse printsiipi tuleks nimetada niihästi kuulsaks kui ka tähelepanuväärseks seaduseks — tal on selleks täielik õigus. Ent kui valida üks epiteet ja seejuures täpsem, siis lepiks enamik füüsikuid vist kokku sõnale p a l j u k a n n a t a n u d.

Siinsamas peitubki tõsine i d e e d e d r a a m a.

Mida kõike on kirjutatud sellest printsiibist! Kuidas on seda küll tõlgendatud! Milliste needuste alla pandud! Selles on nähtud isegi katset rünnata maailma materiaalsust. Seda kasutati isegi jumala idee põhjendamiseks. Pealtnäha nii vagur määramatuste suhe osutus millekski alaliselt tegutseva vulkaani taoliseks.

Tema pärast hakkasid füüsikud kõnelema filosoofide ja publitsistide keeles. Filosoofid ja publitsistid hakkasid

mõtteid vahetama füüsikute keeles. Teoloogiadoktorid hakkasid huvi tundma loodusteaduse vastu. «Maailma lõhe läheb läbi minu südame,» rääkis möödunud sajandil Heine. «Maailma lõhe läheb läbi meie mõistuse,» võiksid suurt poeeti parafraseerida paljud meie sajandi teadlased.

Aga mil viisil saaks mittefüüsik ja mittefilosoof tajuda, kui suur on juhtunu erakordsus? Võib-olla piisab, kui väljendada paljukannatanud põhimõtte olemus tavalistes sõnades? Siis võib kõike kokku võtta ühes ettenägematus lauses:

«Loodus pole sugugi täpne!»

Sellist lauset on raske öelda, raskem — paberile panna. Veel raskem — mõtestada. Kuid selleks oleme juba täiesti valmis. Tuleb ainult samaaegselt sõnada veel teine lause, mida on kerge kirja panna ning mis mahub meie teadvusse harjunud mugavusega:

«Looduses on kõik seaduspärane!»

See tõde on nii vana, et näib, nagu polekski tarvis talle vihjata. Seda enam, et see lülitub automaatselt määramatuse printsiibi sisusse: ta pole väljamõeldis, vaid kvantitatiivne seadus, millele alluvad ebatäpsused. Kuid selles ongi asi, et mõlema väite ühenduses tundub midagi mõistusevastast:

«Loodus on seaduspärane, kuid pole täpne.»

Igas füüsikus uinub filosoof. Ta peaks selliseid väiteid kuuldes ärkama! Peaksid võpatama ka kõik filosoofid, kes tegelevad loodusteadusega: oli tarvis omandada kvantmehhaanika avastused nii ontoloogia (õpetus olemisest) kui ka gnoseoloogia (õpetus tunnetusest) seisukohast. Ühesõnaga, jutt oli väga vastutusrikastest ja tõsistest asjadest.

Ja olengi raskustes: kuidas jutustust jätkata? Kui sina, lugeja, oled juba kannatlikult selle kohani jõudnud, on mul õigus sind pidada reisikaaslaseks ja oleks ebaõiglane sinu eest varjata, et meid ootab kõige raskem teelõik. Kõige raskem seepärast, et tee on petlik.

See on ühetasane — kõigist tõkkeist on kerge mööduda. Ent kõndida tuleb mööda kuristiku serva. Haigutavad sügavikud on aga kohutavad — võib langeda igasugustesse «ismidesse». Ainuüksi nende loetelu ajab hirmu peale — solipsism, positivism, operatsionalism, indeterminism, voluntarism, fideism, instrumentalism, probabelism ja jumal teab mis veel. Pidades aga kinni ainsast «ismist»,

mis on kallis meie mõistusele ja armas südamele, pidades kinni dialektilisest materialismist kogu selle kõikehõlmava avarusega, meile pärandatud leninlike mõtetega loodusest, vaatamata punaste valgusfooride poole — «tee on keelatud!» —, mida armastavad üles seada kvaasidialektikud-dogmaatikud, ei lange me neisse kuristikesse.

Aga on veel teinegi oht — kõige halvem: lennata täieliku, piinarikka arusaamatuse tühjusse. See on juba hüvitamatu. Aga kuidas sellest pääseda?

Õnnetus on selles, et füüsikute keelde tungida on meil, inimestel, kes me tegeleme maailmas teiste asjadega, võimatult raske. See teaduse keel on tekkinud ja erineb inimeste tavalisest sõnavarast mitte fanaatiliste teadlaste kapriisidе tõttu: keel on tunnetuse vahend. Vahe tööriist. Seejuures puudutavad «looduse korraldus» ja «tunnetuse korraldus» meid kõiki. Aga kõigi keel pole range, pole kohustuslik, pole ühetähenduslik. Mis siis teha? Kas tõesti taanduda ja vaikida hirmus ning aupaklikus värinas objekti vastutusrikkuse ning tõsiduse ees?

Ja lõpuks: XX sajandi füüsikud on saanud niipalju kannatada filosoofide laimu ja mõistmatuse tõttu, filosoofid aga kannatanud üle mõistuse käivate füüsikaliste teooriate ja füüsikute filosoofilise muretuse tõttu, et selles jutustuses «looduse tõe» otsingutest — kummalise maailma paratamatusest — tuleks nende vastastikusele märterlusele anda paljuleheküljeline andam. Kuid siis ei jõuaks me üldse ülejäänud teed läbida... Mida siis peale hakata?

Ma mõistan — teist väljapääsu pole: tuleb kuidagi välja keerutada, kui nii pikk tee on juba seljataga. Ent lugeja ja autor peavad koos välja keerutama. Siin läheb tarvis pisut rohkem tähelepanu kui enne. Ja peale selle pisut rohkem sallivust ebarange, mitteteadusliku paljusõnalise keele vastu.

● Niisiis, loodus on seaduspärane, kuid mitte täpne. Kuidas harjuda selle mõttega?!

Kujutlege, et Kuu ütleb astronoomidele:

«Aga kas teate, sõbrad, edaspidi pole ma üldse kindel, kas teie poolt ennustatud varjutus toimub. Osutub, et minu liikumises on määramatus. Ja nüüd, ega nalja tea, võib juhtuda nii, et ma ei ilmugi teie poolt määratud ajal määratud kohta...»

Klassikud-astronoomid jääksid seda kuuldes jahmatu-

sest soolasambaks. Ja mitte seepärast, et Kuu hakkas järsku inimhäälega rääkima (seda on muinasjuttudes juhtunud), vaid seepärast, et ta lausus midagi ebatõenäolist (mida pole teaduses juhtunud). Aga kuidas tunneksid klassikalised täheteadlased end siis, kui Kuu lisaks:

«Uskuge mind, Hipparhose, Cassini, Herscheli ajal ja isegi päris hiljuti — näiteks Bredihhini päevil — ei aimanudki ma, et minu massile on omane mingi lainekujulisus. Tõsi küll, päris tühine, aga siiski on selgunud, et ma pole lihtsalt taevakeha, vaid keha-laine. Seepärast ärge pahandage, kui ma pole päris täpne ja petan teie lootusi, — niisugune on minu liikumise tõeline seaduspärasus.»

Lasknud kõrvust mööda Kuu lobisemise mingist lainekujulisusest, pööraksid klassikud-astronoomid tähelepanu kõigepealt tema viimastele sõnadele. Nad mõtleksid: kas on loodus hulluks läinud või algavad meil kuulmishallutsinatsioonid. Mis seaduspärasus see siis on, kui ta ei võimalda absoluutselt täpseid ennustusi? Mis liikumisseadus see on, kui loodus isegi ei tea ette, kuhu ta liikuva keha viib?!

Meis elab samuti kui klassikaliste täheteadlaste teadvuses vankumatu veendumus, et looduse seaduspärasus on tingimata täpne.

Me heidame tihti nalja ilmajaama üle: «Noh muidugi, luiskasid jälle!» Aga mis on meie pilgete tagapõhjaks? Kas tõesti ajaleheföljetoni taoline kahtlustus, et seltsimehed töötavad seal halvasti? Hoopiski mitte, siin on mängus terve loodusteaduse filosoofia: siin nõuab sõna meie sügav, instinktina tugev ja mitte kunagi ekslikuks osutunud raudne veendumus, et ideaalselt on kõik loodusnähtused täpselt ennustatavad, sest nad on seaduspärased. Ilm pole erand. Ja me arutleme sisimas umbes nii: «Küllap ta ise juba teab, missugune ta homme on, meteoroloogid ei tea, aga ta ise teab seda täpselt!» Juba ammu märgati, et naer tekib reeglina meie äkilisest üleolekutundest teiste üle. Nii naerame meteoroloogide üle ilma nimel, nagu oleksime tema liitlased, aga nemad — vastased.

Meie usk looduse enda täpsusse on piiritu. Ja nagu usk, et osakesed on kõvad kerad, on see jällegi ainult andam suurele klassikalisele kogemusele — inimkonna makrokogemusele. Seda võib nimetada usuks mingisse määratletuse printsiibisse.

Niisugust asja pole keegi kunagi füüsikaliselt tõestanud ega keegi kunagi loogiliselt ümber lükanud. Ja mõte, et ta eksisteerib ning peab olema kõigi looduses toimuvate sündmuste aluseks, on ainult sajanditevanune eelarvamus. See on ainult usk. Kindel, kauaaegne, kuid see pole teda teinud tõeseks teadmiseks.

Ja äkki tabab seda piiritut usku möödapääsmatu hoop — määramatuse printsiip! Uus printsiip, mis on ammutatud niisama suurest, kuid mitteklassikalisest ja sügavamast mateeria tunnetamise kogemusest — inimkonna mikrokogemusest. Ja seekord — tõestatud, füüsikaliselt tõestatud ja loogiliselt ümberlükkamatu printsiip.

Ning siinsamas vältimatu, täiesti range, ehkki mitte ranges teaduslikus keeles väljendatud väide:

«Jah, loodus on seaduspärane, kuid sugugi mitte täpne.»

Ilma pika jututa on selge: s e l l i s e joone avastamine «looduse korralduses» pidi viima arvutute järeldusteni ka «teadmise korralduses». Või veel! Ehkki müüt looduse täpsusest oli hajunud, asjade käigu seaduspärasus sel'est ei kannatanud: see leidis veel kord kinnitust. Kuid mitte lihtsalt, vaid uut moodi. Selgus paratamatult, et looduse olemise mikronivool valitseb mingi u u s füüsikaliste seaduspärasuste laad.

Nüüd mõistate, et need polnud tühjad sõnad — sõnad revolutsioonist, mida alustasid XIX sajandi loodusteaduses kaks esimest mateeria elementaarosakest — footon ja elektron. Nii nimetatakse seda ajaloo keeles. Ainult revolutsioonid ei rahuldu vanade seaduste korrigeerimise — parandamise ja laiendamisega. Ainult revolutsioonid muudavad kogu seadusandluse vaimu. «Kes oli eimiski, see saab kõigeks!»

Looduses avanes miski varemtundmatu; seepärast pidi ka uus füüsikaline teadmine oma laadilt olema teistsugune kui varem. Teistsugune uurimiste vaimult. Teistsugune ennustuste tüübilt. Teistsugune mõtlemisstiililt. Teistsugune matemaatilise rüü poolest.

Avage kvantmehhaanika kursus ükskõik milliselt leheküljelt. Kui teil on olnud juhust heita pilku vanadesse füüsikaraamatutesse, siis tunnete täpselt samuti nagu inimene, kes esmakordselt avab Majakovski köite: «Mis see siis on? Kui veider välimus on neil värssidel! Kus on siis ühesuurused stroofikastid, mida ma tundsin ja armastasin?»

Mõtet häirivad ja kujutlust erutavad mitte uue füüsikalise seadusandluse üksikud paragrahvid — see on spetsialistide mureobjekt. Iga mõtleva kaasaeglase teadvust ärritab mikromaailmas avastatud seaduspärasuste uudsus ise, mis on peidetud kättesaamatuisse valemeisse — uue seadusandluse vaim ja hing. Sellest tulebki veel rääkida.

Kes oli siis varem «eimiski», aga «sai kõigeks» meie päevade füüsikas?

Kui kohe öelda, siis te ei usu. Esialgu kohmetute, siis aga tõstate mässu. Ent siiski on parem juba kohe öelda: «Tõenäosus!»

● Hämmastav, et see selgus veel varem, kui Werner Heisenberg avastas määramatuste suhte. Tõsi, ainult veidi enne seda, kuid siiski varem, aga mitte hiljem.

Näib, et mitte miski muu peale «ebatäpsuste kambri» ei saa viia mõttele uuest seaduspärasuste tüübist! Aga samal ajal oleks see mõte just nagu hõljunud õhus, mida hingasid füüsikud 20-ndate aastate keskpaiku. Ja kuigi sellest ajast pole ajaloolises mastaabis eriti palju aega möödas, ehkki peaaegu kõik peategelased on veel elus ja igaüks võib öelda, k u i d a s l u g u o l i, räägitakse ometi erinevaid asju. Õppekursustes ja monograafiates jäetakse enamasti mainimata, kes siis esimesena ütles valjusti välja häiriva mõtte Juhuse uuest, enneolematult suurest osatähtsusest.

Huvitav üksikasi kvantmehhaanika ideede draamast: Ilmus fundamentaalne idee ja elas teaduses nimetuna, just nagu ratta leiutaminegi.

Mispärast? Kas mitte sel põhjusel, et ta sündis loomulikult nagu folkloor ja omas korraga paljusid autoreid, kes jõudsid tema juurde üksteisest sõltumatult? Võib-olla oli kõik hoopis keerulisem: kas ei paistnud see algul nii vaieldava ja mitteobligatoorsena, et kellelgi ei tulnud pähe mõttetust jäädvustada? Noh, aga hiljem, kui määramatuste seos oli juba avastatud ja kummaline idee muutus paratamatuks, kas ei paistnud siis, et nüüd ei vajanudki ta enam autoritunnistust? (Kui midagi saavutatakse loogiliselt, «iseendast», siis autorist ei kõnelda.)

Nähtavasti ongi kõik kokku tõde.

Kuid autor oli olemas. Poleemilistes artiklites ja mälestustes nimetavad kõik reeglipäraselt Max Borni. Ent

mõnikord, nagu teeb de Broglie, lisatakse ettevaatlik «nähtavasti». Igal juhul võtab Born meelsasti süü enda peale. Uhkusega jutustab ta, kuidas ründas esimesena vana füüsikalist seadusandlust. See juhtus neilsamul päevil 1926. aastal, mil noor Heisenberg teda reetmises süüdistas, kuna ta ilmutas «arusaamatut» huvi Schrödingeri lainemehhaanika vastu.

Sisuliselt tahtis Max Born saada vastust lihtsaimale küsimusele: mis lained need on, mille jaoks Schrödinger oma kuulsa võrrandi kirjutas? Või veel selgemalt ja teravamalt: m i l l e l a i n e d n e e d o n?

Muidugi tulevad kohe meelde «mateerialained» — de Broglie' lained. Ja tekib isegi mõte: mida siin õieti mõtelda oli? Kas oli siis saladus, et Schrödinger lähtus otseselt de Broglie' osakeste lainekujulisuse ideest? Ei, sellest pole keegi saladust teinud. Ent meil teiega on korduvalt olnud juhust veenduda, kui kaugele eemalduvad teadlased oma otsinguis esialgsetest ideedest. Ja kuidas nad ise ei suuda ette näha, kuhu avastuse loogika neid viib . . .

Nii sai kõik alguse Bohri lubatud orbiitidest planetaarses aatomis, aga lõppes nende orbiitide hukkumisega. De Broglie'l oli ehk õiguski, kui ta kurtis, et lapsed lähevad liiga iseseisvaks ega kuula enam vanemate sõna. Teaduses juhtub seda niisama sageli kui elus.

Midagi taolist koges ka Schrödinger.

Lainemehhaanika looja hinges elas surematu klassik päritud usuga üksnes pidevaisse füüsikalistesse protsessidesse. See klassik tundiski vastikust kvanthüpete diskreetsuse vastu. Ja tõesti, siin on ainet järelemõtlemiseks kirjanikul, kes tahab kord visandada Schrödingeri teaduslik-kunstilist portreed. Varjatud konservaator etendas geniaalses novaatoris ebatavalist osa. Ta ei teinud novaatorit ettevaatlikumaks ega aremaks. Vastupidi, ta kahekordistas tema fanaatilisust. Et säilitada — iga hinna eest säilitada — klassikalist, rikkumatut pidevust looduspildis, sundis tema, see valvas klassik, Schrödingeri vihkama uut, hüpete ideed ja samal ajal loobuma vanast, korpuskulite vormist. «Ohverda kõik!» ütles talle klassik. Ja Schrödingeril jätkus julgust ülinovaatorlikuks lootuseks — taandada kogu maailma mateeria pidevateks laineteks!

Ta unistas tõepoolest, et vabastab loodusepildi elementaarosakeste kahepalgelisusest. Ta uskus, et mingitest lai-

netest võib teoreetiliselt meisterdada korpuskulid, see tähendab, tõestada, et need on lainemoodustised ja järelikult «ol.d alguses lained».

De Broglie, kes esimesena hakkas rääkima «mateeria-laineist», ei läinud kunagi nii kaugele. (Alles hiljuti kirjutas ta, vanade vaidluste üksikasju analüüsides: «Schrödinger, kes ei uskunud osakeste olemasolusse, ei võinud minu jälgedes käia.»)

Üldiselt rääkides võivad füüsikud ilma erilise vaevata igasugustest lainetest osakeste-taolisi moodustisi konstrueerida. Lained võivad ju üksteist kustutada, kui nende harjad ja põhjad kokku ei lange, või üksteist võimendada, kui hari kattub harjaga. Pole vaja midagi kujutleda, tuleb ainult meenutada jõge, mille pinda häirivad mitmesugused lained — kõrged ja madalad, pikad ja lühikesed, sellest mitmelaadiliste lainete segust kerkib aeg-ajalt mõni eriti kõrge hari, tema kõrval aga on veepind hetke kestel tasane, just nagu vaibunud ja jõuetu, andnud kogu oma rahutuse sellele ainsale harjale. Nii loob paljude erineva rütmi ja võnkehooga lihtsate lainete summa uue, keerulisema laine. Laine võib olla suvalise kujuga — seda on matemaatikud ammu tõestanud. Liitudes üksteisega võivad koostislained vastastikku kustuda kogu alal, välja arvatud väike lõik, kus üksikud kühmud ühisel jõul tõstavad üles üheainsa kõrge harja.

Nii saavutatakse soovitu matemaatiliselt. Ruumis laialimääritud lained kaoksid nagu hoopis. Järele jääb rusikaks kokkusurutud lainemoodustis — l a i n e p a k e t t, nagu füüsikud kujukalt väljenduvad. Mateeriatilk! Korpuskul!

Millestki taolisest võiski Schrödinger unistada.

Ka meil tuleb tunnistada, et lainepaketi kujund on väga meelitav — ta aitab hädast välja meie mõtte ja meie kujutluse, mil on nii raske jagu saada vasturääkivast kombinatsioonist «laine-osake». Sest tõepoolest — lainepakett kõrvaldab vasturääkivuse õige lihtsalt: osakese valmistab loodus lainetest, ja ongi kõik. Õnneks on olemas veel Schrödingeri lainevõrrand mikromaailma liikumise kirjeldamiseks. Schrödinger tuletas selle ju mingist suurusest, mis muutub lainekujuliselt ajas ja ruumis ning nimetas selle suuruse mitte liiga kulunud kreeka tähega «psii», just nagu hoiatades, et sellise füüsikalise suurusega pole teadusel veel tegemist olnud. Kohe tekkis kiu-

satus mõelda, et tema võrrand näitabki, «millest» loodus korpuskuleid meisterdab.

Psiilainetest pakett — see ongi osake!

Esialgu mõtleski Schrödinger nõnda. Elektroni vesiniku aatomis kujutas ta pilvena, mis aatomiruumis lainetusekujuliselt muudab oma tihedust — elektrilaengu tihedust. Teiste sõnadega, Schrödingeri psiilained võisid esialgu tõesti reaalsete «mateerialainetena» näida. Ja esimesel pilgul tuli kõik nii hästi välja, et ei saanud isegi aru, miks pidid füüsikud Schrödingeri lainekonstruktsioonides mingit saladuslikku mõtet otsima? Pole selge, mille kallal Max Born pead murdis.

Ja lõpuks, mis mõttetus see on: kas tõesti on nii, et teoreetikud koostavad algul valemeid, aga pärast hakkavad nende tõelise füüsikalise sisu üle järele mõtlema? Juhtub. Kvantmehhaanika loojad pole kunagi varjanud, et nendega just nõnda juhtuski.

1929. aasta kevadel, pidades loenguid Chicago ülikoolis, ajas Werner Heisenberg ookeanitaguse auditooriumi segadusse võrdlemisi ebatavalise tunnistusega: «Peab mainima, et kvantmehhaanika matemaatilise aparaadi areng eelnes aatomifüüsika füüsikalisele mõistmisele.»

Niisugused asjad hämmastavad. Paistab ju täppisteadus enamikule inimestest tõdede hästikorraldatud «loogilise tootmisena»: loodus hanki tooraine, uurijad töötasid selle oma füüsikaliste arusaamade varal läbi, lattu läheb laitmatute valemite valmistoodang. Nii näeb füüsika välja õpikuis: mitte ideede draama, vaid sissetulekuteatis. Või rongide sõiduplaan. See oleneb vajadusest: muidu ei jõuaks ükski uurija kunagi sihtjaama. Aga tegelikult pole sõiduplaani olemas ja teadus nagu luulegi on «sõit tundmatusse».

Ja võib-olla vedas füüsikal, et kvantmehhaanika *algul* loodi ja alles *hiljem* tõeliselt mõtestati: pole teada, kas ehitajail oleks jätkunud otsustavust püstitada hoonet, kui nad oleksid ette teadnud, millisele alusmüürile ehitavad.

● Lainepaketid kahjuks osakeste rolli ei kõlba. Ja neile polnud määratud füüsikute kujutlust hädast välja aidata — korpuskuleid laineiks taandada.

Pakettidel on vastik iseärasus: aja jooksul valguvad nad ruumis laiali. Kas kiiremini või aeglasemalt, kuid tingimata valguvad. Isegi ilma tõestusteta ütleb füüsika-

line instinkt, et see on vältimatu. Jõel lainete kaosest ootamatult tekkinud üksik hari pole elujõuline. Eri masti veelained liiguvad erinevate kiirustega ja seepärast on nad sellesse laineharja suletud ajutiselt, ebakindlalt.

Kui elektron oleks lainepakett, ootaks teda seesama saatus. Varem või hiljem valguks ta laiali ning eksperimentaatorid leiaksid muidugi viisi, kuidas seda registreerida. Ja mitte ainult registreerida: nad suudaksid eraldada, ära lõigata osa elektroni tema ülejäänud, ruumis laialivalgunud ainest.

Samal ajal ilmutab elektron end kõikjal ja alati kui tervik. Kui ühtne elektrilaengu portsjon. Kui energiamassi jagamatu kvant. Ses mõttes kannab ta õigusega elementaarosakese nimetust: kõigist vastasmõjudest võtab ta osa tervikuna — kogu olemusega.

Ent Lenini kuulsa prognoosi järgi on elektron ju ammendamatu! Ja loomulikult tuleb päev, mil füüsikud saavad teada, kuidas ta on «ehitatud». Ei maksa aga mõelda, et nad sel päeval suudavad elektroni «laengust tüki» ära lõigata või «tüki lainet» ära näpsata. Kindlalt võib öelda ainult seda, et sel päeval õpivad nad tundma tema imelise terviklikkuse mehhanismi. Ja hakkavad muidugi kohe sügavamale kaevama. Ükskõik milline pilt füüsikute ees elektroni sisemuses ka ei avaneks, lainepaketti elektron endast ikkagi ei kujuta. Lainepakettide saatus pole tema saatuseks. Elektron on ääretult püsiv.

Samasugune on footon. Niisugune on ka prooton.

Ei, igasugused katsed näha elementaarosakestes psiilainetest konstruktsioone muudaksid neid kohe, vastupidiselt loodusele, hukkamõistetud olendeiks, mis ruumis sulavad. Ja füüsikud loobusid kohe neist katseist. Nähtavasti ainult Schrödinger lootis ikka veel millelegi ja hellitas isegi päris hiljuti, 50-ndail aastail, oma vana usku lainetesse, lainetesse, veel kord lainetesse ja ainult lainetesse. Meie tema asemel...

Kõlab naljakalt — «meie tema asemel», kuid küllap oleksime meiegi tema kõrgel kohal teaduses samuti visalt vastu pannud. Meile oleks meenunud, et aatomgi paistis esialgu hukkamõistetuna, kui Rutherford nägi temas väikest koopiat päikesesüsteemist. Elektronid pidid sellises aatomis vältimatult langema tuumale ja klassikaline füüsika ei suutnud päästa planetaarset aatomit. Ning ikkagi ei loobunud Rutherford oma mudelist. Sellest said

alguse Bohri kvanthüpped, de Broglie' lained, mateeria kahesus, kvantmehhaanika, Niisiis, võib-olla poleks tarvis olnud loobuda ka lainepaketi meelitavast kujundist?

Muide, seda kujundit ei saanudki enam nii lihtsalt kõrvale jätta, isegi kui füüsikud oleksid väga tahtnud. Schrödingeri lainevõrrand sobis suurepäraselt mikromaailma mehhaanika teenistusse. Selle lahendid — psiifunktsioonid või psiilained — kirjeldasid eksimatult näiteks elektroni käitumist vesiniku aatomis. Tähendab, nad kajastasid seda, mida Einstein nimetas «tõe servaks». Noh, aga need lahendid, need füüsikaliselt mõistetamatud psiilained, koondusid nagu iseendast, *matemaatika tahtel*, lainepakettidesse. Ja tuli välja nii, et kui elektron polegi lainetest konstrueeritud, siis liigub ta ikkagi nagu lainepakendis.

Aga lainepakendit on mõeldamatu hoida laialivalgumise eest — siin dikteeris seesama matemaatika oma tahet. Kas tõesti pidid siis elektronid ja teised osakesed lahustuma ruumis nagu pärlid äädikhappes ainult sellepärast, et «matemaatika käskis»?

Muidugi, matemaatikaga ei saa naljatada — ta on äraostmatu. Kuid osakesed tuli päästa! Seda käskis katse. Niisama, nagu ta 1911. aastal käskis päästa planetaarse aatomi. Ja niisama, nagu aatomit aitas päästa Niels Bohri läbinägelikkus, nii pidi füüsikute taiplikkus raskest olukorrast välja aitama elementaarosakesed, kes olid mässitud kummalistesse lainepakettidesse.

See aga tähendaski, et füüsikuil tuli mõista, mida neile jutustab aus matemaatika.

Millised looduse omadused on peidus Schrödingeri psiilainete taga, kui need kindlasti *pole* mateerialained?

Lühidalt, füüsikud olid sunnitud tagantjärele mõtestama omaenda kätetööd. Max Born tungis esimesena mõistetamatusse. Või vähemalt hakkas esimesena kõigile kuuldavalt ja põhjendatult rääkima psiilainete füüsikalisest mõttest, jättes kõrvale Schrödingeri «laineketserluse».

● Ei, alguses ta ainult aimas tõde.

Ta meenutab seda nagu inimene, kellele tuli inspiratsioon: nagu poeet meenutab õnnelikku rida või näitleja äkitselt leitud žesti. «Kui ilmus Schrödingeri lainemehhaanika, tundsin ma kohe, et see . . .» Edasi järgneb keerukas fraas füüsikalis-matemaatilises keeles igasuguste

«tõenäosuse amplituudidega» ja «psii reaalosa ruutudega», nii et näib käsitamatu, kuidas taolisi asju saab t u n d a, ja pealegi veel ä k i t s e l t.

Aga paljud teoreetikud, näiteks akadeemik Landau, tunnistavad, et uued ideed tulevad neile just matemaatiliste või poolmatemaatiliste kujundite näol.

Füüsikud elavad selliseid sisemisi sündmusi üle niisama teravalt ja tugevalt kui poeedid või leidurid. Inspiratsioon tuleb otsijale. Jutustatakse, et kui Newtonilt küsiti, kuidas ta avastas gravitatsiooniseaduse, vastas ta: «Ma mõtlesin sellest.» Ja mis ka ei võrsuks otsija mõttesähvatustest — kunstiline kujund, valem või konstruktsioon, — alati on sel mõttesähvatusel ikka oma eellugu. See ilmub juba ettevalmistatud põllule. Eellugu on märkamatu mõttetöö. Selle pinnaks on sügav reaalsusetaju. Ja pole tõepoolest märgata, et uurija erineks ses suhtes millegi poolest kunstnikust.

1960. aasta kevadel oli mul kaks korda juhus veenduda, et niisugust erinevust pole olemas. Algul Dubnas, hiljem Aragatsil.

... Kas mäletate, kui kõik ajalehed teatasid akadeemik Veksleri ja professor Wang Gang-changi juhtimisel töötanud Dubna eksperimentaatorite hiilgavast edust? Tookord, 1960. aasta varakevadel, avastasid nad uue elementaarosakese hüperonide, prootonist raskemate osakeste perekonnast.

Osakese eksisteerimist ennustasid teoreetikud. Nad ristisid teda juba ette hirmuäratavalt ilusa nimega: a n t i s i g m a m i i n u s h ü p e r o n. Ennustus tehti, kui nii tohib öelda, automaatselt. See järeldus Paul Diraci avastatud üldisest reeglist, et igal osakesel on antiosake. Iseendast tekkis ka mikromaailma uue elaniku ülearu kaunis nimi: et füüsikud olid 50-ndate aastate keskpaiku avastanud üliraske («hüperraske») negatiivselt laetud osakese, mille mass on lig.kaudu 2300 ja nimetanud ta kreeka tähega «sigma» — sigmamiinushüperon», siis ei jäänud neil muud üle, kui panna tema teoreetilisele kaksikvennale nimeks — «antisigmamiinus». Kaksikvennal on positiivne laeng, mass aga seesama. Ja veel paljud omadused on samasugused. Nende seas ka tõlgendamatu ning füüsikuile endilegi mitte täiesti arusaadav omadus v e i d r u s.

Ainult Dubna kiirendajal oli tollal võimalik tõestada, et niisugune kummaline «asjake» tuumareaktsioonidel tõe-

poolest tekib. Küsimus on selles, et osakeste tekkimine tuumareaktsioonidel on just nagu vastasmõjust osavõtjate energia materialiseerumine. Hüperonid on nii massiivsed, et nende loomiseks on tarvis tohutu suurt energiat (ikka meile tuttava Einsteini seaduse $E = mc^2$ järgi). Dubna prootonite-miljardäride energiast piisab, aga seda ei jätku teistel, väiksema võimsusega masinatel kiirendatud prootoneil. Berkeleys (Kalifornia) saavad prootonid ligikaudu 6 000 000 000 elektronvoldi suuruse energia. Seda jätkub ameerika füüsikuil antiprootonite ja antineutronite loomiseks, antihüperonide «tootmiseks» jääb aga väheks.

Huvitav on see: meie eksperimentaatorid olid sunnitud läbi uurima 40 000* kaadrit meile tuttavast filmist «Ionisatsioon», mis polnud, tõsi küll, võetud udukambris, vaid niinimetatud «mullikambris», kus piki laetud osakese trassi moodustub mullidest tunnel. Ja ainult ühel kaadril suudeti leida antisigma-miinushüperoni jälg. Ühel neljakümnest tuhandest! Üliharuldase jälje tabas noor Dubna füüsik Anatoli Kuznetsov.

Varsti pärast seda sündmust tõi juhus Dubnasse grupi teadusest kirjutavaid kirjanikke ja ajakirjanikke. Loomulikult tahtsid kõik näha ka sensatsiooni tekitanud kaadrit. Ja esimese kevadiselt «võtva» päikese käes Dubna mändide all asetas laboratooriumikitlis inimene meie ette suure foto.

See paistis päris tavalisena, mikromaailma sündmuste reavõttena. Iga päev teevad füüsikud paljude maade tuumalaboratooriumides hulgaliselt samasuguseid fotosid. Möödalennanud, tekkinud, lagunenud osakeste jäljed on kas valged udujooned või valge mullidest punktiir. Mustal foonil möllab korrapäratu tuisk. Ja kõik. Ent sellele fotole oli füüsiku käsi joonestanud veel peened värvilised jooned. Need tõid lumesajust esile üheainsa jälje koos selle harudega — antisigma ja nende osakeste jäljed, milleks ta muutus.

«Ja see ongi kõik?» küsis üks ajakirjanik pettunult. «Ja te olete kindel, et see oli tema, teie antisigmamiinus?»

Kitliga mees naeratas.

---

* Kui ameerika füüsikud 3 aastat hiljem otsisid Gell-Manni ja Ne'emani ennustatud oomegamiinushüperoni, tuli neil uurida jälgi 100 000 filmikaadrilt. Eksperimentaatorite tööd kroonivad järjest harvemini tõelised leiud.

«Noh, silma järgi seda muidugi öelda ei saa, kuid detailsed mõõtmised ja arvutused...»

«Lubage,» katkestas keegi, «aga kas on võimalik kõiki jälgi läbi arvutada? Neid on üksi sellelgi fotol mitusada!»

Kitlis mees muigas jälle.

«Mõistate, paljud jäljed langevad kohe ära: on selgesti näha, et need on elektronid, prootonid ja muu. Aga siin...» ta takerdus hetkeks, kuid lausus seejärel just seda, mida ma kõige rohkem kuulda tahtsin: «Aga siin pöörasin ma kuidagi erilist tähelepanu sellele jäljele, teate, t u n d s i n kuidagi...»

«Andestage,» katkestas jälle seesama hääl, «tähendab, teie avastasite ta esimesena?» Hääles kõlas juba ajakirjaniku hasart.

«Jah, üldiselt oli nii...» tunnistas kitliga mees poolvastumeelselt.

«Aga kuidas teie nimi on?» Ajakirjanikud esitavad selle miilitsamoodi küsimuse ilma pikema jututa.

«Kuznetsov, Anatoli Aleksejevitš.»

Nähtavasti mõtles igaüks meist, literaatidest, tookord Dubna mändide all, et kunagi läheb tal seda füüsiku tahtmatut tunnistust tarvis: «Teate, ma kuidagi tundsin.» Vestlust loomulikult ei stenografeeritud. Ja kui see lehekülg puutub silma Anatoli Aleksejevitš Kuznetsovile, siis võib ta protesteerida: «Kas ma tõesti nõnda ütlesin?» Ja tahab parandada: «Ei tundnud, vaid taipasin kuidagi, või õigemini, lihtsalt mõtlesin — ühesõnaga, aistingud ja tajud ei puutu siin asjasse.»

Ja ikkagi ütles ta just nii, aga mitte kuidagi teisiti. Ja ütles täpselt — otsija õiguse alusel. Sellesama õiguse põhjal, mille järgi oma «leiu» kohta niisamuti väljendus teoreetik Max Born. Poeedi õiguse põhjal, k e s t ö ö t a b ja kellele ainult seepärast inspiratsioon toob värsirea. Musta leegina helkis foto päikesepaistel ja tuhmilt läikisid värvilised jooned, mis kinnitasid, et vaist ei petnud eksperimentaatorit: ta tajus reaalsust.*

* Mõni kuu pärast käesoleva raamatu esitrüki ilmumist sain ma ootamatult kirja Dubnast Anatoli Aleksejevitš Kuznetsovilt. Kirja lõpuosas oli väga oluline etteheide minu jutustuse kohta antisigma-miinushüperoni avastamisest. Ja kuna A. A. Kuznetsovi märkused pakuvad üldist huvi, tahaksin nad siinkohal ära tuua. Siin nad on.

«Ma tuletasin väga kaua meelde, kus ja millal toimus vestlus, mida te oma raamatus kirjeldate. Ja lõpuks meenus. Kui ma olek-

Selsamal kevadel, kuid hiljem, päris teises olukorras ja teisel põhjusel, alustasid füüsikud-teoreetikud juttu äkki samasel teemal. Kõik nad olid andekad ja peaaegu kõik noored. Vladimir Gribov ja Igor Djatlov Leningradist, Lev Okun ja Igor Kobzarev Moskvast, Jossif Goldman Jerevanist... Tahtmatuks eesistujaks oli aga Teaduste Akadeemia korrespondentliige Arkadi Benediktovitš Migdal, mitmekülgsete annetega inimene, kel vanust nagu polekski.

Arutati lahendamatut ja üsnagi rumalat küsimust. «Kellel on kergem — kirjanikel või teoreetikuil?» Ootamatu võrdlus polnud päris juhuslik: nii ühed kui teised töötavad pidevalt, lahkumata oma mõtteist; nii ühed kui teised ei tunne muud ametit peale meisterliku oskuse sodida täis tohutud paberivirnad. Arutelu oleks veninud nähtavasti lõputult pikaks nagu alati, kui teemal pole selgeid piire ning keegi ei ootagi küsimuse lahendust. Aga lugu oli selles, et teoreetikud ei istunud tugitoolis ega toetunud lektoripuldile. Nad rappusid Aragatsi traktori lahtises järelvankris rabiseva vihma ja külma tuule käes, mis nähtavasti kunagi ei vaibu neil Aragatsi kõrgustel, kuhu kevad pole Ararati orust juuni alguseks veel küünsin tookord teadnud, et te sellestki kirjutate, oleksin ma Teile jutustanud palju huvitavat oma töökaaslastest, kes nii palju tegid selle avastuse heaks. Näha seda sündmust (antisigma-miinushüperoni sündi — D. D.) on raske, kuid seda oleks võinud näha meist igaüks, aga kambrit valmistada, tuhandeid fotosid saada, neid läbi töötada — see on jõukohane ainult suurele inimkollektiivile. Grupp on meil aga suurepärane, üksmeelne ja sisuliselt — internatsionaalne: Wang Cu-jiong ja Ding Da-dao (Hiina), Nguen Din Pen (Vietnam), Kim Hi In (Korea), I. Vrana (Tšehhoslovakkia), A. Mihul (Rumeenia), J. N. Kladnitskaja, A. V. Nikitin, M. I. Solovjov, N. M. Virjassov (NSV Liit). Selle grupi lõid, õpetasid töötama ja tegid (hiljutistest üliõpilastest) teadlasteks akadeemik V. I. Veksler — suur teadlane, südamlik, tähelepanelik inimene — ja professor Wang Gang-chang, keda ka nüüd (ta on praegu Hiinas) meie kaaslased soojalt meenutavad. Tohutu panuse andis sellesse töösse M. I. Solovjov, kes lõi mullikambri, seadme, milleta oleks olnud võimatu meie osakese fotot saada.

Nimestikku võiks veelgi jätkata, kuid ma kardan, et kiri tuleb liiga pikk. Ma räägin kõigest sellest seepärast, et pean siiralt ebaõigeks, et Teie raamatus pole sõnagi minu seltsimeestest, töökaaslastest. Füüsikat teeb nüüd harva üks inimene, ikka on selleks suur kollektiiv. Palun mitte mõelda, et ma mängin tagasihoidlikku. Võin teile tunnistada, et oli muidugi meeldiv lugeda enda nime paksust raamatust, ehkki sa pole kosmonaut, vaid kõigest füüsik. Aga ma pidasin oma kohuseks öelda välja ka seda, mis mind ei rahuldanud.»

dinud. Kaks tundi tagasi lahkusid teoreetikud vanu losse meenutavast Nor-Amberdist. Seal, viimase küla, Kaši-Bulahhi juures, Aragatsi laboratooriumi uues hoones, 2000 meetri kõrgusel lõppes traditsiooniline kevadkonverents kosmilisest kiirgusest ja elementaarosakeste füüsikast. Ja rühm põhjast tulnud füüsikuid otsustas vahetada Jerevani õhtused tuled ja kuumuse Aragatsi inimtühjuse ning suusatajaist puutumatu lumevälja vastu. Sõideti mitte alla, vaid üles — vanasse Alihhanjani jaama.

Kuni tee oli autodele veel läbitav, jätkasid teoreetikud arutlemist, nii nagu poleks istung üldse lõppenud. Ja uskuge, ühtki lauset poleks ilukirjanduse kirjastuse trükkalid laduma hakanud — nii tihedalt oli see reisivestlus mägedes täis integraale, isospini projektsioone, lambdasid, maatrikseid ja muud õpetatud sõnatarkust, kaasa arvatud meile juba tuttavad määramatus ja psiifunktsioonid. Alles siis, kui istuti autodest ümber traktori järelvankrisse ja «Tšeljabinets» hakkas meist hinge välja raputama, märgadelt kapuutsidelt aga tilkus vett näkku, hakkasid nad rääkima inimeste keeli, lõpetasid tööga meelelahutamise. Kuid et teoreetikud peavad igal juhul millegi üle vaidlema, siis takerdusid nad märkamatult mõttevahetusse: kellel on kergem — neil, vaesekestel, või õnneseentel kirjanikel?

Ja ehkki jutt oli künklik-lünklik, aimates järele tee fantastilist reljeefi, kuulsin ma tublisti huvitavat. Peagi jäeti kirjanikud pikemaks ajaks rahule — hakati rääkima ainult oma asjust. Ei, muidugi ei kurtnud nad töö raskuse üle. Kui alpinist jutustab rasketest mäkketõusudest, ärge minge õnge ega hakake haletsema — te satute rumalasse olukorda. Ärge kunagi avaldage kaastundmust vabatahtlikele loojatele, ärge uskuge nende pisaraid: varem või hiljem jääte lolli ossa. Teoreetikuid kuulates tundsin, et rappun tuule ja vihma käes sügavalt õnnelike inimeste hulgas.

(Kuid mõistke, palun, õigesti, oli tunda mitte seda õnne, mida määrab elu heakorraldatus, vaid teist, raskemini defineeritavat. Elu heakorraldatusega polnudki võib-olla igaühel kõik korras. Ma teadsin näiteks, et ühel haruldaselt meeldival ja igakülgset õnne väärival inimesel oli perekonnaelu õnnetu ja tal seisis ees tõsiste otsuste langetamine. Küllap ta oligi seepärast veel kahekordselt vaiksem ja sõnaahtram kui tavaliselt. Ent kogu elu «Hamburgi

arvestuse» — mitte elu-olu, vaid olemise arvestamise järgi oli temagi õnnelik.)

Mõistate, peale kõige muu, mis tegi neid võrdseks kõigi vabatahtlike loojatega, tundsid nad end sajandi eesrindlikemate alpinistidena. Nad vestlesid teadmisega, et nende laager on püstitatud kaasaja teadusemaailma mäeharjal ja et nende töö parimad tunnid on sööstud tundmatute kõrguste poole ilma teejuhtideta! Nad rääkisid sellest otsekoheselt, ilma paatose või rahuloluta, kuid oli näha, et asjade sellise seisukorra vaieldamatus kutsus neis esile sügava, nähtavasti võimalikest kõige sügavama rahuldustunde.

Aga teiselt poolt:

«Vastik, kui terve päev tuleb ainult arvutada. Mitte midagi uut ei ole, aina arvutad, arvutad... Sellest ei tea kirjanikud midagi. Nead terve ilma ära!»

Ei mäleta täpselt, kes seda lausus — Gribov või Okun, kuid kõik muigasid arusaadavalt. Ka mina muigasin kui literaatide soo ainuke esindaja («Sellest ei tea kirjanikud midagi!»). Aga siis tuli mul veel kord naeratada kõigi kirjameeste nimel, aga mitte enam irooniliselt, vaid ainult mõistvalt, kui Vladimir Gribov oma armsa, pisut nukra naeratusega ütles umbes järgmist:

«Aga on ka häid päevi, kui peas midagi on ja teed tublit tööd ning tunned rõõmu tagajärgede üle. Ja kui siis õhtul kuhugi lähed, on enesetunne hea, meeleolu suurepärane. Võib-olla polegi ise sisimas väga kindel tehtu üle, kuid heidad kahtlused kõrvale... Aga hommikul... Vaatad, kontrollid,» ta lõi käega, «tuleb välja, et pole see, on jamps! Ja siis...»

Teda katkestati. Jälle naeratasid kõik. Igor Djatlov — tagasihoidlikult, Jossif Goldman — ülivaikselt, Lev Okun — tähelepanelikult ning pisut pingeliselt. Igaüks oma iseloomu järgi. Kuid kõik tundsid ära oma, hästi tuttava tunde. Ja siis läks jutt, hüplev nagu järelvanker, korraks päris kirjanike moodi. Just nagu poleks vestelnud mitte teadlased — «loogilise tootmise meistrid», vaid tavalised kunstnikud, näitlejad, poeedid.

Loeme neid paari lehekülge mittekohustuslikku kõrvalepõiget puhkepeatuseks meie teel. Igatahes, nagu näete, pole põhjust imestada, et Max Born esmalt nimelt t u n d i s, milline looduse tõde on peidus Schrödingeri psiilainete varjus. See on tavaline lugu.

See-eest on väga kaalukad põhjused hämmastuda töö enese üle — nii ebatõenäone on see!

Born jutustab, et pidi mööduma mõni aeg, enne kui tal õnnestus leida füüsikalisi argumente talle pähe tulnud aimuse kasuks. Meile on need argumendid liiga raskepärased. Jälle peab kujutluse «rumal vobla» ujuma ja lupsu lööma.

● Osake liigub mingis lainepakendis... Muidugi on see ainult kujund. Kuid isegi seda on väga raske endale visuaalselt ette maalida.

Esiteks, pärast kõike, mis füüsika on elementaarosakestest teada saanud, on võimatu piltlikult kujutleda, mis on osake.

Niels Bohr räägib näiteks, et see on «ebatäpselt määratud üksik lõplikes ruumilis-ajalistes piirides». Võib-olla ei saa tõepoolest midagi täpsemalt öelda. Kuid mis peab meie vaene kujutlusvõime peale hakkama selle kehatu «üksikuga», mis on looduses tõepoolest «ebatäpselt määratud»? Aga samal ajal on need elementaarosakesed füüsikalised reaalsused! Inimesel jääb tõepoolest vajaka tarvilikest sõnadest ja kujutlustest.

De Broglie nägi Bohri lauses suure taanlase kalduvust valguse ja varju kasutamisele mateeria füüsikalise pildi maalimisel. Tõenäoliselt tahtis ta lihtsalt öelda, et Bohr «ajab udu selge ilmaga», kuid vana prantsuse ilukõne keelab niisugused jämedused, ja ta sõnas vaid, et Bohr on «kaasaegse füüsika Rembrandt».

Kuid ka de Broglie' enese juures pole leida selget päeva ilma uduta.

Meil mittefüüsikuil tuleb rahulduda väheütlevate sõnadega: «Osake on osake, kas teil pole siis selge?» Ning piirduda ähmase nägemusega, mis meie ajus seejuures tekib.

Teiseks, pärast seda, kui kadus lootus, et psiilained on «mateerialained», haihtus ka teine lootus: tajuda nendest lainetest paketi füüsikalist sisu.

Nad ei kanna endaga mingit energia-massi. Nende abil oleks võimatu anda edasi mingeid signaale — erinevalt elektromagnetilistest või helilainetest. Psiikvandid oleksid puhas väljamõeldis. Fantastikaromaanis poleks ka kõige muretumal autoril nendega midagi peale hakata. Ta muutuks lihtsalt müstikuks, kui tahaks kõige paremate motiividest lähtudes sundida mingit üligeniaalset

võõramaise nimega rauka või laiaõlgset, nurgelise lõuaga humanisti nägema vaeva psiijaama projekti kallal, mis neid laineid edasi annaks, või psiiantenni konstrueerimisel, mis neid kosmosesügavusest vastu võtaks. Neid ei saa keegi ega mingist sügavusest saata — olgu see aatomi sisemus või maailmaruumi sügavus. Niisamuti ei saaks keegi planeetide orbiitidega rõngasmängu mängida. Maailma mateeriabilansist mittemateriaalne silmanähtavalt osa ei võta.

Kuidas me peame siis kujutlema midagi niigi raskesti kujutletavat — elementaarosakest, mis on pealegi mähitud lainepaketti sellistest viirastustest? Raske ülesanne ehk nagu ütlevad hispaanlased: «Kahekesi tonti ei näe.» Kuid see on ainult nali. Kui aga tõsiselt rääkida, siis just Schrödingeri psiilainete mittemateriaalsus kergendab lõpmatult meie olukorda.

Ärge protesteerige — kergendab!

See tähendab ju, et niisugustest lainetest paketi saatus ei saa kuidagi kajastuda elektroni materiaalses küljes. Tema massi ja tema laengut pole tarvis päästa ruumis lahustumisest — neid ei ähvarda selline saatus. Mis sest, et osakese lainepakend elab matemaatika seaduste järgi oma elu: kord valgub hästi aeglaselt või, vastupidi, hästi kiiresti laiali, kord koondub uuesti kindlapiirilisse kitsasse paketti, kord kattub teise osakese lainepaketiga — ühesõnaga, käitub erinevalt, sõltuvalt liikumistingimustest mikromaailmas. Mis ka ei juhtuks liikuvate osakeste lainepaketiga, nemad ise ei saa mingit materiaalset kahju. (Liblikas jääb võrgus ikka liblikaks, ükskõik kas võrk on tuulest punnis või ripub lõdvalt.)

Üldiselt päästab Schrödingeri lainete mittemateriaalsus elementaarosakesed hädast, kuhu nad näisid sattuvat seetõttu, et mingid psiilained nii suurepäraselt nende käitumise mehhaanikat kirjeldavad. Kuid see osakeste lainepakendi mittemateriaalsus sisendab kogenematule teadvusele hirmsa kahtluse: kas mikromaailma arusaamatu kvantmehhaanika ei tegele järsku müstikaga? Miks temast muidu juba üle kolmekümne aasta niipalju igasuguseid jutte käib! Näha, et mitte lihtsalt niisama. Eks ole, tahaks isegi hüüda: «Filosoofid, kus on teie valvsus?!»

(Dogmaatikute «valvsusest» pole selle kolme aastakümne kestel puudust olnud. Üks filosoofia professor nimetas kvantmehhaanika loojaid isegi «imperialismi

agentideks», kes psiilainete vale tõlgendamise abil püüdsid proletariaati avalikult eemale meelitada klassivõitlusest kapitalistide vastu. Vannun, et ma ei liialda. Täpset tsitaati on igav otsida. Aga kui palju rumalusi on kokku rääkinud Lääne filosoofid, ajakirjanikud, publitsistid! Üks neist, prantslane V., ristis kvantmehhaanika obskurantistlikuks õpetuseks — millekski teoloogilise teooria sarnaseks. Teine lausus selle kohta vaimustatult: «See on Picasso-füüsika!» Kolmas nimetas seda koos relatiivsusteooriaga «XX sajandi abrakadabraks». Aga kui palju värdmõtteid on füüsikud ise filosoofilisel mõtisklushetkel avaldanud! Kuid oodake, katsugem esialgu tabada seda kõige peamist ja ebatavalist, mis füüsikutele looduses avanes, kui Schrödingeri psiilainete mittemateriaalsuse tunnustamine päästis osakesed hukatuslikust laialivalgumisest.)

Selles mittemateriaalsuses endas polnud muidugi mitte midagi kahtlast. Kas häirib kedagi näiteks see, et ei saa käega katsuda planeetide orbiite — neidsamu ellipseid, mida mööda nad ümber Päikese tiirlevad? Kuni Pluuto avastamiseni 1930. aastal, kui kõige kaugemaks planeediks peeti Neptuuni, kõnelesid astronoomid, et Neptuuni orbiidis esineb arusaamatuid häireid. Taevamehhaanika seaduste järgi joonistasid nad selle orbiidi kui Neptuuni kohustusliku käitumisliini ja avastasid hämmastusega, et planeet ei allu päris korralikult nende ettekirjutustele. Astronoomide üllatuses peitus Pluuto avastamise idee: sai selgeks, et mingi veel tundmatu taevakeha moonutab eelnevalt väljaarvutatud Neptuuni liikumise ellipsit. Kas Pluuto moonutas siis füüsikalist reaalsust? Ei, ta lihtsalt tõestas vaikides, et orbiidid on matemaatilised viirastused, mis kajastavad taevakehade liikumist seda täpsemalt, mida rohkem teadlased teavad. Ja kuigi ükski hull ei hakka teleskoobis vaatama kohta, kust planeet on juba lahkunud, et «näha» tema orbiiti, on sel viirastuslikul kõveral täiesti selge füüsikaline mõte. Selge ja sügav: see on taevakeha klassikaline trajektoor.

Liikuvate osakeste lainepakend pole viirastuslikum kui trajektoor. Ja on täis veel sügavamat füüsikalist mõtet. Kuid õnnetuseks mitte nii selget, sest mikromaailmas pole trajektoore.

Schrödingeri võrrand, mille lahendamisel saadakse lainepaketid, kirjeldab osakeste käitumist mikromaailmas. Ja täiesti mõistetav, et elektroni lainepaketi saatus, mis

ei mõjuta teda ennast — tema materiaalset olemust —, peab avalduma liikumises.

(Nii mõjutab võrgu kuju püütud liblika lennuvõimalusi: tuult täis võrgus on tal rohkem ruumi kui kokkuvajunus.)

Muidugi on selline võrdlus kohane ainult sulgudes: materiaalne liblikavõrk on liiga jämedajooneliselt piltlik ja elusal liblikal on liiga vähe sarnasust osakesega. Kuid ka teaduslik termin «lainepakett» on ainult kujund. Ja küllalt riskantne. Aga see ei kohuta isegi teadlasi. Laskem siis püütud liblikas sulust välja — las ta aitab meid.

Kui jõel tekib ootamatult üksik lainehari erineva kõrgusega lainetest, meenutavad selle kontuurid tõepoolest tuules heljuvat liblikavõrku. Unustades matemaatika ranguse, võib ligikaudu samuti kujutleda ka psiilainetest lainepaketti. See just nagu katab liblika — osakese.

Esimene küsimus elektroni käitumise kohta — kus ta praegu asub? Saladuslik suurus psii on kohustatud — just oma matemaatilise päritolu tõttu — kuidagi abiks olema õige vastuse leidmisel. Aga mis ta võib vastata? Ainult üht: «Otsige elektroni seal, kus ma ei võrdu nulliga.» See tähendab, lainepaketi võrgu alt. Teiste sõnadega, ruumiosas, kus antud hetkel kerkib liitunud psiilainete — elektroni «käitumislainete» — liikuv hari. Niisamuti vastaks liblikavõrk küsimusele: «Kus on praegu püütud liblikas?» — «Minu sisemuses.»

Ja nüüd tuleb kõige olulisem.

● Kus siis liblikas ikkagi võrgu all asub, kus ta seal sisemuses on? Võrk paistab läbi. Klõpsutage fotoaparaadiga, ja vastus on käes.

Kuid mida öelda mitte tõelise liblika, vaid tõelise elektroni kohta psiivõrgu all? Ehkki see lainehari on enamgi kui läbipaistev — lausa viirastuslik —, ometi ei saa siin fotografeerida. Mäletate: elektroni filmimisest ei saa midagi välja tulla. Selgub, et kui osake lainepaketis meenutabki liblikat, siis pigem liblikat läbipaistmatu võrgu all: kogu aeg teame, et ta seal, seespool on, kuid midagi täpsemat ei oska öelda ja mingi pildistamine ei aita.

Ja nüüd lause, mis on täis kõrget õpetatust, kuid mille mõte on nüüd küllaltki selge: de Broglie' poolt avastatud osakeste kahesus, s. t. nende lainekujulisus sunnib füüsikuid tahtmatult mikromaailma mehhaanikas tegelema

mitte elementaarosakeste «endi» liikumisega, vaid nende Schrödingeri lainepakettide käitumisega.

Üks lihtne ja hämmastav katse.

Läbitungimatu ekraan. Ekraanis on pilu. Ekraani taga fotoplaat. Ülalt langeb elektron. Ta tungib läbi pilu. Kust plaat tumedaks läheb?

Klassikaliste seisukohtadega füüsik tõmbaks pilu keskpaigast plaadini püstloodis sirgjoone ja kuulutaks enesekindlalt: «Must koht tekib siin!» Muidugi teeks ta täpsuse mõttes parandusi, arvestades pilu laiust ja plaadi kaugust ekraanist. Üldiselt kirjutaks ta elektronile ette klassikalise langemistrajektoori ja oleks ääretult hämmastunud, avastades, et ennustus pole miskipärast täitunud. Aga see võis tõepoolest mitte täituda. Ja kui nii läheks, siis hakkaks klassik otsima viga katse skeemis. Aga skeem on nii lihtne, et seal küll lõkse peituda ei saa.

Kvantfüüsik loobuks juba ette täpsetest ennustustest: ehkki ta pole veel midagi arvutanud, pole koostanud ega lahendanud Schrödingeri võrrandit antud juhtumi jaoks, teataks ta kõhklematult, et elektron võib sattuda ka mitte otse pilu vastu. Elektron on laineomadustega korpuskul, laine-osake, ja meil pole õigust omistada talle klassikalist ühetähenduslikku käitumis l i i n i — trajektoori. Joonlaua järgi tõmmatud vertikaal võib tema jaoks olla vähimagi reaalse mõtteta. Joonistage, kuidas toimivad elektroni käitumislained — Schrödingeri psiilained — ja vaatame siis, kus maksab otsida musta laiku fotoplaadil. Umbes nii ütleks kvantfüüsik.

Elektroni teed fotoplaadi poole — tema liikumist, mis eelneb sellega kohtumisele — ei saa katseliselt jälgida: see on niisamasugune mõttetu, teostamatu filmimine. Seevastu matemaatiliselt, paberil, on võimalik jälgida elektroni lainepaketi saatust — seda läbipaistmatut võrku, mis katab liblikat.

Pilu läbimise hetkel ei saa elektron olla mujal kui pilu ruumis. Kuigi see väljend kipub kõlama rumalalt, umbes nagu: «Otsi mind sealt, kus ma end peidan,» polegi selle mõte nii lame, nagu näib. See tähendab, et pilu läbimise hetkel omandab lainepakett pilu mõõtmed. Selline on antud hetkel psiivõrgu põhi ehk alus. Pilu taga on aga vaba ruum. Psiilained pääsevad just nagu vabadusse, kajastades uusi liikumisvõimalusi, mis avanevad elektroni ees. Lainepakett hakkab laienema.

Seal, kus tema teele ilmub fotoplaat, lõikub ta sellega nähtamatult. Ja langev lainepakett jäädvustub nagu vargsi plaadile. Varjatud jälg on laine tasapinnaline pilt: nii kujutatakse raadioplakateil antennist eemalduvaid laineid — tumedad vöödid või rõngad vahelduvad heledatega. Tumedais on elektromagnetiliste võngete ulatus maksimaalne, heledais — minimaalne, null. Nii peitub plaadis ka saladusliku suuruse «psii» muutumise lainepilt — vööt vöödi või ring ringi järel.

Kus siis tumeneb emulsioon elektroni langemise mõjul? Kas toimub see tingimata punktis, mis asub otse ekraanipilu vastas? Te aimate juba, miks kvantfüüsik seda kinnitama ei hakka. Ei, elektron võib langeda igasse kohta, kus tema «käitumislained» pole üksteist vastastikku kustutanud: igal vöödil, kus psiilainete harjad võiksid matemaatilise ennustuse järgi emulsiooni tasapinnale joonistuda. Kõikjal sellistes kohtades võib oodata musta täpikese ilmumist plaadile. Isegi üsna kaugel klassiku poolt ennustatud punktist. Ainult mitte «tühjas» vööndis.

See ongi omal ajal palju kõmu tekitanud elektronide difraktsioon (kaardumine takistuste, pilu servade taha)!

Kuid reaalsel seadmel, mitte paberil, sooritatud tegeliku katse tulemusena satub elektron ju mingisse kindlasse paika, eks ole? Loomulikult. Kuhu siis nimelt? Kus lõpeb teadmatus ja toimub laetud osakese sissetung emulsiooni molekuli, seejärel aga keemiline reaktsioon koos musta metalse hõbeda eraldumisega?

Küllap te tunnete juba, kuidas keelele kipub õnnetu sõna — Juhus! Ta kipub teksti niisama visalt nagu siis, kui otsiksime vastust küsimusele: «Kus on praegu liblikas, keda katab võrgu läbipaistmatu koonus?» Kui tal on üksköik, kus seal olla, siis on see muidugi juhuse asi, kus ta vaatlusmomendil just asub. Tõsi, et see tal tõepoolest üksköik oleks, tuleb ta ilma jätta hingest — püüdest mugavuse poole, vabadusinstinktist, ühesõnaga valikuõigusest. Kõik kohad võrgu all peavad talle võrdselt head olema.

Nüüd võiks juba täielikult loobuda sellest silme ees vilksatanud liblikast, kuna ta niigi tuli jätta ilma eluinstinktidest. Kuid algul tuleb veel veidi kujutlust pingutada. Asi on seda väärt: me tunneme, kuidas juhus dikteerib loodusnähtustele oma erilise seaduspärasuse. Ta teeb seda niisama leidlikult nagu iga raudne paratamatus.

● Võrgu ruumala võib mõttes jagada võrdseteks osadeks, ütleme, liblikasuurusteks. Siis muutub võrk meekärjest väljalõigatud koonuse taoliseks. Puhtast juhusest sõltub, millisesse kambrisse me liblika kontrollimise ajaks pistame. Ja kui koonusesse mahub näiteks tuhat kambrit, siis pole küll tarvis loogiliselt tõestada, et on ainult üks kindel võimalus tuhandest näha vangi varem ennustatud kambris.

Kuid vaat mis väärib tähelepanu.

Kärjed kerkivad tulpadena koonuse aluse kohale. Kõige pikem tulp on muidugi aluse keskpunkti kohal, ruumi osas, mis ulatub võrgu tippu, on kõige rohkem kärgesid. Aga mida lähemal aluse servadele, seda vähem kärgesid mahub tulpadesse. Päris serva ligidal kahaneb kihtide arv nullini. Kas näete mõttes niisugust pilti?

See meenutab Moskva kõrghooneid: igaühes neist on kõige rohkem korruseid keskosas, teraviku all, kõige vähem aga servades, alusmüüri külgosade kohal.

Millises tulbas on siis lootus liblikat näha suurim? Selge, et võrgu mõtteline kärgedeks jagamine pole looduses midagi muutnud. Endiselt on juhuse asi, millises kärjes liblikas asub. Kuid just seepärast, et tal pole m i n g i t p õ h j u s t eelistada üht kärge teisele, kerkib juhuslikkus äkki seaduspärasusena esile.

Just puhta juhuse tahtel eelistab liblikas neid tulpasid, mis on pikemad. Kõige rohkem lootust on teda kohata keskmises, arvukaimate korrustega tulbas. Olgu seal nelikümmend kaheksa kärge, siis annab juhus meile nelikümmend kaheksa võimalust tuhandest näha vangi just võrgu aluse keskpunkti kohal. Iga naabertulba puhul on võimaluste arv juba väiksem. Neid on päris vähe, kui me hellitame lootust näha teda aluse serva kohal.

Et kärjed on kõik võrdõiguslikud, siis on tulbad ebavõrdsed! Võimalused ei jaotu nende vahel sugugi võrdselt. Ja on näha, et võimaluste jaotumise seaduspärasus kordab võrgu küüru- või koonusekujulist vormi. Kordab täiesti täpselt.

Aga kuidas seda kontrollida? Liblikaga on asi lihtne, vähemalt põhimõtteliselt. Teinud võrgu aluse läbipaistvaks, võib seda ükskõik kui palju kordi ühele plaadile pildistada. Võib isegi kujutleda, et võrgu alus on kaetud valgustundliku kihiga ja sellele kihile jäädvustub katiku avaja iga klõpsatuse juures liblika kujutis. Pärast palju-

sid võtteid on vari kõige tihedam emulsiooni keskosas: seal kihistub hulk kujutisi üksteise peale. Kihi servade suunas vari nõrgeneb. Ja on selge, et varju tiheduse jaotuses kordub seesama seaduspära — liblikavõrgu kuju, harjaga keskosas.

Nii kinnitab katse *juhusliku ettenägemist*.

Ja kinnitab seda täielikumalt, mida rohkem ruumi jääb juhusele: iga uus kontrollimine suurendab lootust, et järkjärgult täituvad kõik võimalused — leiavad õigustust kõik šansid. «Peab olema küllaldane statistika!» räägivad füüsikud.

Nüüd võib liblikas ära lennata — me ei vaja teda enam. Hetkeks on tarvis veel ainult tema varju. Just temaga, selle varjuga, mitte aga liblika endaga, sarnanebki elektron. Kas see on arusaadav?

Kaetuna liikumisel lainepaketi viirastusliku võrguga, ei lenda elektron ju üldse selle «mahus». Reaalne pole ju mitte pakett ise, vaid see ruumipiirkond, võrgu alus või põhi, mille *kohale* «kerkib» antud hetkel psiilaine. «Kerkib» ses mõttes, et kui ehitada ruumi kohale mõtteline lattaed saladusliku suuruse psii väärtustest igas punktis, siis kujunebki lainehari.* Aga elektron asub muidugi kuskil matemaatilise võrgu põhjas — reaalses kolmemõõtmelises ruumis.

Erinevalt liblikast pole elektron oma lainepaketi vang, vaid selle süüdlane, et pakett — illusoorne matemaatiline võrk — eksisteerib ja füüsikutele peavalu teeb. (Nii pole Maa oma atmosfääri vang, vaid süüdlane selle olemasolus.) Kui elektron poleks nii väike, kui ta poleks laine-osake, oleksid laineomadused nii märkamatud, et tema liikumist saaks suurepäraselt kirjeldada klassikaliste trajektooride abil. Kuid elektron — korrakem seda sajandat korda! — oskab kuidagiviisi olla nii osake kui ka laine ja ilmub seepärast füüsikute ette lainepaketi oreoolis, atmosfääris, võrgus (kuidas soovite!). Ja seepärast ei saa kunagi täiesti kindlalt öelda, milline on siis selle kahepalgelise elektroni asukoht — milline on tema koordinaat.

Seda, mida sellest võimalik teada saada on, jutustabki lainepaketi *kuju*. Selles seisiski Max Borni idee.

Suurus psii kaotas tema jaoks oma salapära. Mäletate, kuidas too algul üsna muretult sõnas: «Otsige elektroni

* Füüsikud kasutavad mugavuse mõttes suuruse psii ruutu. Mugavus seisab selles, et iga arvu ruut on alati positiivne suurus.

sealt, kus ma ise viibin, see tähendab sealt, kus ma ei võrdu nulliga.» Born otsustas: elektronil on kõige rohkem võimalusi asuda seal, kus psii eksisteerib kõige tajutavamalt — lainepaketi harja all. Aga kõige vähem servas, kus psiilaine muutub eimiskiks.

Nii näitab psiilaine vastavalt Borni ideele lihtsalt šansside jaotumist osakese leidmiseks ruumi eri osades.

Ütleme näiteks, et aatomis liikuva elektroni lainepaketi kuju näitab lihtsalt võimaluste jaotumist elektroni leidmiseks aatomiruumi eri osadest. Ning ongi käes Bohri orbiitide uus mõte: need on need kujuteldavad ringid või ellipsid, mis koosnevad punktidest, mille ümbruses on kõige kergem elektroni leida.

Nüüd on selge, kuidas vastata küsimusele: kas plaat tõepoolest tõmbub mustaks otse pilu vastas, millest langev elektron läbi lendas? Kvantfüüsik ütleb, et ta suudab ennustada ainult selle sündmuse võimalikkust. Mitte rohkem! Ja lisab, et võib ühtaegu ennustada teiste võimalike sündmuste, teiste pilust kaugemal asuvate kohtade mustaks tõmbumise šansse. Kõik sõltub psiilaine pildi kujust.

Aga kuidas seda kontrollida? Ühekordse katsega ei ammenda kõiki võimalusi. «On tarvis küllaldast statistikat.» Füüsikuil on kaks kontrolli varianti: nad võivad ekraanipilusse suunata korraga terve elektronide voo, et ühekorraga korraldada miljoneid, miljardeid, triljoneid kontrollimisi, võivad aga suunata elektrone järjekorras, ükshaaval, hanereas, nagu veetilgad langevad halvasti kinni keeratud kraanist. Põhimõtteliselt peaks tulemus olema ühesugune: mõlemas variandis jääb juhusele täielik vabadus. Paljude elektronide langemisel — ükskõik, kas samaaegsel või järjestikusel — teostub hulk võimalusi ja võib loota, et igaüks neist muutub tegelikkuseks. Esimene variant on lihtsam, teine seevastu aga huvitavam.

Küsimus on selles, et kui pilusse suunatakse terve osakeste voog, tekib kahtlus, kas lainekujulisus pole äkki voo omadus? (Nii ei tekita üks vee molekul jões laineid, aga molekulide voog võib moodustada ükskõik millise laine.) Kui aga elektronid läbivad pilu ükshaaval, on sellised kahtlused välistatud: kui plaadile ilmub difraktsioonipilt, siis tähendab see, et laineline loomus on omane iga üksiku elektroni käitumisele.

Meie eksperimentaatorid L. Biberman, N. Suškin ja V. Fabrikant korraldasid alles pärast sõda, aastal 1949,

«kontrollimise hanereas». Fotoplaadile kujunes oodatav pilt, mis veerand sajandit enne seda katset oleks hämmastanud eranditult kõigi füüsikute kujutlust: peale musta täpi pilu vastas olid selgelt näha mustad suurenevad rõngad, mis nõrgenesid plaadi servade suunas.

Meie füüsikute eksperimendis langesid elektronid nii harva, et ajavahemik kahe järjekordse langemise vahel oli 30 000 korda suurem kui see, mida elektron vajab kogu riista läbimiseks — allikast fotoplaadini sööstmiseks. Samal ajal ei erinenud difraktsiooni lainepilt absoluutselt mitte millegi poolest elektronide massilise langemise pildist, kui plaadile suundus korraga 10 000 000 osakest. Ükskõik kas mikrokentaurid liikusid hanereas või voona — resultaat oli üks ja sama!

Igaüks maandus plaadile nagu osake. Kuid igaüks kasutas juhuse tahtel üht võimalikest maandumiskohtadest, mis olid määratud talle kui lainele. Müriaadid osakesi — müriaadid võimalusi. Ja tõepoolest osutus, et psiilaine pildi vahelduvad harjad on kõige tõenäolisemateks elektroni ja plaadi kohtumispaikadeks.

Mida tähendab osakeste lainepaketi laienemine, selle laialimäärimine? Mitte midagi muud kui osakese leidumisala laienemist. Ja üldse kõik, mis mikrokentauride liikumise erinevais tingimustes nende lainepakettidega juhtub, on ainult osakestega toimuda võivate erinevate sündmuste tõenäosuse muutumine.

Seda tundis, esialgu ainult tundis, Max Born: Schrödingeri psiilained pole «mateerialained», need on osakeste käitumise tõenäosuslained.

● Kas te saate aru, kui vastutusrikas oli Borni idee? Kui vastutusrikas ja kui ülev!

See vääriks ükskõik millist sõnade, võrdluste, selgituste hulka, kui ainult avaneks idee paratamatus ja selguks selle mõte. Lõppude lõpuks pole küsimus siin Schrödingeri võrrandis ega psiifunktsioonides, ei lainepakettides ega üldse matemaatilistes kavalustes. Tõsi, kõike on kergem unustada kui teada saada. Ent kujutlust vapustab ja jääb alatiseks meelde kvantmehhaanika kavalate põimingute olemus. See on ootamatu ja napisõnaline: füüsikud avastasid, et mateeria põues, mikromaailmas, valitsevad juhuse tõenäosuslikud seadused. (Seepärast oligi ta väärt suure algustähega kirjutamist.)

See on võib-olla kõige sügavam ja kõige kummalisem avastus meie sajandi loodusteaduses. Võib-olla isegi mitte ainult meie sajandi ulatuses. Selgus, et looduse maailm on tõenäosuste maailm!

Sellest on raske aru saada, veel raskem sellega leppida. Akadeemik Fok jutustab, kuidas Einstein väljendas oma nõusolematust mikrotegelikkuse seaduste sellise tõlgendamisega: «Ta rääkis korduvalt pooltõsiselt, poolnaljatades, et ei saa kuidagi uskuda, nagu mängiks issand jumal täringuid.»

Täringumäng... Üks neid mänge, kus kõike otsustab juhus. Kuni täringud pole heidetud, on neis varjul igasugused võimalikud arvude kombinatsioonid tahkudel. Ja kuni nad lebavad hasarti sattunud poisikese peos, pole mingit mõtet pärida, milline arvudekombinatsioon seal praegu on. See jääb vastuseta küsimuseks. Ja mitte seepärast, et me täringuid ei näe või poiss ei taha pihku avada, vaid seepärast, et need heitmata täringud, mis on end kapriisselt nurkade ja külgedega teineteise vastu surunud, võivad pimedas peos üldse mitte anda mingit loetavat tahkude ühendust. Ja isegi peopesa avades ei saaks me saladusele lahendust, sest saladust ennast polegi olemas: on täringud, on kõik nende kombinatsioonides peituvad võimalused, kuid pole realiseerunud võimalusi — täringud lebavad korratu hunnikuna ega näita midagi. Tuleb nad lauale heita — tuleb sooritada katse, kus üks võimalustest muutuks tegelikkuseks! Milline realiseerub? See on juhuse asi. Juhust käsutab tõenäosuste jaotumise seadus.

Niisama pole vastust näiliselt loomulikule küsimusele: kus asub praegu osake lainepaketi põhjas? See on tema seni realiseerimata võimaluste pakett — tõenäosuste pakett.

Muidugi, tahaks mõelda, et ta asub seal kuskil täpselt kindlaksmääratavas kohas, ainult meie ei oska oma teadmiste ebatäiuslikkuse tõttu seda näidata ja rahuldume seepärast tõenäosuste väljaarvestamisega. Aga homme, kui teame juba rohkem, ei jää saladus enam saladuseks: füüsikud õpivad takerdumata määrama osakese koordinaati alati, kui nad seda tahavad. Niisugune lootus näib täiesti põhjendatuna, mõte sellest aga absoluutselt seaduspärasena. Niivõrd seaduspärasena, et juba nelikümmend aastat — 1926. aasta imest meie päevini — püüavad paljud

füüsikud, maailmakuulsad ja päris tundmatud, paljud filosoofid, materialistid ja idealistid, asjatult poisikese pihku avada, uskudes, et seal on alati valmis tahkude kombinatsioon — tuleb ainult seda näha ja läbi lugeda.

Kvantmehhaanikaga leppimise kogu raskus selles seisabki, et ta keelab niisugust lootust hellitada! Ta väidab, et mingit täpset koordinaadi saladust pole olemas. Seda pole olemas loodusel endal ja seepärast pole siin midagi avastada. Tuleb luua füüsikalised tingimused, et elektron ilmutaks end kui osake, et kõigist selle lainepaketis peituvatest võimalustest mõni tõepoolest realiseeruks. Tuleb elektron tõmmata vastasmõjusse katseriistaga või mõne teise osakesega, kes «mõõdab» tema koordinaati (nagu fotoplaat ekraani pilu taga).

Tuleb sooritada katse.

«Tuleb heita täring!»

Milline võimalustest saab tegelikkuseks seekord, milline realiseerub aga järgmisel korral? Siin astub mängu juhus. Kõige usutavam on, et ta eelistab sündmuste tõenäoseimat varianti. Kuid ehkki see variant aset leiab, ometi ei maksa mõelda, nagu oleks ta ainuvõimalik.

Loodus, kelle kogu olemine on nagu pidev eksperimenteerimine, «heidab täringuid» pidevalt. Seda ei tahtnudki uskuda Einstein, kes vihjas naljatades jumalale.

● ... Siin käis kogu aeg jutt osakese asukohast — tema koordinaadist. Kuid ainult seepärast, et kõigest muust on märksa raskem jutustada. Füüsikuil on muidugi peale selle esimese küsimuse osakesele veel palju muid ja tihti võrratult tähtsamaid küsimusi. Ja peaasi — mitte ainult üksiku osakese (näiteks elektroni), vaid osakeste süsteemi (näiteks aatomi) kohta. Need on küsimused kiiruse ja energia, kvantide ja kiirgusspektrite, ebapüsivate osade lagunemise ja nende eluea, aatomite ionisatsiooni ja aatomituumade muundumiste kohta... Ühesõnaga, kogu aatomi- ja tuumafüüsika, terve mikrofüüsika üldse kujutab endast küsimuste ahelreaktsiooni, mida teadlased esitavad laine-osakestele ja laine-osakeste süsteemidele. Nagu reaktoriski on reaktsioon ahelataoline: küsimused kasvavad laviinina. Iga kord saavad füüsikud vastuseid tõenäosuslikul kujul! Iga kord selgitavad nad teoreetiliselt, kuidas jagunevad šansid erinevate võimaluste vahel,

katsetulemusi vaatlevad aga võimaluste muutumisena tegelikkuseks.

Oleku tõenäosus. Kokkupõrke tõenäosus. Lagunemise tõenäosus. Kiirguse tõenäosus. Tõenäone eluiga...

Einstein lootis tõestada tõenäosuste valitsemise ebatõenäosust. Ta konstrueeris paradokse, milleni kvantmehhaanika tema arvates paratamatult viima pidi. Ta leiutas mõttelisi katseid, mis pidid häbistama psiilainete tõlgendamist tõenäosuslainetena. Ta esitas vastuväiteid, mis kõigile kvantmehhaanikas kahtlejaile näisid vankumatuina.

Tunnistage teiegi, kes te nende lehekülgede lugemisel võib-olla esmakordselt midagi teada saite mikromaailma mehhaanika veidrustest, ka teie kahtlete? Küllap kindlasti kahtlete! Oleksin liiga enesekindel, kui mõtleksin, et kõik eespool jutustatu, alates elektroni avastamisest ja Röntgeni keelust ning lõpetades määramatuste seosega ja Borni ideega on teid juba veennud kummalise maailma paratamatuses, mis avanes XX sajandi füüsikuile mateeria sügavuses. Ei, muidugi kahtlete veel... Kujutlege siis, et sajandi suurim füüsik jagab teie kahtlusi! Võiks rõõmu pärast hüpata: «Tähendab, ma polegi nii mannetu ega lihtsameelne?» Võib julgelt lahingusse söösta, kui seljataga on nii võimas ihukaitsja. Tema toetus tundub juba ette hindamatuna: teie võite oma nõutust väljendada ainult umbuskliku naeratusega, üksnes õlakehitusega, temal on aga käes geniaalse füüsikalise läbinägelikkuse relv ja enneolematu autoriteedi kilp.

Te mõtlete vist: milleks siinkohal see literaadi ilukõne? Aga seepärast, et tänase päevani (sõna tõsises mõttes tänapäevani) viitavad eri maade publitsistid, filosoofid, füüsikud — nende otsesed järeltulijad, kes sajandi algul ei uskunud relatiivsusteooriat — nüüd tingimata Einsteinile, kui väljendavad umbusku kvantmehhaanika aluste suhtes. Viidatakse tema autoriteedile, mitte argumentidele. Ja isegi ei meenutata, et need argumendid lükati ümber.

Ühele neist võiksime isegi, tõsi küll, mõnevõrra üldistatult, vastu vaielda, järgides oma hüüdlauset: «Ainult ilma üksikasjadeta!» Võib-olla hajutab selline «vaidlus Einsteiniga» ka mõningaid meie endi kahtlusi?

● Elektron läbis pilu ekraanis. Tema kui «laine-osakese» ees avanes vaba ruum. Võimaluste lainepakett hakkas laienema. Kohta, kus tal on määratud plaadile kukkuda, ei saa

täpselt ennustada. Kuid me teame juba: lainepilt näitab, millised šansid on elektronil kuskil jälge tekitada. Olgu kümme võimalust sajast, et elektron satub väiksesse ringi, mille me varem plaadile joonistasime. Siis on loogiliselt üheksakümmend võimalust, et ta ei satu sinna, vaid kuhugi mujale. Küllap juhtubki nõnda — muidu oleks meil liiga hea õnn. Kuid mitte sellest pole praegu jutt, tähtis on mõelda muust: ükskõik milline võimalus realiseerub, hetkel, mil elektron langeb emulsioonile, peab'midagi juhtuma tema lainepaketiga — tõenäosuste paketiga. Mis siis nimelt?

Selle kui füüsikalise sündmuse kohta hakkas Einstein kvantmehhaanika loojailt aru pärima.

Elektroni maandumishetk on ühe tema võimaluse teostumise hetk. Järelikult peavad sel momendil otsekohe kaduma kõik tõenäosused, et ta langeks mujale.

Nii peavad kõik kümme šanssi, millele meie joonistatud ring võis hetk varem veel loota, otsekohe hajuma: s e l l e s kohas s e e elektron enam olla ei saa, kui ta juba mujale langes! Siin pole millegi üle vaielda. Kuid siis tähendab see, et elektroni langemishetkel muutus suurus psii äkki ja ühekorraga nulliks kogu ruumi ulatuses, välja arvatud langemispunkt. Elektroni lai lainepakett tõmbub kohe tillukeseks täpiks maandumispunkti kohal. Kvantmehhaanikas räägitaksegi nõnda: lainepakett koondus või lainepakett tõmbus kokku. Peaasi, et see toimus tõesti silmapilkselt.

Kas see ei vii teid segadusse?

Kujutlege, et Päike kustus. Me ei saa sellest teada sugugi samal hetkel, vaid üle kaheksa minuti hiljem, kui meieni jõuavad ja katkevad viimased Päikesest kiirgunud elektromagnetilised lained või valguskvandid. On tarvis aega, selleks et ruum neist «puhastuks»: nad levivad valguse kiirusega, piirmisega füüsikalistest kiirustest.

Aga lainepaketi silmapilkne kokkutõmbumine, elektroni teistesse plaadi punktidesse langemise tõenäosuste momentaanne kadumine, kui üks võimalus j u b a r e a l i s e e r u s, näitab, et ruum «puhastub» tõenäosuslainetest ilma ajakuluta — lõpmatu suure kiirusega. Mida see tähendab? Mis füüsikaline protsess see on, mis toimub kiiremini valguse levimisest?

Niisugune protsess on võimatu.

Või siis tuleb jätta hüvasti relatiivsusteooriaga.

Võib-olla kulub tõenäosuste lainepaketi kokkutõmbamiseks siiski aega, ehkki üsna vähe? Ent siis tuleb välja midagi hoopis mõttetut.

Elektron langes? Jah, langes j u b a. Tähendab, ta ei saa enam kuhugi langeda? Muidugi mitte. Aga kui tõenäosused kaovad järk-järgult, mitte silmapilkselt, siis peavad nad mõni aeg veel säilima? Loomulikult. Ja see tähendab, et elektronil on kogu selle aja kestel tõenäosus langeda ka teistesse kohtadesse, kuhu signaal tema j u b a toimunud langemisest pole v e e l jõudnud? Jah, nii see on. Ja mida kaugemal need teised kohad tegelikust maandumispaigast asuvad, seda kauem säilib seal tõenäosus, et langenud elektron võib maanduda ka mõnes nendest kohtadest...

Põrgulik segadus!

«Kuidas siis lahendada sellist paradoksi?» päris Einstein kvantmehhaanika loojailt 1927. aastal, kui Euroopa silmapaistvad füüsikud kogunesid Brüsselisse järjekordsele, viiendale Solvay kongressile arutama vastsündinud teaduse nurgelisi, veel silumata ideesid.

Vastas Niels Bohr.

Tal oleks raskeks läinud, kui ta oleks hetkekski möönnud, et psiilained on mateerialained. Tal poleks midagi olnud Einsteinile vastata, kui ta oleks väitnud, et elektroni lainelise tõenäosuste paketi avardumisega valgub osake ise ruumis laiali. Siis oleks elektroni langemine p'aadile — kuhu ta ka ei langeks! — tõepoolest pidanud viima kogu osakese laialivalgunud materiaalse olemuse s i l m a p i l k s e l e kokkutõmbumisele. Aga niisugune asi on võimatu, sellised füüsikalised protsessid mõeldamatud.

Kuid selles ongi kogu asi, et elektroni lainepaketi kokkutõmbumine ei ole füüsikaline protsess.

Mitte mingisugune mateeria ei paikne seejuures kuhugi ruumis ümber. Ja ei toimu mingit ruumi «puhastumist» mateerialainetest või psiikvantidest — neid pole olemas, sest ei eksisteeri mingit psiilaineisse kätketud energiat, nad pole üldse mateerialained. (Nagu planeedi orbiidid pole sugugi rõngad ruumis, mäletate?) Elektroni langemishetkel, kui ta tungib molekuli emulsiooni, algab tema eluloos uus etapp: kõik endised võimalused kaovad tema jaoks ja muidugi korraga, ent samal hetkel ilmuvad uued võimalused uutes tingimustes. Elektroni eluloo uus peatükk kannab nimetust «Elu emulsiooni molekulis». Ja uus tõenäosuste pakett jutustab perspektiividest, mis

ootavad seda molekuli elektronide, aatomituumade ja elektromagnetiliste väljade naabruses. See on uus, võrratult keerulisem ja segasem etapp meie elektroni elus kui vaba lend pilust plaadini.

Vasturääkivust relatiivsusteooriaga pole siin kusagil. Lainepaketi kokkutõmbumine, olgugi silmapilkne, ei ründa valguse kiirust kui füüsikaliste kiiruste piiri looduses.

... Muidugi formuleeris Einstein oma paradoksi teisiti. Ja Bohrgi harutas neid lahti teiste sõnadega. Ning jutustatud paradoksis olid peensused, mis siin vahele jäeti. Kuid meil oli tarvis kuulda kas või nõrka kaja neist kuulsaist lahinguist. Need kestsid hulk aastaid. Einstein mõtles välja järjest uusi väiteid Max Borni tõenäosuse hüpoteesi ja Heisenbergi määramatuste suhte vastu.

Just see paljukannatanud suhe sai 1927. aastal mikromaailma tõenäosusliku tõlgitsemise teoreetiliseks aluseks. Selgituseks piisab neljast sõnast: «Kus on määramatus, seal on tõenäosus!» Einstein ei nõustunud tunnistama ei üht ega teist.

Kui kahekümne kahe aastane Landau viibis 1930. aastal Saksamaal, nägi ta Einsteini. «Muidugi püüdsin ma omakorda veenda teda määramatuse printsiibis, kuid endastmõistetavalt ilma vähimagi eduta,» meenutas hiljuti Landau. «Hämmastav oli,» sõnas ta, «suurima geniaalsuse, ebatavalise mõttejulguse ja mingite konservatismi jäänuste paradoksaalne ühendus tolles inimeses.»

Einsteini diskussioonid Niels Bohriga jäid eredaks leheküljeks kaasaegses mikromaailma teaduse ajaloos. Üks vastane vääris teist: igale Einsteini löögile vastas Bohr niisama peenelt ja leidlikult, nagu hoop löödi. Ja kvantmehhaanika pidas vastu kõige võimsamale rünnakule, mis üldse võis tabada mõnd XX sajandi füüsikalist teooriat: kaasaegse Newtoni rünnakule.

Nähtavasti oli kvantmehhaanika poolt loodus.

KUUES PEATÜKK

- **Veel üks lahkumine.**
- **Kangist maailmahooneni.**
- **Kvantmehhaanika läheb tülli fatalismiga.**
- **Neljakümne neljandal aastal Visla taga ...**
- **See kõlab kui paradoks.**
- **Seaduspärane juhuslikkus.**
- **Kuulsal kongressil.**
- **Louis de Broglie' draama.**
- **Uudis pole just meeldiv.**
- **Vaadake, see on valge lipp!**
- **Kiiev, 1959. aasta suvi.**
- **Ajalugu läheb edasi.**

● See ongi see ammu tõotatud kuristikuserv, kuhu füüsikud jõudsid: mateeria sügavuses avanes neile tõenäosuste maailm, kus loodus igavesti «täringuid mängib».

Ei saa enam kahelda, et mikromaailm on just säärane. Kuid miks ei taha meie nagu Einsteingi uskuda, et ta säärane on? Liiga suurtena tunduvad ohvrid, mis tuleb tuua meie teadvusel ja meie loodusetajul tunnustuse nimel, et mikromaailm on just nimelt selline. Kuid kas need ohvrid ongi tegelikult nii suured? Kas siin pole endapetet? (Üldiselt öeldes, kui küsimusi esitatakse nii kahtlustäratavalt advokaatlikus vormis, on ette selge, et ohvrid pole muidugi eriti suured, endapete aga kindlasti on. Ikkagi tuleb selles veenduda.)

Need ohvrid kujutavad endast ainult lahkumist mõtte eelarvamustest, nendest «mugavatest» eksitustest, mis juurduvad inimpsühholoogias ja teaduslikes kujutlustes tänu meie teadmiste alatisele ajaloolisele piiratusele.

Selliseks eelarvamuseks osutus nii haritud kui harimata inimeste vanim veendumus, et aeg ja ruum on absoluutsed: ühtsed ja muutumatud kogu maailmaruumi jaoks. Ja alles siis, kui relatiivsusteooria sundis füüsikuid sellest veendumusest loobuma, märkasid kõik, et olid tunnustanud aja ja ruumi absoluutsust vähimagi füüsikalise tõendita. See oli usk. Füüsikud ja filosoofid rääkisid üksteisele sajandeid: «See on ju endastmõistetav, see on silmanähtav!» Aga selgus, et polnud absoluutselt mitte midagi silmanähtavat.

Kas tõesti maksab siis eelarvamusest vabanemist kaastundlikult ja kõlavalt «ohvriks» nimetada?

Ohver? Pigem vabanemine.

Kvantmehhaanika nõudis palju vabastavaid ohvreid. Ja kui te pole kunagi varem midagi kvantmehhaanikast lugenud, siis näib teile mõttetuna — lubamatuna! — peamine ohver, mida oli sellele sunnitud tooma inimese sajandite jooksul kujunenud loodusetaju. Ta sundis füüsikuid loobuma sajandite jooksul kujunenud põhjuslikkuse mõistmisest loodusnähtustes! Mitte põhjuslikkuse printsiibist endast, vaid vanast, klassikalisest kujutlusest selle sisust.

... Ühesugused füüsikalised tingimused tekitavad alati ühesuguseid füüsikalisi sündmusi.

... Kui täpselt korrata üht ja sama katset, annab see alati ühesuguse resultaadi.

Võib erinevalt formuleerida seda vankumatut klassikalise mehhaanika «määratuse printsiipi» — lühidalt või pikalt, rangelt või veidi vabamalt, väljendada seda sõnades või matemaatiliselt. Kuid näib, et ainult üks on võimatu: loobuda sellest ei saa.

Sirvige mälus juhtumeid kooliaastatest ... Kui palju ma ka püüdsin, ometi ei suutnud ma sealt leida mälestust füüsikatunnist, kus meie vana õpetaja oleks seletanud või küsinud põhjuse ja tagajärje seadust. Mõtlen, et vaevalt keegi teinegi midagi niisugust leiab. Me ei tundnud oma väheste eluaastate tõttu veel neid tarku sõnu «põhjus» ja «tagajärg», kuid teadsime juba, et nende vahel on alati kindel ühene seos. See oli teadmine, mida polnud tar-

vis koolis läbi võtta: see elas meis nimetuna, tunnetamatuna ja kindlana, nagu kõik «silmanähtav» ja «endastmõistetav». Ja märkamatult muutus see üheks meie füüsikalise maailmatunnetuse aluseks. Kogemused pole sellele kunagi vastu rääkinud. Aga koolimatemaatika muutis ta seaduseks. Kõigil ülesannetel oli alati üks õige või lubatud vastus. Isegi kui me võtsime läbi ruutvõrrandeid basseinide ja kraanide, kaupmeeste ja kangameetritega ning saime paberil paratamatult kaks vastust, sest ruutjuurel on vastikul kombel kaks võrdõiguslikku märki «+» ja «—», isegi siis tunnistati reeglina üks vastus mõttekaks, teine aga jäeti kõrvale (kaupmees ei võinud ju mõõta «minus viis meetrit» kangast).

Kuidas teadus ka ei süvenenud suure kogemuse maailma, kus liikuvad kehad on nii massiivsed, et nende lainekujulisus ei anna endast kunagi teada, alati jäi põhjuslikkuse lihtne seadus vankumatuks.

Isegi relatiivsusteooria ei kippunud sellele kallale.

Ehkki ta tegi kindlaks, et kõikide kehade mass muutub sõltuvalt nende kiirusest, oli relatiivsusteooria seaduste jaoks ükskõik, kas see mass on väike või suur. Tema jaoks on vahe ainult kvantitatiivne: täht on tema jaoks suur elektron, elektron aga väike täht. Midagi erilist mikromaailma väiksuses — väiksuses endas! — ta ei märganud. Ta tekkiski mitte kui teadus mikromaailmast, vaid kui aja ja ruumi füüsikaline teooria üldse. Tõsi, elementaarosakeste kaduvväikese massi tõttu peaksid relatiivsusteooria seadused olema eriti tähtsad mikrotegelikkuse uurimisel: seal on valguse kiirusele lähedased kiirused kergesti saavutatavad. Kuid need seadused pole tuletatud mikromaailma omadustest.

Aatomite ja elementaarosakeste väiksust kui looduse uute, varem tundmatute hämmastavate seaduspärasuste allikat märkas esmakordselt alles kvantmehhaanika. Ja see mehhaanika pidi lõpuks ründama vana põhjuslikkuse seadust, kuigi algul ei aimanud keegi, et asi nii kaugele võib minna.

Raskemat lahkumist endistest kujutlustest polnud füüsikud veel üle elanud. Ja võib täielikult uskuda akadeemik Landau sõnu:

«Relatiivsusteooriaga seotud psühholoogilised ebameeldivused,» sõnas ta 1960. aastal, meenutades vestluses kirjanikega 20—30-ndaid aastaid, «näisid füüsikuile päris

lapsemuredena, kui neil tuli omaks võtta kvantmehhaanika koos selle «metsikute» ideedega.»

Ja kõige «metsikum» idee oli muidugi loobumine põhjuslikkuse klassikalisest mõistmisest. Aga sellest hoiduda enam ei saanud: kogu avastuste ja järelduste astmestik viis paratamatult sinna. Seda on kohe näha, kui heita pilk seljataha.

... Kui massid on kaduvväikesed, on nende laineomadused reaalselt tajutavad.

... Kui laineomadused on reaalsed, pole tavalisi osakesi, pole trajektoore, tekivad määramatused.

... Aga kus on määramatused, seal on ka tõenäosused. Kus on tõenäosused, seal on juhus.

Noh, aga seal, kus on juhus, ei jää enam kohta lihtsale klassikalisele seosele põhjuse ja tagajärje vahel. Juhus on juhus, ta eksisteerib seepärast, et on külluses võimalikke vastuseid ühele ja samale küsimusele. Sellest ei vabane me enam mingite nõksudega.

Ei saa enam loota, et ühesugused tingimused tekitavad alati ühesuguseid sündmusi. Ja ei saa oodata, et ühe ja sama katse kordamine annab muutumatult ühe ja sama resultaadi. Elektronid, mis langesid läbi kitsa pilu ekraanile, demonstreerisid meile suurepäraselt, mis see tähendab. Langedes üksteise järel näiliselt täiesti samasugustes tingimustes, maandusid nad klassiku imestuseks fotoplaadile täiesti erinevais kohtades. Samal ajal aga polnud põhjust, miks ühele pidi tingimata «meeldima» punkt pilu vastas, teisele aga kuskil kõrval. Selliseid põhjusi polnud! Polnud mingeid erinevusi katsetingimustes ega vähimatki altvedamist.

«Kuid mingid põhjused pidid ju ikkagi olema. Mingid erinevused tingimustes eksisteerisid. Tuleb need ainult avastada ...» tahaks viibimatult väita.

Ja tahaks samas tuua näiteks teisi juhuslikke sündmusi, mille põhjusetus on näiline: oleks ainult oskust ja tahtmist nende käiku jälgida — ja see põhjusetus hajub illusioonina.

● Kõigis filosoofia õpikuis, kus on jutt juhuslikkusest ja paratamatusest, kukub alati möödujale pähe vana, klassikaline telliskivi.

«Vaesekesel ei vedanud!» räägivad teekäija sõbrad.

«Õnnetusjuhtum!» nõustuvad tohtrid.

Kuid klassikalise mehhaanika vaatepunktist polnud sündmuses midagi juhuslikku. Raudne põhjuste ja tagajärgede ahel tõi kannatanu just sel hetkel, mitte aga mõnel muul, sellele tänavale, mitte mõnele teisele, selle maja, mitte aga vastasmaja karniisi alla. Ning teine halastamatu põhjuste ja tagajärgede ahel raputas karniisi lahti selles kohas, mitte mõnes teises, ja sundis kukkuma just selle kivi, mitte aga tema naabri, sel minutil, mitte hetk varem... Ja järelikult pidid need kaks põhjuslikku rida lõikuma: kogu telliseks nimetatud osakeste ühenduse ajalugu ja kogu teekäija peaks nimetatud osakeste ühenduse ajalugu määrasid ette, et mingil hetkel asuvad see tellis ja see pea ühtelangevais ruumipunktides. Aga meie räägime — õnnetu juhus. Õnnetus küll. Kuid kus pesitseb siin juhus?

Algul viirastub veel, et tellise langemine on teekäija eluloo suhtes juhuslik: pole näha seost elava inimese biograafia ja mingil karniisil asuva kivi surnud olemise vahel.

Aga kui jälgida kumbagi neist sõltumatuist lugudest sammuvõrdki tagasi ja seejuures k o g u u l a t u s e s, siis ei jää nende sõltumatusest lõpuks jälgegi. Esimese sammu järel võib tagasi astuda teise, teise järel — kolmanda...

Laskume möödunud aegade sügavusse: inimene, kes põlvkondade lõputus vahelduses sünnitab õnnetu teekäija, lakkab olemast inimene ja ilmub meie ette algloomana. Ja tellis muutub esialgu saviks, siis aga kuskil lagunevate kivide hajuvil tolmuks. Veel kaugemale tagasi — ning teekäija ja tellise õigused võrdsustuvad: mõlemad on mingil väga algelisel arenemisastmel — oma eelajaloo hämaruses — ainult müriaadid veel molekulideks korrastumata aatomeid. Ja edasi, mateeria elementaarosakeste esmases segapudrus avaneb t ä i e l i k u l l ä b i u u r i m i s e l harmooniline kord: selgub, et iga osake liikus nii, aga mitte teisiti täpsete põhjuste tõttu: tema asukoht ja kiirus igal hetkel olid ainult teiste osakestega kokkupõrkamise pika ahela loomulik tagajärg. Kõik vastutasid kõigi eest. Ja aatom, mis leidis endale lõpuks koha õnnetu teekäija kuklas, oli kord ja jäi alatiseks aatomi naabriks, mis leidis endale peatuspaiga põletatud punasest savist tahukas. Kaugeks või lähedaseks naabriks — see pole üldse tähtis: ikkagi on iga aatom, iga osake kosmoses kunagi määranud kõigi ülejäänud aatomite ja osakeste liikumise. Aga kui

nad kunagi varem määrasid, siis määravad ka nüüd ja edaspidi.

Nii selgub mõttelise minevikureisi tulemusena, et tellise õnnetu kukkumine teekäija pähe oli mehhaaniliselt paratamatult põhjendatud juba tollal, kui polnud olemas veel ei Maad, Päikest ega meie Galaktikat, mitte midagi peale elementaarsete kerakeste kaose, mis alluvad Newtoni mehhaanika seadustele. Klassikalise mehhaanika despootlikult rangetele seadustele!

Need seadused on nii despootlikud ja nii universaalsed, et klassikalise mehhaanika vaatepunktist on isegi väljend «osakeste kaos» vale: igal hetkel on kaose korratus ainuvõimalik olek. Ja järelikult on see kord, kus pole kohta juhusel.

On midagi võrratut ja samal ajal rõhuvat selles halastamatult liigendatud looduspildis, mida klassikaline mehhaanika on sajandite kestel maalinud.

Ladina keeles «fatum», meil öeldakse «saatus». Kuid veel enne filosoofilise termini «fatalism» tekkimist, muistsest ajast peale, on vist küll kõigil rahvail olnud religioosne veendumus, et kõik on ette määratud nii üksikinimese kui kogu inimkonna elus: tulevik on kirjas «saatuseraamatus». Näis, et klassikaline mehhaanika andis kõige pöörasemale fatalismile kauaoodatud füüsikalise, rangelt teadusliku põhjenduse.

Kui mingil hetkel keegi Austraalias haigutas, Päikeselt paiskus välja protuberants, Omski kohal sähvis välk, teil aga hakkas igav lugeda seda lehekülge, siis ärge mõelge, et nende sündmuste silmanähtavas eraldatuses pole märgata «saatuse tahet». Vastavalt klassikalise mehhaanika fatalistlikule tõlgendamisele on see siiski võimalik! Ja mõni kõikteadja tarkpea oleks võinud seda täpselt ennustada juba iidama-aadama ajal.

Te ütlete: «Sonimine!» Ja ütlete õigesti, kuid mitte järjekindlalt.

Miks siis sonimine, kui te kindlalt usute klassikalist põhjuslikkust ja peate lubamatuks sellest lahti öelda? Miks on see sonimine, kui olete veendunud, et loodus teab täpselt, miks üks elektron kukub ekraani pilu vastu, teine aga kuhugi kõrvale? Kui te olete nii kindlalt veendunud, et loodusel on selleks täpsed, ühesed alused, siis pole teil loogiliselt õigust vastu vaielda mõttele, et üldse kõik on varem ette määratud!

Klassikalise mehhaanika seisukohast oli matemaatikatargal praegu teie akna taga sadava vihma ennustamiseks tarvis teada ainult üht: erandituit kõigi kehade koordinaatide ja impulsside väärtusi mõnel ajahetkel. Siis arvutaks ta Newtoni mehhaanika seaduste järgi välja kõik tulevased sündmused, millest kehad aja jooksul osa peavad võtma. Ja ennustatud sündmuste nimestikku satuksid paratamatult ka austraallase nohu ning praegune vihmasabin teie akna taga... Kuulus matemaatik Laplace, Prantsuse revolutsiooni ja Napoleoni sõdade kaasaegne, oli sügavalt veendunud klassikalise mehhaanika sellises põhimõttelises võimsuses.

«Andke mulle toetuspunkt ja ma pööran maakera ümber!» ähvardas kunagi Arhimedes suurejoonelise ja lõbusa jultumusega, teades, et keegi talle toetuspunkti anda ei saa.

«Andke mulle kõigi kehade koordinaadid ja kiirused ning ma arvutan välja maailmaruumi saatuse!» umbes nii tõotas kaks tuhat aastat hiljem Laplace, teades, et keegi ei suuda tema palvet täita kas või maailma lõpmatuse tõttu.

Neis kahes eelduses näeme klassikalise mehhaanika peadpööritavat kasvu: kangi teooriast kuni maailmaehituse süsteemini.

Arhimedes rääkis ainult insenerina, Laplace juba filosoofina. Tõelise teadlasena eeldas kumbki, et ta ei ületa oma teaduse õigusi. Kuid Laplace laiendas neid õigusi piiramatult (lõpmatust muidugi ületada ei saa). See aga oli juba filosoofiline omavoli: ta poleks saanud t õ e s t a d a, et mehhaanika seadused määravad looduse kogu mitmekesisuse. Niisugust asja võis ainult kuulutada, lootes, et tulevik seda kunagi ümber ei lükka. Kuid tulevik ei osutunud nii leplikuks, nagu oleksid tahtnud Laplace ja tema pooldajad.

Algul näitas dialektiline materialism, et klassikalise mehhaanika seadustest ei piisa materia liikumise lõpmatult mitmekesiste vormide seletamiseks. Pärastpoole lisandus Laplace'i fatalismi filosoofilisele kriitikale puhtfüüsikaline kriitika. Viimase hoobi andis sellele teooriale, mis nii väga meenutab muistseid julmi usundeid, meie päevade kvantmehhaanika.

Kas see pole selge pärast kõike, mis me tema avastustest teada oleme saanud?

Millisesse rumalasse olukorda satuks iidama-aadama-

aegne arvutark, isegi kui ta käsutuses oleksid parimad kaasaegsed tuumalaboratooriumid ja elektronarvutusjaamad!

«Andke mulle nende osakeste koordinaatide ja kiiruste absoluutselt täpsed väärtused,» osutaks ta võimukalt sõrmega.

Ega saaks vastust! Määramatuse printsiip oma «ebatäpsuste kambriga» saaks juba esimesest hetkest tolle lihtsameelse targa needuseks. Ta veenduks, et lihtsalt ei ole võimalik saada neid algseid lähteandmeid, mida nõuavad klassikalise mehhaanika võrrandid.

Neid andmeid loodusel pole.

Aga koordinaatide ja kiiruste tõenäoste väärtustega pole temal, kes tavatseb teha absoluutselt täpseid ennustusi, midagi peale hakata.

Arhimedese ennustus oli ainult makroskoopiline (Maa, kang). See ei puutunud mikromaailma seadusi ja oli seepärast põhimõtteliselt täidetav, jäädes ainult tehniliselt kättesaamatuks.

Laplace'i tõotus tungis tahtmatult mikrotegelikkuse korraldusse (andke mulle andmed kõigi osakeste kohta). Ja olles füüsikaliselt teostamatu, oli ta ka filosoofiliselt mõttetu.

Kuid tõesti, ainuüksi vabanemiseks Laplace'i fatalismist — sellest rõhuvast mõttest, et kõik maailmas, eranditult kõik, oli alati niisugune, nagu pidigi igivanast ajast olema, ja eranditult kõik saab olema nii, nagu on igivanast ajast ette määratud, ainuüksi sellest mehhaanilise saatuse surnud haardest vabanemiseks tasus tõesti hüvasti jätta klassikalise kujutlusega põhjuslikkuse halastamatust ühesusest looduses!

● Laplace'i fatalismil on teinegi nimetus — mehhanistlik determinism. Selles filosoofilises terminis on suurepärane nimisõna ja vastik täiend.

Omadussõna teke on ilmne: selles on süüdi Newtoni mehhaanika, mis võttis oma ülbuses pähe, et ta valdab absoluutset tõde — kõigi looduse salakambrite võtmeid.

Ladina verb «determinare» (määrama või tingima) pani aluse mõistele determinism. Maailmahoone suhtes rakendatuna väljendab see mõiste kõige üldisemat filosoofilist veendumust, et loodus on seaduspärane.

Milline on siis looduse seaduspära?

Seda filosoofia ei lahenda.

Siin võtab sõna loodusteadus.

Muidugi on materialistlikus dialektikas determinismi — asjade seaduspärase käigu mõiste üks peamisi.

Kuid dialektika poleks ammendav teadus, vaid erapooolik ning keelekandja lapsehoidja mõne ajutiselt valitseva suuruse, mingi üheainsa füüsikalise teooria juures, kui ta tunnistaks täievolilisteks ainult üht tüüpi seaduspärasused.

Selliseks klassikalise mehhaanika lapsehoidjaks sai omal ajal mehhanistlik filosoofia. Tema see panigi njuutonlaste pead ringi käima.

Kuid dialektiline determinism, tõeline, marksistlik, leninlik, dogmadest ja ketserlusehirmust moonutamata, ei saa eelistada üht füüsikaseaduste vormi ja keelduda teiste õigsust tunnistamast: ta on selle vastu, et sundida loodusele peale inimeste poolt välja mõeldud kitsendusi. Oleksid need seadused ainult tõepoolest füüsikalised, mitte aga laest võetud! Dialektika naerab teadlaste eneseusalduse üle, kui nad arvavad, et nende valemeisse mahub kogu looduse mitmekesisus. Dialektika eeldab, et füüsikute teadmised jäävad alati piiratuks ja maailmaruumil on kogu aeg varuks midagi uut ja ennekuulmatut.

Selles dialektilise determinismi laias haardes peitub ka tema ümberlükkamatus.

Sel on niisamasugune haare nagu mateeria filosoofilisel määratlusel. «Objektiivne reaalsus, mis ei sõltu oma olemises meie meeltest ega meie teadvusest.» Kujutlege siis veidrikku, kes teie tuppa tormab ja kuulutab: «Kas kuulsite: on avastatud elementaarosake, mis lükkab oma omadustega ümber mateeria filosoofilise määrangu!» Ärge pärige, millises laboratooriumis nii sensatsiooniline avastus tehti, ärge tembeldage veidrikku idealistiks, paluge ainult selgitada, mida tema lause tähendab, ja siis selgub minuti pärast, et ta ei saa sellest aru. Mõttetust on tõepoolest üsna raske mõista.

Füüsikalised seaduspärasused, mis suudaksid kõigutada dialektilist determinismi, on niisamasugune müüt kui elementaarosake, mis lükkaks ümber filosoofilise kujutluse mateeriast. Et sellist kangelastegu sooritada, peaks neil kujutletavail seaduspärasustel olema üleloomulik omadus: mitte olla looduse seaduspärasused!

Kvantmehhaanika läks tülli mehhanistliku determinismiga, kuid mitte determinismiga üldse.

Ta näitas, et klassikaline mehhaanika on determinismi eri-, ehk nagu füüsikud ütlevad, piirjuhus: vanad liikumisseadused tulenevad ise uutest, kui jätta tähele panemata masside laineomadused.

Plancki konstanti, kaduvväikest mõjukvanti, murdarvu kahekümne seitsme nulliga nimetajas, võib pidada nulliks, kui vaadeldakse suuremastaabilisi füüsikalisi sündmusi.

Kas ei tohi lugeda kaalutuks liivatera, mis on kleepunud TU-104 šassii külge? Muidugi ei kao tema tegelik kaal seetõttu, et me seda arvesse ei võta. Kuid terake ei saa osutada mingit reaalset mõju lennuki liikumisele ja seepärast on ka kõige ettevaatlikumal inseneril õigus pidada tema massi võrdseks nulliga, see tähendab teha nägu, nagu poleks liivatera maa peal olemaski.

Klassikalise mehhaanika seadused tulenevad automaatselt kvantvalemeist, kui uuritavate nähtuste mastaap võimaldab füüsikuil tõde kahjustamata eeldada, et kuulus *h* võrdub nulliga.

Kas tahate veenduda? Siis võtke vaevaks mõelda, mis muutuks looduses, kui Plancki maailmakonstant võrduks tõepoolest nulliga.

Mõõtmistel oleks printsipiaalselt igasugune täpsus võimalik: mõõdetava süsteemi vastussignaal, mis ei saa olla väiksem mõjukvandist, võiks muutuda kuitahes väikeseks, sest piirjuhul oleks ta võrdne nulliga.

Poleks mõtet rääkida mingist minimaalsestki «ebatäpsuste kambrist»: selle pindala määrab mõjukvandi suurus ja kui *h* võrduks nulliga, siis muutuks ka meie kambri pindala nulliks. Siis aga ei takistaks miski tema laiust ja pikkust korraga nulliks muutumast: määramatused osakese koordinaadis ja kiiruses oleksid kõrvaldatavad. Heisenbergi suhe kaotaks igasuguse tähenduse: iga keha võiks igal ajahetkel omada täiesti täpset koordinaati ja täpset kiirust. Teiste sõnadega, kehad liiguksid alati ja kõikjal mööda kindlaid trajektoore. Kvantseadused ei erineks mitte millegi poolest klassikalistest. Niiviisi lugu just ongi, kui füüsikanähtuste suur mastaap lubab teadlastel sulgeda silmad niisuguse pisiasja olemasolu ees nagu Plancki konstant.

Mikromaailmast väljaspool langeb iseendast ära praktiline vajadus kvantfüüsika metsikute ideede järele. Ja see on parim viis määrata piiri mikro- ja makromaailma

vahel. Piir ise on ju tinglik: selle tõmbab teadus, mitte aga loodus. Loodus on ühtne ja ehkki me oma eesmärgi saavutamiseks väldime tema peenimaid finesse, ometi ei kao nad seepärast reaalsest tegelikkusest. Maailmaruumis on nähtavasti kõik võrdselt oluline.

Kõik füüsikalised teooriad on ainult lähenemine reaalsuse keerulisele korraldusele. Ja silmanähtavalt on kvantmehhaanika peenem lähenemine kui klassikaline.

Peenem ja sügavam.

Seepärast ka tõesem.

Ning isegi ilusam.

Seda väidab nii väljapaistev teoreetik nagu Paul Dirac. «Klassikalise mehhaanika põhiideed ja nende ideede rakendamist juhtivad seadused,» kirjutas ta, «moodustavad lihtsa elegantse skeemi. Näib, et seda pole võimalik parandada tema meeldivust kaotamata. Siiski osutus võimalikuks kohaldada uut, kvantmehhaanikaks nimetatud skeemi, mis on sobivam aatomimastaabis nähtuste kirjeldamiseks ja . . . teatud mõttes veel elegantsem ning pakub rohkem rahuldust kui klassikaline skeem.» Dirac unustas ainult lisada, et skeem on just seepärast «elegantsem», et «pakub rohkem rahuldust». (Muide, pole õige öelda «unustas». Dirac mõtles just vastupidist. Pidades kord avalikku loengut Moskvas, Polütehnilises Muuseumis, väitis ta hämmastunud auditooriumile, et just füüsikalise teooria ilu tuleb pidada tema tõesuse kriteeriumiks. Mitte tõe sünnitiseks, vaid tema kriteeriumiks! Kahjuks ei selgitanud Dirac, miks ta nii arvab.)

Niisiis, tõenäosused, juhuse seadused, statistilised seadused mateeria sisemuses! See on võib-olla kaasaegse füüsika väärtuslikem avastus. Mis siin siis hirmsat on? Tõesti, mitte midagi.

Ainult et teadus mikromaailmast avastas midagi sellist, mida keegi ei oodanud: selgus, et tõenäosuslikud seaduspärasused on üldisem ja peenem looduse seaduspärasuste tüüp kui see, millega uurijail on tegemist «suure kogemuse» maailmas ja mis on tekitanud klassikalise kujutluse lihtsast põhjuslikkusest.

Ongi kõik!

● Kui sageli oleme eelnevail lehekülgedel kohanud rahustavat hüüatust — «ongi kõik!» Ent ei maksa mõelda, et selle taga peitub ainult autori lihtne võte lugeja lohu-

tamiseks raskeil teelõikudel. («Vaata, kui kergesti me mäkke tõusime, aga sina kartsid!») Ei, see pole üksnes lohutus. Tõusudest saab tõepoolest üsna kergesti jagu, kui ainult heita kõrvale meie igivana loogikaharjumuse koorem — selgitada uut vana abil.

Mulle meenub siinkohal üks väike lugu rindeaegadest, lõbus ja üsnagi asjakohane, nagu näib.

Kord Visla taga, 1944. aastal, võtsid suurtükiväelased vangi allatulistatud hitlerliku ässa. Staabi muldonnis olid laual relvad, dokumendid ja vangivõetu varustus. Selle varanduse keskel köitis kellegi tähelepanu ebatavaline käekell, millel polnud nuppu vedru üleskeeramiseks.

«Mis põrgut see tähendab,» küsis keegi, «seda ei saa ju üles keerata? Mõni nupumees on viguri välja mõtelnud!» Kuid kvaliteedi eest vastutas märk: «Valmistatud Šveitsis.» Kell tiksus korralikult, järelikult sai teda kuidagi ikka üles keerata. Ja välja nägi ta nagu hinnaline lelu (ässa tasku järgi). Me hakkasime kohe vaidlema arusaamatu mehhanismi üle. Tahtsime tagakaant avada, kuid see oli kõvasti kinni kruvitud, käsitsi polnud midagi peale hakata. Saadeti sidemeeste juurde sobiva tööriista järele. Vaidlus aga jätkus ...

Kõik esitatud hüpoteesid ei ole enam meeles. Kuid mäletan, et enamus kaldus ühe ja sama idee eri variantide poole: šveitslased on õppinud tegema nii peeni vedrusid, et kell keeratakse üles nähtavasti korraga kuuks, aastaks, kümneks aastaks, seejärel avatakse ja keeratakse uuesti üles — seestpoolt. Keegi täiendas üldist ideed, öeldes, et vedru keeratakse üles väljastpoolt magneti abil. Isegi see paistis täiesti tõenäosena. Ühesõnaga, peidetud mehhanismi tõlgitseti igati vanaviisi. Ja pandi naeruks üks prohvet, kes lihtsameelselt oletas, et kell «keerab end ise üles»! Tehniliselt ta oma mõtet põhjendada ei suutnud, ütles ainult: «Tuleks mõelda, kuidas ...»

Mäletan seda põletavat teoreetilist vaidlust mõistatusliku tühise asjakese ümber: nagu erinevatest usulahkudest sektandid solvasime ja alandasime üksteist erakordse leidlikkusega. Ja ainult seda, kes ütles «keerab end ise üles», nimetati rahuarmastavalt ja üksmeelselt õndsakeseks, müstikuks, papiks, idealistiks, iseõppinud teravmeelitsejaks ... Pärast aga unustati.

Teda ei meenutatud ka siis, kui sidemehed avasid kella. Ometi nägid kõik piklikku balanssiiri üleskeeramisvedru

teljel ja mõistsid: kui inimene liigutab kätt, langeb balanssiir vabalt ja keerab igal langemisel vedru pisut edasi — kell keerab end aeg-ajalt ise üles.

Väljanaerdud prohvet tähendas ebakindlalt:

«Ma ju ütlesin, et ise . . .»

Teda katkestati:

«Kuidas «ise»! Aga balanssiir?»

Ta ei osanud vastu vaielda. Aga oleks võinud! Ta oleks võinud öelda, et me pole ausad vaidlejad, kui määrime talle kaela mõtte, nagu käiks kell «pühast vaimust». Mitte seda polnud ta mõelnud, vaid ainult seda, et kellavedru tavalise üleskeeramise asemel on siin kasutatud mingit uut põhimõtet. Ta oleks võinud meid rünnata ja meie mõtterutiini paljastada:

«Te mõtlesite välja igasugust jama, nagu lõpmatu vedru, mis peab vastu kümme aastat, et ainult säilitada oma harjunud kujutlust kella pideva käigu põhjustest. Teil ei tulnud pähegi, et täppismehhanismi korrapärane, rangelt põhjuslik töö võib sõltuda nii ebakindlast asjast kui juhus! Muidugi, kellaomaniku käeliigutused on ainult võimalikud, mitte aga paratamatud sündmused, ning kellamehhanismiga pole nad mingil viisil seotud. Seepärast võibki öelda: kella keerab üles juhus! Ja sellest hoolimata käib kell suurepäraselt ega jää seisma. Siin avaldab mõju tõenäosuse seadus, mille järgi võib oodata, et järjekordne käeliigutus saabub enne, kui vedru on jõudnud maha käia. Teie targutasite vanaviisi, aga kaane all oli imelihtne seadeldis, ainult mitte selline, nagu kujutlus teile maalis . . .»

Seda tiraadi ta ei lausunud ning me ei jäänud häbisse. Kuid nagu näete, jäi lugu meelde ja seda läks juhuslikult isegi tarvis. (Ausõna, see meenutab millegagi väga tänapäeva vaidlusi kvantmehhaanika põhimõtete üle.)

Klassikalise põhjuslikkuse vaatevinklist on kogu loodus igaveseks ajaks üles keeratud lõpmatu vedruga kell: see klassikaline loodus ei vajanud juhuse abi. Ent mikromaailm ilmus meie sajandi füüsikute ette kui suurepäraselt käiv kell ilma üleskeeramisnuputa. Oli tarvis lahendada probleem: kuidas seda üles keeratakse. Ja kui teoreetikud koos eksperimentaatoritega leidsid «sobiva instrumendi» mõistatusliku mehhanismi kaane avamiseks, leidsid nad, et selle sisemuses, mateeria sügavuses, pole alatiseks üleskeeratud lõputut vedru. Piltlikult öeldes, nad

avastasid, et klassikalise põhjuslikkuse mehhanismi keerab üles j u h u s!

Te tunnete ise, kui raske oli niisuguse asjaga nõustuda. Ja kõikjalt kostis hääli: «Aga balanssiir?»

Teiste sõnadega, juba ilma piltliku mõistukõneta: igalt poolt hakati tegema katseid seletada juhuse enda tööd vana klassikalise põhjuslikkuse abil. See oli püüd vabastada looduspilt iga hinna eest tõenäosusseadustest, just nagu oleksid need põhjuslikest halvemad, just nagu oleks Laplace'i fatalism a r u s a a d a v a m määramatuse printsiibist. See oli soov teha jälle nii, et juhus muutuks «eimiskiks».

Muidugi on püüded uut vanaviisi seletada alati meelitavad: nad tõotavad kerget arusaamist arusaamatust. Häda on ainult selles, et kui niisugused katsed on edukad, jõuavad teadlased veendumusele, et uus polegi uus! Sest kui see tuleneb loogiliselt vanast, siis pidi ta selles juba enne sisalduma. On asi aga põhimõtteliselt uus, see tähendab, kajastab senitundmatuid loodusseadusi, siis on vanade võtmete otsimine selle jaoks sihitu mõttevaev. Midagi ei tule välja.

Ja siiski on tihti traagiliselt raske reetlikust kiusatusest vabaneda. Isegi suurtel mõistustel pole see alati õnnestunud ega õnnestugi. Aga niisuguste võimatute seletuste otsingud on eriti piinarikkad siis, kui uus teadmine sisaldub üksikjuhusena vanas. Siis sarnanevad need ime otsingutega: kuidas anda orkestri kõla edasi ühe sarve helidega? . . . Ja juhtub, et seni, kui uurijad jõuavad veendumusele oma jõupingutuste viljatuses, mööduvad aastad. Isegi aastakümned. Möödub elu nagu Einsteinil, kes polnud nõus kvantmehhaanika tõenäosusliku tõlgendusega.

Siin näeme jällegi sedasama i d e e d e d r a a m a t.

Kuid kas pole naljakas: nii lihtne ja vastuvaidlematu on üldine väide — «uus ei mahu vanasse» —, aga mitmed meie aja suurepärased teadlased just nagu ei teaks seda! Kas meie oleme siis targad ja nemad veidrikud? Vähe usutav oletus, eks?

Jääb üle katsuda tabada, mis mõte on lootusel pöörduda tagasi vana tüüpi klassikalis-põhjuslike seaduspärasuste juurde.

● Küll oleks hea, kui lugu oleks niiviisi.

Juhus on kapriisne tegelane, tõenäosused — ebakindel asi, kvantmehhaanikale ei saa tugineda, tema arvestused ja ennustused võivad äkki alt vedada. Seepärast asugem otsima teisi mikromaailma seadusi, laitmatult täpseid, selliseid, et juhuse vaheleastumine ei ähvardaks meil kaarte segi lüüa.

Väärib tähelepanu, et lootusi «täpsete» liikumisseaduste juurde tagasipöördumisest pole keegi ega kunagi seostanud mõttega kvantmehhaanika n i i s u g u s e s t parandamisest. Ta pole seda vajanud. Füüsikud nägid kohe, et tema peale võib kindel olla: pidage meeles — ligikaudu tuhat tööd kvantmehhaanikast tema eksisteerimise kahe esimese aasta jooksul! Ta tõestas hiilgavalt oma tõesust ja töökõlblikkust. Ta tõestas, et avastatud «ebatäpsed seadused» on täpsuselt palju laitmatumad klassikalise mehhaanika täpsetest seadustest.

See kõlab paradoksina, aga klassikaliste seaduste ligikaudsus seisis just nende absoluutses täpsuses. Nad kirjutasid loodusele juurde seda, mida seal ei ole. Klassikalise põhjuslikkuse seadused just nagu «parandaksid loodust» — korrigeerivad tema suurt hooletust, kuna ta pole ise üldse selle eest muretsenud, et igasugused sündmused toimuksid eelnevalt alatiseks kindlaksmääratud korra järgi. Asjaolu, et teadus loodust «parandab», näitab mitte teadmise tõesust, vaid piiratust.

Varustanud osakesed laineomadustega, andis loodus neile terve spektritäie võimalusi. Aga klassikaline mehhaanika sundis kõiki kehi alati mööda pillikeelt kõndima. Seaduste täpsus oli väga mugav: see võimaldab teadlastel ü h e s e l t ennustada mehhaaniliste süsteemide käitumist. Kuid, nagu märkis elektroni esmaavastaja J. J. Thomson, «ei tohi arvata, et kosmos on ehitatud matemaatikute suurima mugavuse printsiibil». Klassikaliste seaduste absoluutne matemaatiline täpsus muutus nende füüsikaliseks ebatäpsuseks.

See vedaski alt klassikalist ühetähenduslikku põhjuslikkust, kui ta püüdis oma despotismi laiendada mikromaailmale, kus osakeste laineomadusi ei saanud karistamatult kahe silma vahele jätta.

... Vastavalt vanadele «täpsetele» seadustele oleks radioaktiivsete tuumade, näiteks uraani alfalagunemine võimatu. Pole tähtis, kuidas raskes uraani tuumas moo-

dustub kerge heeliumi tuum — alfaosake. Tähtis on, et seda alfaosakest hoiavad uraanituumas hiiglasuured tuuma külgetõmbejõud. Need on palju võimsamad elektrilistest tõukejõududest, mis püüavad alfaosakest välja tõugata. Tuum on ümbritsetud just nagu barjääriga, füüsikud nimetavad seda potentsiaalbarjääriks. Sellest läbi murda on raske: ta on kõrge. Tarvis on suurt liikumisenergiat. Uurides alfalagunemist, jõudsid füüsikud veendumusele, et leiab aset ebatavaline situatsioon: vabadusse tungivate osakeste energia oli palju madalam potentsiaalbarjääri kõrgusest. Kuidas õnnestub alfaosakestel sooritada võimatut? Klassikaliste seaduste ülirangete eeskirjade järgi oleks iga alfaosake pidanud ainult võnkuma tuuma piirides ilma vähimagi perspektiivita sealt lahkuda, kuni sinna, — võib-olla mõnest välisallikast — ei voola vajalikku energiat. Samal ajal lagunevad uraani tuumad, millal ise tahavad.

Kvantmehhaanika seletas seletamatut. Määramatuse printsiibi alusel tõestas ta, et alfaosakesel on alati võimalus just nagu kogemata teisele poole barjääri sattuda. Ainult selle klassikaliselt seaduspäratu sündmuse tõenäosus on väga väike. Nii väike, et uraanituuma keskmist eluiga — õnnelikku elu kuni alfalagunemiseni — mõõdetakse kujutlematult pika ajavahemiku — ligikaudu 6,5 miljardi aastaga. (Seepärast, ehkki uraanimaagi lademeis mõni aatom aeg-ajalt laguneb, pole maak maakoorest veel kadunud. Maa iga on kaasaja geoloogide hinnangute järgi 4—5 miljardit aastat, see jääb ikkagi lühemaks uraani keskmisest elueast.)

Alfaosakese tungimine potentsiaalbarjääri taha sai nime «läbiimbumine», aga kogu seda kummalist nähtust hakkasid füüsikud nimetama «tunnelefektiks»: osake ei ületa barjääri ülalt, sest ta energia on selleks liiga väike, vaid just nagu kaevab tunneli tuumast vabadusse.

Nendes kujukates väljendustes — läbiimbumine ja tunnel — kajastub füüsikute igavene igatsus konkreetsete piltide järele. Kangesti tahaks kujutleda alfamutti, kes kulutab keskmiselt kuus ja pool miljardit aastat tunneli uuristamiseks uraani tuuma ümbritsevasse mägisesse barjääri. Meid peaks lohutama, et selliseid kujundeid mõtlevad välja kõrgelaubalised teoreetikud ise.

Ega te pole veel unustanud Landau tunnistust, et füüsikute teadvus töötab tänapäeval sfäärides, kus kujutlus

ei saa neile mingit abi osutada? Kuid näete: ikkagi otsivad nad temalt abi. Teoreetikute matemaatilisel mõttel, niisamuti nagu meie tagasihoidlikumal mõttelgi, pole eriti mugav elada ainuüksi mittekujutletavate abstraktsioonide keskel. Maksab veel kord meenutada, kuidas Einstein kirjas de Broglie'le kõneles «vastikutest kvantidest». Võib-olla seepärast kutsuvadki teoreetikud aeg-ajalt endale appi luulet: see toob nende pilvedetaguse mõtte tagasi meie maisesse klassikalispõhjuslikku maailma, kus on tarvis tõepoolest samm-sammu järel tunnelit raiuda, et saada teisele poole mäge. Neid, nagu meidki, aitavad kujundid arusaamatust selgemalt aru saada. Kuid meie peame nagu nemadki endale aru andma, et need kujundid jäävad ainult kujunditeks. Linnuteel pole midagi tegemist lindudega ja pealegi pole ta tee, ning alfaosake ei kaeva miljardite aastate kestel mingisugust tunnelit.

Need miljardid aastad uraanituuma rahulikku keskmist eluiga kõnelevad ainult sellest, kui haruldane on alfalagunemine — kui harva kõigist võimalikest alfaosakeste liikumistest realiseeruvad need, mis viivad ta väljapoole tuumajõudude barjääri.

Aga ehkki harva, teostub see siiski!

«Harva» ja «ei iialgi» vahel on tohutu erinevus.

Klassikaline põhjuslikkus ütles alfalagunemisele: «Ei kunagi.» Nii nagu kõigele muule maailmas, ei lubanud ta ka alfaosakesele võimaluste üliküllust, vaid tunnistas seaduslikuks ainult ühe, selle, mille realiseerimine on sajaprotsendiliselt võimalik: tõepoolest, kui alfaosakese energia juba enne ületaks barjääri kõrguse, siis lahkuks ta muidugi kohe tuumast. Sellist alfalagunemist lubaks klassikaline põhjuslikkus armulikult. Ainult et uraani tuumadele niisugust luba enam vaja ei oleks: neid lihtsalt ei eksisteerikski, nad laguneksid silmapilkselt.

Sajaprotsendiline tõenäosus — see on sündmuse täielik tõesus. See on puujumal, keda kummardab klassikaline põhjuslikkus. Loodus aga ei austa puujumalat sugugi.

Ja kvantmehhaanika osutus füüsikaliselt palju täpsemaks teaduseks kui tema eelkäija. Nii täpseks, et näiteks alfalagunemise teoorias seostas ta väljalendavate alfaosakeste energia laitmatult radioaktiivsete elementide keskmise elueaga. Niihästi see energia kui ka keskmine eluiga olid ammu enne kvantmehhaanika ilmumist katseliselt kindlaks tehtud. Kuid teadlaste koostatud tabelite ja

laboratooriumides joonistatud kõverate mõte jäi mõistatuseks, kuni mikromehhaanika tõenäosuslikud seadused lahenduse leidsid.

● Võib näida arusaamatuna, kust pärineb üldse mingisugune ennustuste täpsus seal, kus valitseb juhus? Ja tõepoolest, kui oodatav sündmus pole ainuvõimalik, kui see pole sajaprotsendiliselt tõenäone, siis võib see juhtuda, aga võib ka mitte juhtuda.

Kui eksperimentaator suudaks jälgida ühe ergastatud naatriumi aatomi kiirgust, siis ei oleks ta tingimata «kollase kvandi» väljakiirgamise tunnistajaks. Tema silme ees võiks realiseeruda ka mõni teine võimalus, sest teistegi energiaportsjonite kiirgumiseks on siin oma tõenäosus: lubatud energianivoosid on palju ja on võimalikud mitmesugused kvanthüpped ühelt nivoolt teisele. Ainult üks on kindel — kiiratakse välja mõni naatriumi jaoks võimalikest kvantidest. Ent teoreetik ei hakkaks kinnitama, missuguse kvandi kiirgab välja just s e e aatom s e l l e s katses. Kus on siin ennustuse matemaatiline täpsus?

Seda pole tõepoolest olemas, kuid selles, et teda pole, peitubki ülim füüsikaline täpsus. See kajastab täpselt nähtust, mis toimub looduses, mitte aga paberil. Seda kinnitavad katsed: me ju nägime, kuidas ühesugustes tingimustes läbi ühe ja sama kitsa pilu ekraanis langevad elektronid maanduvad fotoplaadil mitte ühes kohas, vaid erinevais piirkondades. Klassikalise põhjuslikkuse seisukohalt käsitamatu fakt, kuid sellest hoolimata fakt! Kas ei valitse mikromaailmas äkki omavoli? Ei. Ehkki seal valitseb juhuslikkus, omavoli seal ei esine. Juhuslikkus allub oma distsipliinile. Ja seepärast on kvantmehhaanika ennustustel ka oma suurim matemaatiline täpsus.

... Igas naatriumispektris on kõige heledam ikkagi kollane joon, mitte mõni teine.

... Kõigis uraanimaagi lademeis teeb võrdsete ajavahemike kestel ühesugune osa uraani aatomeid läbi alfalagunemise ja uraanituumade keskmine eluiga — $2{,}04 \cdot 10^{17}$ sekundit ehk 6,5 miljardit aastat — on kõikjal ühesugune.

... Läbi kitsa pilu lendavate elektronide voog joonistab plaadile selge lainete difraktsioonipildi ega lange kuhu juhtub.

Asi on selles, et osakeste korpuskulaar- ja laineomadused on seotud kindlate seaduspärasustega. Iga võimaluse

jaoks igas mikronähtuses tekib o m a realiseerumistõenäosus. Ja et juhus võib hästi töötada juhul, kui kiirgavad korraga triljonid ergastatud aatomid, kui alfalagunemise perspektiiv on korraga käes triljoneil triljoneil ebapüsivail tuumadel, kui plaadi poole suundub läbi pilu lugematu hulk osakesi, siis jõuab iga šanss täituda ja resultaadina muutub iga võimalus tegelikkuseks oma statistiliselt seaduspärasel määral.

Siin on eriti kohane meenutada Marxi toredaid sõnu paratamatusest, mis murrab endale teed läbi juhuslikkuste hulga!

Looduse poolt lubatud — võimalike — mikromaailma sündmuste tõenäosused murravad endale teed läbi juhuslikkuste kogumi. Tõenäosuste seaduspärasele jaotusele allub lõppude lõpuks ka juhus. See on see paratamatus, mis asendab mikromaailmas klassikalist, ühest põhjuslikkust.

Kvantmehhaanika annab oma ennustustes need t õ e n ä o s u s t e s e a d u s p ä r a s e d j a o t u s e d. Ta annab need täieliku ja range matemaatilise täpsusega.

Võib-olla on ennustuste õigsuse kõige veenvamaks näiteks, mis peaks rahuldama iga inimest, tuumaelektrijaamade häireteta töö. Tänu tõenäosuslike arvutuste suurele täpsusele on füüsikud õppinud juhtima uraani ja tooriumi aatomite pooldumise stiihiliselt juhuslikku ja ähvardavalt kohutavat protsessi. Tuumareaktorid on sisuliselt kvantmehhaanilised masinad, mis toodavad tuumaenergiat.

Ei, ei, füüsikud, kes on unistanud ja unistavad tagasipöördumist vana, ühese põhjuslikkuse juurde, pole kunagi väljendanud rahulolematust kvantseaduste üle nende «ebatäpsuse» pärast. Pole põhjust olnud! Ja nad pole mõelnud kvantfüüsika ümberlükkamisest! See oleks olnud kisendav mõttetus. Kõige vähem võiks selles kahtlustada Einsteini ja de Broglie'd — inimesi, kes andsid kvantfüüsikale selle esimesed revolutsioonilised ideed.

Ei, nad tahtsid ainult päästa oma «loodusfilosoofiat».

Raske katsumus: päästa oma usk klassikalisse determinismi omaenda füüsikaliste ideede eest. Usk, peab jällegi kordama — just nimelt usk! Ei olnud mingeid teaduslikke ega filosoofilisi aluseid eelistada ühest põhjuslikkust mitmesele, tõenäosuslikule. Asjade käik looduses ei muutunud sellest vähem seaduspäraseks.

Võib-olla oli Einstein hingepõhjas sellega nõus? Ta

piirdus ju sisuliselt ainult kvantmehhaanika seaduste tõenäosusliku tõlgendamise kriitikaga, ta just nagu narris selle loojaid oma paradoksidega, kuid ei kulutanud jõudu mõne teise tõlgenduse otsimiseks. Võib-olla tajus ta taoliste jõupingutuste lootusetust?

De Broglie pühendas neile parimad eluaastad ja tegeleb sedalaadi otsingutega veel praegugi, kõrges eas. Ja kas paneb siis imestama, et ta nimetas omaenda avastust, millest kõik sai alguse, laine-osakeste kahesuse avastamist, «kõige dramaatilisemaks sündmuseks tänapäeva mikrofüüsikas»?

Meid ei hämmasta see enam, kuid siiski tuleks siinkohal imestada. Süvenege tema sõnade mõttesse: d r a m a a t i l i s e k s ei nimetata mitte eksiränna kuid, vaid sügavat läbinägelikkust, mitte eemaldumist looduse tõest, vaid sellele lähenemist.

Kas ei tähenda see, et teadlase suur avastus muutus talle tõelise sisemise käärimise allikaks? See sundis teda just nagu iseendaga tülli minema. De Broglie lausus ülaltoodud sõnad suhteliselt hiljuti — 1952. aasta oktoobris. Sisuliselt on tema isiklikul ideede draamal niisama pikk iga kui kvantmehhaanikal endal. Ja kui meie jutt mikromehhaanika sünnist juba kord algas de Broglie' lootuste ja kahtlustega, siis on üsna loomulik seda tema muredega ka lõpetada: see tähendab, et lõppu ei ole. Kvantmehhaanika ajalugu, mis on kogenud nii palju torme ega tunne tuulevaikust, jätkub . . .

Juba on selge prantsuse füüsiku kahtluste olemus. Kuid milles seisab vana, ühese põhjuslikkuse juurde tagasipöördumise lootuste mõte?

De Broglie hoiatab ise, et nende mehhanistliku determinismi poole suunduvate teede otsingul «pole lõppkokkuvõttes välistatud ebaõnne võimalus». Kuid ta lisab: «Teaduses, nagu igapäevases eluski, naeratab õnn tihti julgeile.»

Pange tähele, kuidas ühe inimese loomingulise elu kestel on olukord füüsikas absoluutselt muutunud! 20-ndate aastate algul, kui ta töötas oma kuulsa dissertatsiooni kallal, oli tarvis julgust, et vastandada vanadele klassikalistele kujutlustele uusi — enneolematuid. Vajati mitte ainult julget mõtlemist, vaid ka julget iseloomu, et mitte karta kriitikat, uskumatuid naeratusi, pilkesõnu. Aga nüüd, rohkem kui kolmkümmend aastat hiljem, on julgust

tarvis juba hoopis vastupidiseks: katseteks pöörduda tagasi, enneolematult olnu juurde. See on parim tunnistus, kui kindlalt on «kvantrevolutsioon» füüsikas võidule tulnud. Nüüd nõuab vahvust juba tema printsiipide ründamine.

Millele siis lootis ja loodab Louis de Broglie?

● Ühes selle pika jutustuse esimestest peatükkidest meenutatakse füüsikute neljandat Solvay kongressi, ühes viimastest aga viiendat. Tarvis on väikest kommentaari.

Solvay kongresse oli seitse. Esimene toimus 1911., viimane — 1933. aastal. Nad said oma nime Ernest Solvay, kahtlemata väljapaistva inimese järgi. Nooruses tööline, sai temast iseõppimise teel keemiainsener. Tal oli ebatavaline leiduritalent. Viis saada keedusoolast otsesel teel soodat tõi talle aastatega peale kuulsuse ka tohutu varanduse. Kuid suurtööstur inagi ei kaotanud E. Solvay huvi tehnika-alaste otsingute ja teaduse vastu laiemas ulatuses. Nähtavasti erutasid teda kõige rohkem mateeria ehituse probleemid. Ja ta tajus õigesti meie kiiretempolise sajandi füüsikute tungivat vajadust korrapärase rahvusvahelise suhtlemise järele uute ideede ja uute tulemuste mitmekülgseks läbiarutamiseks. Ta määras osa oma kapitali rahvusvaheliste füüsikakongresside kokkukutsumiseks Brüsselis, Belgia pealinnas. Einstein oli Solvay ideest vaimustuses, Rutherford nimetas seda võrratuks. Kolm kongressi toimus Solvay eluajal ja neli pärast tema surma (ta suri 1922. aastal kõrges eas). Need kongressid tegid ta nime surematuks, sest peaaegu igaüks neist on jäänud tähisena kaasaja füüsika ajalukku.

Juhtus nii, et kaks Solvay kongressi — esimene ja viies — etendasid mõlemad Louis de Broglie' elus väga tähtsat osa: üks innustavat, teine ... kuid oodake, sellest siin jutt ongi.

Muidugi, esimesest kongressist ei saanud noorem de Broglie osa võtta: 1911. aastal oli ta ainult üheksateistkümneaastane ja keegi peale tema venna ei teadnud, et kuskil Pariisis on kasvamas sügava filosoofilise mõttelaadiga noor füüsik. See-eest Maurice de Broglie võttis osa esimesest Brüsseli kongressist ja oli pealegi veel üks sekretäridest. Kongressil käis pingeline diskussioon Plancki kvanthüpoteesi üle. Pöördunud tagasi laboratooriumi Byroni tänavas, hakkas vanem de Broglie valmistama ette

aruannet diskussiooni kohta. Noorem süvenes venna toodud materjalide lugemisse ja sukeldus ülepea tolle aja teravaimate teaduslike probleemide ümber käivate lõputute vaidluste atmosfääri. See määras kogu tema edasise saatuse. Ta tundis, et jutt on kaasaja füüsika tulevikust.

«Terve minu tookordsele eale omase tulisusega, haaratuna entusiasmist, andsin ma iseendale tõotuse pühendada kogu jõud nende saladuslike kvantide tõelise loomuse tabamiseks, mis Max Planck oli kümme aastat varem teoreetilisse füüsikasse toonud, kuid mille sügavam mõte oli veel avastamata,» nii meenutas Louis de Broglie mööndunut aastal, mil ta sai kuuekümneseks. Heitnud pilgu tagasi, oleks ta võinud rahuloluga öelda, et oli täitnud noorpõlvetõotuse: alates hetkest, mil ta 1919. aastal võttis seljast sõjaväevormi, on ta elu kuulunud kvantfüüsikale.

1923. aasta sügiseks, kui kogunes neljas Solvay kongress, lõpetas ta oma suurepärase dissertatsiooni. Te arvatavasti mäletate, kuidas Langevin kõneles tollal Brüsselis Abram Joffele oma geniaalse õpilase tööst: «Dissertandi ideed on muidugi jampslikud, kuid arendatud sellise elegantsi ja hiilgusega, et ma lubasin väitekirja kaitsmisele.»

Aga 1927. aastal, viiendal Solvay kongressil, käis juba Einsteini ja Bohri kuulus diskussioon kadunud trajektooride ja tõenäosuslainete üle. Seekord polnud mõeldavgi, et noorem de Broglie poleks Brüsselisse sõitnud. Hiljutine «jampslike ideedega» dissertant sai üheks kvantmehhaanika rajajaist.

Just nende kahe Solvay kongressi vaheajal läbistas «maailma lõhe» meie sajandi füüsikute mõistuse ja südame. Kahe Brüsseli teoreetilise seminari vahel sündis uus teadus. Seejuures ei tekkinud mitte lihtsalt uus teadmiste haru, vaid asjade seaduspärase käigu uus füüsikaline mõistmine. Ja kas mitte seepärast, et «aluste vapustamine» käis nii hoogsalt, ei tundnudki füüsikud end nagu jalust rabatuina? Neil polnud aega uute kujutlustega ühte kasvada, nende kohmetava uudsusega vähehaaval harjuda. Tee mäkke oli järsk ja sillutamata. Neil niisamuti kui meil.

Kui 1927. aasta oktoobris toimus Brüsselis Euroopa suurimate teoreetikute traditsiooniline kohtumine, siis tuli kvantmehhaanika põhimõtteil läbi teha tõelised tuleristsed.

Väljend «tuleristsed» kuulub Heisenbergile.

Selliste sõnadega kirjutas ta viiendast Solvay kongressist peaaegu kolmkümmend aastat hiljem. Seal vaieldi kõige peamise üle — mikromaailma seaduste tõenäosusliku tõlgitsemise üle. Seal andis ühene ja seepärast nii arusaadavana näiv klassikaline põhjuslikkus ägeda lahingu tõenäosuslikule, mitmesele ja seepärast nii käsitamatuna tunduvale põhjuslikkusele.

Kongressi juhatas suur hollandi füüsik Hendrik Antoon Lorentz. Vanimana kõigist kohalviibijaist oli ta meelestatud muidugi kõige leppimatumalt.

Huvitav, et Lorentz, kes Maxwelli elektromagnetilise välja teooria ilmumise ajal (1873. aastal) oli 20-aastane Leydeni ülikooli üliõpilane, teadis juba oma kogemuste põhjal, kui ebaõiglased on kaasaeglased uute füüsikaliste ideede suhtes. Ent nähtavasti oli õigus Bernard Shaw'l, kes ütles, et ajaloo õppetunnid seisavadki selles, et inimesed ei võta ajaloost õpetust. Noor Lorentz tundis omal ajal Maxwelli teooria vastu nii elavat huvi, et hakkas seda «vabatahtlikult» innukalt uurima. Kuid ta märkas väga kähku, et ei mõista teooria füüsikalist sisu. Siis sõitis ta Pariisi, kus ilmus sellal Maxwelli ideede prantsuskeelne käsitlus. Ta lootis, et selle autor aitab tal arusaamatust jagu saada. Tema hämmastuseks lausus Maxwelli Pariisi järglane, et väljateooriat ei saagi mõista: tuleb rahulduda ainult puhtmatemaatilise, abstraktse ja ilusa vormiga, otsimata selle tagant mingit füüsikalist mõtet. Noor hollandlane ei uskunud prantslast. Aastatega sai temast Maxwelli ideede suur edasiarendaja.

Kuid nüüd, 1927. aastal, oli vana õppetund ununenud.

Lorentz väljendas kvantmehhaanika põhimõtete mittetunnustamist kõige leppimatumalt ja ühtlasi kõige selgemalt.

«Nähtuste pilt, mida ma tahan endale luua, peab olema täiesti selge ja kindel...» ütles Lorentz ning jätkas sel kombel, nagu istuksid ümberringi lapsed, kellele tuleb lihtsas vormis selgitada silmanähtavat asja: «Minu jaoks on elektron osake, mis igal antud hetkel asub kindlas ruumipunktis. Ja kui elektron põrkab kokku aatomiga, tungib temasse ja pärast arvukaid seiklusi väljub sellest aatomist, siis... kujutlen ma mingit joont, mida mööda elektron aatomis liikus.»

Niisugune seisukoht eitas Heisenbergi määramatuste

suhet ja jäi peale selle täielikult võõraks kvantmehhaanika vaimule ja mõttele.

Võib kergesti kujutleda, milliste tundmustega kuulas neid klassikaliselt rahulikke sõnu kahekümne kuue aastane Heisenberg. Tema hinges pidi paisuma nördimus: nii palju vaeva oli kulutatud, et mõista elektroni katseliselt tõestatud mitteklassikalist liikumist, nii palju piinarikkaid kahtlusi ületatud, nii palju vasturääkivusi lahti harutatud, aga see suur rauk, kes ka ise oli kunagi kaasaegsete pilkavat mõistmatust tunda saanud, lubab endale rääkida nii, nagu poleks füüsikas midagi juhtunud ja kõik kvantmehhaanika ideed oleksid endastmõistetavalt jama! Ent Heisenbergi nördimus võis olla ainult salajane: vanamees oli temast kolm korda vanem, aga vaevalt küll keegi suudab 74-aastaselt muuta oma pika ja tegevusrohke elu füüsikalisi veendumusi.

Rauk polnud suur mitte ainult füüsikuna, vaid ka inimesena. Kord jalutuskäigul Haarlemis lausus ta Abram Fjodorovitš Joffele järgmised traagiliselt kõlavad sõnad: «Olen kaotanud veendumuse, et minu teaduslik töö viis objektiivse tõe suunas ja ma ei tea, milleks olen elanud; kahetsen ainult, et ei surnud viis aastat tagasi, kui kõik näis mulle selgena.»

Järsk mäkketõus, millest ei saanud jagu vana Lorentz, polnud jõukohane ka suhteliselt noorele de Broglie'le. Ta vihjas sajanditevanusele «mõtteselguse kultusele», selleks et seletada oma umbusku määramatuste põhimõtte ja tõenäosuslike seaduste vastu.

Kui ta töötas dissertatsiooni kallal «mateerialaineist», siis ei mõelnud ta üldse, et osakeste laineomadused sunnivad loobuma klassikalistest trajektooridest, ühesest põhjuslikkusest. Ja ta jutustab, kuidas ta viiendale Solvay kongressile eelnenud aastail kogu aeg püüdis «anda kvantmehhaanika käsitlust, mis tugineks füüsika traditsioonilistele kujutlustele».

Nüüd on selge, et sellest ei võinud midagi välja tulla. Ja 1927. aasta sügisel Brüsselis ootas de Broglie'd sügav pettumus.

Ta tõi kaasa traditsioonilistele kujutlustele rajatud teooria. Seda nimetati kujukalt pilootlaine või lootslaine teooriaks. Juba nimetuses endas kajastus püüe luua osakese liikumise näitlikku mudelit. Lootusetu katse! Tema ettekanne ei leidnud toetust. Isegi mitte Einsteini poolt.

«Ta kiitis heaks tee, mida mööda ma läksin,» meenutab de Broglie, «kuid sellest hoolimata ei avaldanud küllalt konkreetset kiitust minu püüdele.» Ja ka Schrödinger, kvanthüpete vihkaja, kes oli rajanud lainemehhaanika de Broglie' esialgsele ideele mateerialainetest, ei hakanud tookord tema liitlaseks. Kujutlus osakest piloodina juhtivast psiilainest oli talle vastuvõtmatu. «Schrödinger, kes ei uskunud osakeste olemasolu,» räägib de Broglie, «ei võinud mind järgida.» Ja lõpuks ei leidnud de Broglie vastust mikromaailma seaduste tõenäosusliku tõlgendamise pooldajate otsustavaile vastuväiteile. Ta jäi Brüsselis üksikuks — üksikuks isegi «kvantrevolutsiooni» võimsate vastaste seas.

Nii lõppes tema draama esimene vaatus.

● Kas pole hämmastav, et tõenäosusliku, mitmese põhjuslikkuse kritiseerijate kohort Brüsselis oli tõepoolest haruldaselt võimas — Lorentz, Planck, Langevin, Einstein, Schrödinger, de Broglie. Näib, et keegi ei suudaks sellistele jõududele vastu seista. Aga kvantmehhaanika põhimõtted pidasid vastu! Tõsi, ka nende poolel oli füüsika suurmeistrite rivi: Bohr, Born, Heisenberg, Dirac, Pauli... Kuid peamine oli muidugi see, et nende põhimõtete poolt oli ka loodus, nende kritiseerijate poolt ainult traditsioon.

Võitjaks tuli loodus.

Kas võiski kuidagi teisiti minna?

De Broglie pöördus Pariisi tagasi kongressi vaidlustest murelikuna ja erutatuna. Ta mõtiskles oma teooria üle ja jõudis lõpuks kurvale järeldusele, et seda pole võimalik kaitsta.

Nii algas tema draama teine vaatus. Võib-olla kõige vaevarikkam.

Loobudes pilootlaine teooriast ei loobunud ta oma vanast mehhanistlikust veendumusest, et looduses on võimalik ainult ühene põhjuslikkus. Seda usku kaotamata sai temast siiski usutaganeja: ta ühines mikromaailma seaduste tõenäosusliku tõlgitsemisega, hinge põhjas selle tõesust uskumata. «Ma kaotasin julguse ja ühinesin...» tunnistas ta veerand sajandit hiljem harukordse mehisusega üles iseenda reetmise. «25 aasta kestel tunnistasin ma seda (tõenäosuslikku vaatepunkti — *D. D.*) kui õppetöö alust ja käsitlesin seda oma raamatuis ning loenguis.»

Kakskümmend viis aastat ootas ta salajas vabanemist sellest, millega oli leppinud, hellitades samal ajal oma kahtlusi ja õigustamata jäänud lootusi.

Kuid vabanemist ei tulnud.

Aeg töötas kvantmehhaanika põhimõtete kasuks. See muutis need põhimõtted nagu relatiivsusteooria puhulgi uueks klassikaks, XX sajandi klassikaks, kaasaja loodusteaduse aluste aluseks. (Nii on aja jooksul saanud kaasaja luule pronksikarva klassikuks ülimitteklassikaline Majakovski ja meie silme ees muutub kaasaja arhitektuuri võimsaks klassikuks niisama ebaklassikaline Corbusier. Aeg, ehkki ta ei tõtta, muudab lõpuks kõik uue seaduspäraseks.)

Aastad läksid ja just nagu iseendast juhtus nii, et noored uurijad tulid teadusse, jõudnud juba ülikooli loenguil ja seminarides kokku kasvada uute kujutlustega. Ja enamiku elav mõte tundis end kadunud trajektooride kummalises maailmas nagu kodus ega vaevanud end määramatuse printsiibi või tõenäosuslainetega.

Mitmese tõenäosusliku põhjuslikkuse vastasteks olid peaasjalikult need, kes 20-ndail aastail viibisid kvantmehhaanika sünni juures ega kiitnud esimesest päevast heaks tema põhimõtteid. Nad püüdsid ikka veel päästa oma usku mehhanistlikku determinismi. Neist lahku löönud de Broglie lootis selle päästmist salaja, nemad aga eesotsas Einsteini, Plancki, Schrödingeriga tegid avalikult jõupingutusi tema päästmiseks. Peamiseks relvaks oli kriitika, mitte uute teooriate konstrueerimine. Ja Max Born rääkis, et «seda väljapaistvate inimeste rühma võib nimetada vastuväitjaiks filosoofias, või tarvitades vähem aupaklikku väljendit, torisejaiks».

Ühesõnaga, aeg läks, de Broglie luges Pariisi üliõpilastele kvantmehhaanikat «nii nagu tarvis», arvates, et tegelikult «on tarvis teisiti». Aga kuidas? Selgust ei tulnud. De Broglie' draama teine vaatus ähvardas kujuneda lõputuks: vanade lootuste taassündi polnud ette näha.

Kuid kord suvel...

Näete, ka füüsikas arenevad sündmused vahel samuti kui traditsioonilises ilukirjanduslikus jutustuses. Niisiis, kord 1951. aasta suvel oli päev, mil de Broglie tundis end korraga kahekümne viie aasta võrra nooremana. Sel päeval tutvus ta noore ameerika füüsiku David Bohmi veel avaldamata artiklitega, milles ta kuulis omaenda nooruse

häält: seal kõlas pilootlaine selge kaja ning oli otseseid vihjeid sellele. Ei, see oli rohkem kui kaja. De Broglie kirjutas: «... Bohm taastas täielikult (igal juhul ühes neist vormidest, mille mina neile andsin) minu 1927. aasta konstruktsioonid, mõnes punktis andis aga huvitavaid täiendusi.» Varsti rõõmustati de Broglie'd teist korda: teine noor füüsik — prantslane Jean-Pierre Vigier — pöördus samuti tema ammuste ideede poole.

See andis julguse kaotanule südiduse jälle tagasi.

De Broglie pöördus uuesti oma vanade otsingute poole. Ja 1952. aasta oktoobris, just nagu viienda Solvay kongressi 25. aastapäeva tähistamiseks, esines ta Pariisis loenguga, milles jättis hüvasti oma draama teise vaatusega. See loeng on kaasaja füüsika ajaloo suurepärane dokument. Kuid pealegi on ta suurepärane inimlik dokument — elav tunnistus sellest, kui keeruline ja vaevarikas võib olla ausalt loodusetõde otsiva teadlase siseelu. Muuseas ütles de Broglie:

«... Teades, et ma jätsin oma esimesed katsed sinnapaika ja kahekümne viie aasta kestel esitasin Bohri ja Heisenbergi interpretatsiooni, süüdistavad mõned mind kahtlemata järjekindlusetuses, kui näevad, et ma uuesti kahtlen ja esitan endale küsimuse, kas mu esimene orientatsioon polnud lõppkokkuvõttes õigem. Kui ma tahaksin nalja heita, võiksin ma sellele vastata Voltaire'i sõnadega: «Rumal on see, kes ei muutu...»»

Teine vaatus jõudis lõpule. Kuid kas draama on lõppenud? Kas de Broglie' taasärganud lootused õigustuvad? Siinkohal oleks aeg juba lõpuks jutustada, millele lootis ühese põhjuslikkuse juurde tagasi pöörduda katsuv kvantmehhaanika rajaja ning temaga koos noored füüsikud, keda Max Born isegi naljatoonis ei saaks torisejaiks nimetada. Kuid vastusega tuleb veel pisut viivitada: midagi väga olulist on rääkimata jäänud.

● Oma kuulsa 1952. aasta loengu pealkirjastas Louis de Broglie nõnda: «Kas kvantfüüsika jääb indeterministlikuks?»

Kuulete: «Kas jääb?»

Kui lapsed pärivad, kas kassipoeg jääb pimedaks, siis nad näevad, et ta silmad on kinni. Ja teavad, et ta on sündimisest saadik pime.

Indeterminism on determinismi eitus.

Kas de Broglie ei tahtnud sellega öelda, et kvantfüüsika on oma sündimisest saadik eitanud põhjuslik-seaduspärast asjade käiku looduses? Jah, ta tahtis öelda ja ütles just seda, kui pidada kvantmehhaanika sünnipäevaks päeva, mil ilmus tema seaduste tõenäosuslik tõlgendus.

Teadus, mis eitab põhjuslikkust.

Harjumata kõrva jaoks kõlab see nähtavasti koletislikult või naljakalt. Ma räägin «nähtavasti», sest ei mäleta enam omaenda esialgset taju üliõpilaspäevade vestlustest indeterminismi üle kvantmehhaanikas. Need vestlused — arvutud ja lõputud — imesid sind endasse nagu soo ja nõudsid nii kurnavat teravmeelsust ning lõppesid tihti tülidega ja «vahekordade väljaselgitamisega» parimate sõprade vahel, et ei saanud säilida e s i m e n e mulje ebatõenäolisest kohtumisest põhjusetusega teaduses. Või täpsemalt, esimene mulje ootamatust avastusest:

«Terve plejaad väljapaistvaid füüsikuid kinnitab, et sündmused aatomite maailmas pole millestki tingitud, on põhjusetud!»

De Broglie ei liialdanud. Ta teadis, mida tegi, kui esitas oma loengus selle näiliselt mõttetu küsimuse: «Kas kvantfüüsika jääb teaduseks, mis eitab põhjuslikkust?» See ongi see «miski», mis jäi jutustuses puudu.

Kvantmehhaanika suurmeistrid, kes võitsid 1927. aastal, näisid seni revolutsiooniliste füüsikaliste kujutluste süütute loojate ja kaitsjatena. Nii süütutena, et isegi sõna «suurmeistrid» võis siin liiga kergemeelse või ajaleheliselt familiaarsena paista: suurmeistrid on maised, patused, nad eksivad ja isegi kaotavad partiisid. Aga nood on peaaegu taevaelanikud kuldse pühapaistega pea kohal. Ehk vähemalt kartmatud ja eksimatud rüütlid. Ehk kõige halvemal juhul esimesed õpilased, kelle tunnistusel on alati viied, kes komistamata ja veatult vastavad igale küsimusele. Tegelikult pole taolised ei Bohr, Heisenberg, Born ega Dirac: kartmatud rüütlid on nad küll alati olnud, kuid eksimatud — mitte kunagi. Aga kui Borni eeskujul lubada endale vähem aupaklikult kõnelda, siis leidus aine, kus see väljapaistvate inimeste rühmitus oskas kohe halbu hindeid saada. See aine on filosoofia. Või vähemalt filosoofiline terminoloogia. Te küsite: kes pani hinded? Vastata on kerge: ajalugu!

Siinkohal meenub tahtmatult ühe Niels Bohri kaastöötaja naljakas ja kurb märkus: «Kvantteooria sarnaneb

väga mõnede võitudega,» lausus ta. «Mõni kuu küll naerate, aga pärast nutate palju aastaid.»

Oli nõnda. Vaevalt näinud, et üheste põhjuslike klassikaliste seaduste võim mikromaailmas lõpeb, tunnistasid need kartmatud teoreetikud põhjuslikkuse üldse ümberlükatuks.

Neile looduses avanenud tõenäosuslikku maailma nimetasid nad determinismita maailmaks.

Juhus, mis oli klassikalises mehhaanikas eimiski ja sai kvantmehhaanikas kõigeks, näis neile ühegi paratamatuse vormiga seostumatu omavoli sümbolina.

Tõenäosuslikel seaduspärasustel polnud nende silmis objektiivset mõtet: nad pidasid neid seaduspärasusi millekski selliseks, mis tekib ainult meie teadvuses mikromaailma tunnetamise käigus — mõõtmiste statistikas — ja kantakse sellest statistikast üle loodusesse endasse.

Materialismi ja idealismi igipõlises võitluses sattusid eksimatud füüsikud paratamatult viimase poole, nagu loodusteaduse ajaloos juba korduvalt varem oli juhtunud ja millest Lenin omal ajal nii kirglikult ja põhjalikult kirjutas.

Werner Heisenberg mõistis väga hästi Einsteini ja teiste «filosoofias vasturääkijate» ärevuse allikat. Ta kirjutas selle kohta järgmist:

«Kriitilised märkused kvantteooria kohta... saavad harilikult alguse pelust, nagu annaks kvantteooria alust eitada objektiivse reaalse maailma olemasolu, see tähendab, pidada maailma teataval määral illusiooniks...»

Kuid ta kaitses kvantteooriat nende kahtlustuste eest küllaltki omapäraselt: lisas sulgudes, et Einstein ja teised «ei mõista küllaldaselt idealistliku filosoofia doktriini»!

Näete nüüd: üliselge pilguga uurijad, peenima tajuga füüsikalise reaalsuse suhtes, patustasid omaenda avastuste tõlgitsemisel haledalt filosoofia vastu. (Epiteediga «hale» austas Albert Einstein kunagi filosoof Machi.)

See uudis pole just meeldiv, eks ole?

Ma viivitasin sellega meelega, püüdsin leida talle koha võimalikult jutu lõpus. Ei tahtnud sugugi, et terve kvantmehhaanika loojate plejaadi f i l o s o o f i l i s e d eksimused või filosoofiline ettevaatamatus heidaks varju uue teaduse f ü ü s i k a l i s t e l e tõdedele. Seda on ju juhtunud.

Need, kes pole soovinud mõista või pole tahtnud tunnustada mikromehhaanika füüsikalisi printsiipe, on otsekohe

rünnanud Bohri, Borni, Heisenbergi, Diraci filosoofilisi arutlusi. Ja lükanud ümber need seisukohad, on nad väitnud, et neil on õnnestunud tõestada mikromaailma mehhaanika enda ekslikkust. Samasuguse eduga võib pärast Laplace'i filosoofilise fatalismi ümberlükkamist väita, et Newtoni mehhaanika pole kehtiv. Kuid meenutagem veel kord targa Mendelejevi sõnu: «Öelda võib ju kõike, aga mine ja demonstreeri!»

Heisenbergi ja Borni kaasmaalane suur Goethe sõnas kord, et poeedi loodud luuletus ei kuulu enam talle endale — see kuulub inimestele, ja mis luuletaja ise sellest arvab, pole enam tähtis. Teaduse saavutuste kohta võib öelda sedasama. Määramatuse printsiip pole Heisenbergi omand ja tõenäosuslained ei kuulu enam Bornile. Ja esmaavastajate filosoofilised arvamused oma avastustest pole kellelegi kohustuslikud. Tihti on see lihtsalt viljatu nokitsemine «mitte omal erialal». Selle töö vilja ei ihalda keegi. Mis sellest, et Maupertuis nägi vähima mõju printsiibis jumala tarkuse tõendit? Füüsikas ei tähenda see midagi. Muidugi on tore, kui uurija filosoofia on niisama tõene kui tema eksperimendid või matemaatilised konstruktsioonid. Siis võib see teadlast hoida asjatute otsingute teelt või juhtida tema mõtet vajalikus suunas. Aga kui füüsik kaldub idealistlike rumaluste poole, siis pole tarvis tema füüsikalisi ideesid selle eest vastutusele võtta: need ei puutu asjasse; nende allikaks on reaalse looduse uurimine, mitte aga filosoofilised mõtisklused jõudeajal!

Oli veel üks põhjus, miks ma tahtsin seda ebameeldivat teadet eksimatute pattulangemisest lõpu poole venitada: ma arvan, et pärast jutustust kvantmehhaanika füüsikalistest printsiipidest, pärast füüsikaliste ideede võitlust ei vaja nende väited enam igavat paljusõnalist ümberlükkamist. Ja kas see pole siis nii?

Kas on tarvis veel spetsiaalselt tõestada, et klassikaline põhjuslikkuse varisemine pole veel põhjuslikkuse lõpp üldse?

Kas on tarvis tõestada, et juhus pole omavoli ega tekita kaost, et loodus ohjeldab teda oma tõenäosuslike seaduspärasustega? Kas on tarvis tõestada, et kogu loendamatu võimaluste hulk laine-osakeste liikumises eksisteerib sõltumatult meie laboratoorseist katseist ja et tõenäosuste jagunemine nende võimaluste vahel on iga kord seaduspärane?

Ühesõnaga, jättes kõrvale igasugused filosoofiliste vaidluste peensused kvantmehhaanika põhimõtete ümber: kas on tarvis tõestada, et tema füüsikaline sisu pole kuskil ega kuidagi vastuolus materialistliku dialektikaga? «Sest mateeria a i n u s «omadus»,» rääkis Lenin, «mille tunnustamisega on seotud filosoofiline materialism, on omadus o l l a o b j e k t i i v n e r e a a l s u s, eksisteerida väljaspool meie teadvust.» Kus, millises oma konstruktsioonide punktis võis kvantmehhaanika anda alust rääkimiseks, et mikromaailmas ja tema seaduspärasustes pole objektiivset reaalsust!

Sellist punkti ei leia päevavalgel tikutulegagi — kvantmehhaanikas niisama vähe kui teistes loodusteadustes. Muidugi, mõni unetusest vaevatud astronoom võib järsku öelda: «Teate, Kuu käitumine on rumal!», kuid oleks veider arvata, et kolleegid hakkaksid talle vastu vaidlema: «Ei, Kuu käitub väga targasti!» Füüsikalised nähtused ja matemaatilised seaduspärasused ei saa olla rumalad ega targad, idealistlikud või mitteidealistlikud. Sellised võivad olla ainult teadlaste a r v a m u s e d — seaduste ja faktide tõlgitsemine nende poolt.

Võib-olla poleks siis maksnud siin neid mittefüüsikalisi sõnalahinguid mikromaailma mehhaanika ümber üldse puudutada? Küllap vist, kui füüsikud ise poleks neis lahinguis relvad ristanud. Ja pealegi, kui poleks liikvel halb kuulujutt «XX sajandi füüsika avastustest, mis lükkavad ümber materialismi».

● Uskumatuid asju on kvantmehhaanika kohta kirjutatud. «Kaasaja teaduse argumendid võimaldavad võib-olla järeldada, et religioon on 1927. aastast alates kaine teadusliku mõtlemise jaoks vastuvõetavaks muutunud.» Need on tuntud inglise astrofüüsiku Arthur Eddingtoni sõnad.

Tema kolleeg, suurim inglise tänapäeva teoreetik Paul Adrien Maurice Dirac, pidi kohmetuma, kuuldes sellist loogilist järeldust ühest oma märkusest. Diracilt päriti: «Kuidas liigub elektron?» «Kuidas tahab, tema tahe on vaba!» umbes niiviisi kõlas tema vastus. Terve teaduslik mõtlemine otsib seletust kõigele toimuvale. Ja kui elektronil on «vaba tahe», millist pole olemas, miks siis mitte oletada, et tema käitumises väljendub «kõigevägevama tahe»? Seda tahtiski Eddington öelda. Pole ainult päris selge,

kas ta lausus seda naljatamisi või tõsiselt. Aga kui see on ka nali, siis võib ikkagi näha, kui tõsise pöörde asi võttis.

(Tõsi, Eddingtonist võib oodata, et ta lausus seda ka tõsiselt. Tema kuulsus teoreetikute hulgas oli omapärane: ta armastas efektseid ja riskantseid, kuid mitte eriti põhjendatud järeldusi. Akadeemik Landau ütles kord, et füüsikas on omajagu patoloogilisi töid. Patoloogia on teadus organismi haiglasest olekust ja pole tarvis selgitada, mida tähendab termin «patoloogilised tööd». Et aga selliseid töid on füüsikas tõepoolest hulgaliselt, tunnistab lihtne fakt: mainitud termin on teoreetikute hulgas rahvusvaheliseks saanud. Patoloogilised tööd tunduvad esimesel pilgul täiesti tõsistena, kuid lähemal vaatlusel paljastub kohe nende rumalus. Akadeemik Landau jutustas: «Mäletan, kuidas aastat kolmkümmend tagasi lõbusas teoreetikute seltskonnas — teoreetikud on tavaliselt närvilised, kuid mitte igavad inimesed — töötati välja patoloogiliste füüsikute rahvusvahelise kongressi kokkukutsumise projekt. Märgiti delegaate mitmelt maalt, kongressi juhataja au langes ühele nüüd juba surnud inglise astrofüüsikule . . .» Austusest suure teadlase mälestuse vastu, kes polnud ju kogu aeg patoloogiline, ei tahtnud Landau nimetada Eddingtoni. Kuid uskuge, just nimelt temale määrasid noored ja lõbusad teoreetikud selle mitte eriti auväärse koha. Aga te näete ju isegi: ainuüksi tema arutlusest kvantmehhaanika ja religiooni kohta oleks rohkem kui küllalt, et teda sinna valida.)

Asi võttis tõepoolest tõsise pöörde.

«Piiskopid ja abtid klammerdusid uue teooria külge, nagu see oleks kuradi saba . . . Ja kuuldus suurt juubeldamist, kui mitte taevastest kodadest, siis vähemalt piiskopilossidest.» Nii kirjutas hiljem oma autobiograafias Diraci ja Eddingtoni kaasmaalane, tuntud kirjanik Somerset Maugham. Mis on kirjanikul, ühel dramaturgil asja kvantmehhaanika ja selle ideedega? Nähtavasti polekski ta sellele tähelepanu pööranud, kui mainitud halb kuulujutt poleks kogu maailmas nõnda levinud. See oli nagu ahelreaktsioon: Eddington järgnes loogiliselt Diracile, piiskopid Eddingtonile, piiskoppidele järgnes Rooma paavst ise, kes 20-ndate aastate lõpul hakkas suurt huvi tundma XX sajandi loodusteaduse vastu.

Kuid on tõesti arusaamatu, miks meeldis kvantmeh-

haanika paavstile ja teoloogidele rohkem kui klassikaline mehhaanika? Oskasid ju filosoofid-fatalistid tõlgendada ühest klassikalist põhjuslikkust selliselt, et kogu maailmaruumi ajalugu oleks nagu teda moodustavate kehade liikumise «algtingimustega» igaveseks ajaks ette määratud. Siit on ainult üks samm looja ideeni, kes andis kätte need algtingimused piiblis nimetatud loomisepäeval! Muide, umbes nii mõtleski Maupertuis. Aga mitmese põhjuslikkusega on jumala ideed, ausõna, palju raskem kokku sobitada. Ja pole selgegi, miks vajaks kõikvõimas nii halbu seadusi, nagu juhuse tõenäosuslikud seadused. Kujutlege vaid, kui palju nendega tüli on!

Prints de Broglie' õpetaja, Pariisi töölise-kommunaari poeg Paul Langevin nimetas põhjusetuse filosoofiat «intellektuaalseks liiderlikkuseks». Einstein ütles selle kohta sallivamalt — «literatuur». (Tõsi, Somerset Maugham väidab, et Einsteini suus oli see vaid viisakam variant sõnast «loba».)

Nüüd peaksid meie jaoks juba hoopis teisiti kõlama ka Max Borni sõnad vanadest torisejatest, kes «vaidlevad vastu filosoofias». Neil oli põhjust vastu vaielda.

See muutus kvantmehhaanika tõeliseks hädaks: juba esimesest päevast peale põimusid tema füüsikalised põhimõtted ja nende väär filosoofiline tõlgendus nii tihedasti läbi, et nende füüsikalised allikad said alatiste kahtluste ja rünnakute objektiks nagu filosoofilise kurja allikad. (Just nagu võiks ideelist kurja vaadelda füüsikalise, mitte aga sotsiaalse nähtusena!) Meie akadeemik Vladimir Aleksandrovitš Fok, keda autasustati 1960. a. Lenini preemiaga tööde eest kvantmehhaanika alal, tegi võib-olla rohkem kui keegi teine, et vabastada mikromaailma teadust sellest nuhtlusest. Ka tema pidas Niels Bohriga pikki vaidlusi, kuid vaidles mitte füüsik Bohriga, vaid filosoof Bohriga. Ta vaidles temaga Kopenhaagenis, mida tunnustatakse kvantmehhaanika pealinnana, tõestas Bohrile, et miski on mäda Taani kuningriigis.

See oli 1956. aastal. Aga poolteist aastat hiljem Moskvas, üleliidulisel nõupidamisel loodusteaduste filosoofia küsimustes, jutustas Fok:

«Päris hiljuti sain Bohrilt tema uue töö hektografeeritud teksti pealkirjaga «Kvantfüüsika ja filosoofia», kust on näha, et paljudes olulistes punktides on ta minuga nõus.»

Akadeemik Fok loendas neid punkte ja mööda auditooriumi kandus kerge hämmastuslaine, mida stenogrammides märgitakse sõnadega «elevus saalis». Nende punktide seas oli tõenäosuslike seaduspärasuste objektiivsuse täielik tunnistamine. Ja peaasi: «Bohr tunnistab põhjuslikkust ning heidab kõrvale ainult Laplace'i determinismi.»

Liikumine saalis oli kergesti seletatav: «Kopenhaageni koolkonna» juht loobus vähemalt oma endise filosoofilise terminoloogia pealesurumisest.

Kas oli see vene kolleegiga vaidlemise tulemus või suure kopenhaagenlase enda paljuaastaste mõtiskluste resultaat?

Usutavam oli teine. Nii rääkis Bohr ise 1961. aasta kevadel, viimasel sõidul Nõukogude Liitu. Niisamuti arvab ka Fok. 1963. aastal avaldatud memoriaalartiklis «Niels Bohr minu elus» kirjutas ta, et Bohri seisukohtade muutumine «ainult tuli kuuldavale meie vestlustes, kuid kujunes välja juba varem ja sõltumatult».

Oli toimunud filosoofiliste terminite ja mõistete oluline ümberhindamine. Tõde ja ajalugu olid teinud seda, mida pidid.

Ajaloo ja tõe arenguteed on spetsiaalsete otsingute ainevald. Otsekohe võib märgata ainult üht: need edusammud ei tule kergesti. Kuid nad on paratamatud. Tõsi, ei maksa langeda Laplace'i fatalismi ja väita, et nad on ette määratud. Ei, nende eest tuleb võidelda. Seda tegigi järjekindlalt akadeemik Fok. Kuid kvantmehhaanika vaimus võib öelda, et idealismi hülgamine ja materialistliku dialektikani jõudmine on kõige tõenäolisemad sündmused suurte teadlaste vaimses elus. Kas on tarvis seda väidet siinkohal üksikasjaliselt põhjendada? Tuletan meelde, et kirjutan ainult «reisimärkmeid» ja tõestuste asemel tahan vihjata ainult niivõrd mitteobligatoorsele asjale nagu linnulennulised muljed. Selleks on olemas õigustus: kaasaeglase vahetuis aistinguis peituvad alati nii tõde kui ka elav veendumus.

● Mulle meenusid siinkohal Kiievi haljad künkad, 1959. aasta troopiline juuli, kui loodus halastamatu päikese abil näitlikult demonstreeris oma materiaalsust.

Kuumusest enneaegu kolletama löönud kastanite tiheda lehestiku varjus, Kreštšatiku hõõguval asfaldil, hotelli

«Ukraina» umbses rahvarohkes vestibüülis, Dnepri kõrgel kaldal — kõikjal võis neil juulipäevadel näha kaugelt saabunud inimest, kes oli pisut üle keskmise kasvu, kas halliks tõmbunud või siis liiga tuhkjat värvi juustega, kelle välimus oleks olnud täiesti tavaline, kui jätta tähele panemata tema väljendusrikka pea skulptuurne kumerus, teate, selline beethoovenlik kumerus ja võimsus. Kui jätta tähele panemata! Aga just seda detaili võõra välimusest oli võimatu mitte märgata; tema valge särgi külge oli kinnitatud kartongist nelinurk tsellofaanümbrikus, kartongile aga ladina tähtedega kirjutatud: Heisenberg.

Neil päevil kohtasid kiievlased kõikjal inimesi samasuguste visiitkaartidega. Käis 9. rahvusvaheline konverents kõrgete energiatega osakeste füüsika alal ning Ukrainasse olid kokku sõitnud teoreetikud ja eksperimentaatorid kogu maailmast. Nimekaardid rinnas kergendasid suhtlemist.

Kuigi Werner Heisenbergi saabumist oodati (programm kuulutas, et ta juhatab konverentsi lõppistungit), oli tema ilmumises midagi pühapäevast: koos temaga sisenes hotelli vestibüüli elav kvantfüüsika ajalugu. Ajalool oli käes kulunud portfell. Ajalugu nägi välja märksa tagasihoidlikum hotelli šveitserist. Temas polnud midagi paraadlikku, vaid ainult loomulikkus: kuumuse tõttu oli Ajalugu võtnud lipsu kaelast ja käis lahtinööbitud kraega. Nagu sajand ise, polnud ka Heisenberg tollal veel kuuekümneaastane.

Filosoofilised diskussioonid ei kuulunud konverentsi päevakorda. Ja ehkki saalis istusid inimesed, kellest juba ette oli teada, et nad suhtusid erinevalt kvantmehhaanika tõenäosuslikku tõlgendamisse, ometi ei räägitud sel teemal sõnagi. Tuli välja nii, nagu polekski varjatud filosoofilised lahkhelid takistanud füüsikuil oma uurimistööga tegelda.

Tuli tahtmine neilt küsida: miks see nii on?

Küsida ma ei söandanud. Korra siiski proovisin, kuid sain õige salvava vastuse:

«Aga võib-olla seletate mulle enne,» mühatas professor X, «mis mõju saavad filosoofilised vaidlused osutada elementaarosakeste jälgede pildistamisele või mõne neetud integraali võtmisele? Vastan teie küsimusele niipea, kui kuulen selgitust . . .»

Mul jäi üle ainult pomiseda: «Jah, muidugi, ma mõistan . . .» Õhtul restorani saalis, kus olid söömas konverents-

sist osavõtjad, vaatlejad ja ajakirjanikud, viipas professor X mind enda poole.

«Vaadake,» sõnas ta samasuguse muigega, «seal istuvad kõrvu idealist Heisenberg ja materialist Fok. Lahkhelid ei sega neid võrdse eduga neelamast maa vilju ja neid seedimast. Aga mõistate, peamine, mis ma tahtsin teile öelda, on see, et nad istuvad kõrvu ja vestlevad sõbralikult, vaatamata lahkhelidele. Kas teate, miks? Sest nad räägivad asjalikku juttu. As-ja-likku!»

Ma ei saanud muidugi vastu vaielda. Ega kavatsenudki: nägin isegi, et filosoofilised lahkhelid ei takista füüsikuil töötada, ma ju alustasingi sellest, et tahtsin aru saada, miks see nii on? Ja mulle tuli pähe öelda professor X-le, et filosoofid on ta elu omal ajal vist hästi kibedaks teinud, seepärast peab literaat nüüd selle eest kätte maksma. Ta hakkas naerma ja tegi ettepaneku:

«Sõlmime rahu. Kas soovite, ma jutustan teile midagi füüsikast?»

Kuid mina oleksin sel hetkel tahtnud kuulda «midagi filosoofiast». Inimese juuresolekul, kelle visiitkaardile on kirjutatud «Heisenberg», oli üpris loomulik mõelda füüsikaseaduste m õ t t e s t, mitte aga füüsikaliste teadmiste üksikasjadest.

Lihtne vastus minu üleliigsele küsimusele tuli iseendast. See tekkis algul ebamäärase, kuid õige aistingu kujul. Ma ei mäleta, kes esines tollal järjekordse ettekandega — professor Smorodinski Moskvast või professor Alvarez Berkeleyst, professor Salam Londonist või akadeemik Bogoljubov Dubnast — see polnudki tähtis. Mainitud aistingu põhjal näis mulle hetkeks täiesti ükskõik olevat, k e s esineb. Laval käis ja teadustas enesekindlalt uutest faktidest ja uutest valemeist füüsik, kes oli sõitnud siia mingist maakera punktist. Ei, isegi see polnud tähtis: ta oleks võinud lennata Marsilt, ta oleks võinud ilmuda Kiievisse Luige tähtkuju 62. tähelt, ta oleks võinud saabuda minevikust või tulevikust — kõik need erinevused kaotasid h e t k e k s igasuguse tähtsuse.

Laval kõndis mõtlev olend, kes oli nagu rakendatud käsimikrofoni külge. See mõtlev olend sammus kõnetoolist tahvli jurde, vedades lõputut juhet enda järel nagu mahalibisenud ohjaharu. Ja kõrvaklappide külge rakendatud saal vedas koos temaga mikromaailma üksikasjalise tunnetamise ülekuhjatud koormat. Kui aga ettekandja

peatus ja väsinult kaardikepile toetus, tekkis kujutlusse pilt nimetust rändurist, sau käes, igavesest rändurist, kel tuleb üha astuda ja astuda.

(Muidugi, sõnad rändur, teesau, koorem ei kuulu meie heakorrastatud sajandi olustikku, kuid uurijate teed pole kunagi heakorrastatud, need on teed tundmatusse.)

Millest kõnelesid füüsikud, mille üle nad vaidlesid? Lõppkokkuvõttes oli see kõik teadete vahetamine ja oletused selle kohta, mis tegelikult aset leiab, ja selle kohta, mida mikromaailmas ei või olla. Nad vaidlesid ja jäid üksteisega nõusse rahvusvahelises eksperimentide ja matemaatika keeles. Ning pimeduses, kui hakati demonstreerima mikrofotosid, diagramme ja skeeme, kui polnud näha nägusid ja ainult epidiaskoobi valguskoonus tõmbas üldise tähelepanu niidid ühte punkti, siis tekkis kahekordse teravusega tunne, et kõik need inimesed on seotud mingi ühise, kõigi jaoks ühtmoodi kohustusliku truudusvandega. Ustavus millele?

Vastus oli valmis: füüsikalise teadmise tõesusele.

Sellele ei räägi vastu tõik, et igal teaduslikul avastusel, suurel või väikesel, on alati oma sugupuu: sünniaeg ja -koht, vanemate ees- ja perekonnanimed. Niisugune sugupuu kajastab muidugi ajajärku ja maad, kus edu saavutati. Isegi teadlase elulugu ja temperament kajastuvad selles sugupuus. Ent ainult sugupuus: ainult avastuse ajaloos, mitte aga tema füüsikalises sisus. Muidu poleks avastusel mingit väärtust.

Muidugi, inimühiskonna eluks, Maa elanike tulevikuks pole sugugi ükskõik, eriti meie päevil, kes, kus ja milleks avastab füüsikalised tõed. «Kes kasutab avastust, mille ma tegin?» Frédéric Joliot-Curie küsis seda põhjendatult juba siis, kui ta polnud veel ei kommunist ega rahupooldajate liikumise juht. Kas mitte see küsimus ei toonudki teda kommunistide sekka? Isegi tänapäeva füüsika ajalugu, rääkimata sotsiaalsest ajaloost, ei unusta, et Philipp Lenard oli hitlerlik lurjus, Edward Teller aga vesinikupommi entusiast... Seepärast oligi ülalpool lausutud, et «geograafilised» erinevused füüsikute vahel kaotasid igasuguse tähenduse ainult hetkeks. Ainult hetkeks! Tõsi, see hetk on meile praegu väga tähtis.

Igast maailma äärest Kiievisse kokku sõitnud füüsikud vahetasid aadresse ja kutsusid üksteist vastastikku külla. Kuid kõik nad tunnustasid vaikides, et nende hoolealune —

elementaarosakeste maailm — ei oma geograafilist aadressi. Vaikides tunnustasid nad, et alati ja kõikjal valitsevad seda ühed ja samad loodusseadused, mitte aga inimeste käsud-keelud. Sellest kõneleski meie suvaliselt valitud hetk.

Polnud kahtluse varjugi, et niisugune oli nende ühine vankumatu veendumus.

Kuidas oleksid meie Dubna füüsikud ja Berkeley ameeriklased võinud teaduslikku informatsiooni vahetada, kui nad poleks uskunud, et Dubna laboratooriumides ja Berkeley laboratooriumides käituvad prootonid täiesti ühtemoodi ja kujutavad endast üht ja sama füüsikalist reaalsust?

Millega oleksid võinud üksteist vastastikku rikastada Jaapani teoreetikud ja Itaalia eksperimentaatorid, kui neil poleks olnud sõnatut veendumust, et mikromaailm eksisteerib objektiivselt ega sõltu oma seaduspärasustes mikaado tahtest või Vatikani soovist?

Ja lõpuks, miks oleks Heisenberg Kiievisse sõitnud, kui ta poleks sisimas olnud veendunud looduse objektiivses reaalsuses? Kuidas oleks ta loota võinud, et teised teda mõistavad ja ta ise teisi mõistab? Miks oleks ta sel puhul üldse füüsikaga tegelnud?

Mind, kõrvalist vaatlejat, haarasid Kiievis kahtlused füüsikalise idealismi siiruses ja «lõpuni mõelduses». Pealegi see Kiievi kuumus! Päeval kui ka öösel tõestas ta jõhkra sirgjoonelisusega kõigile ja igaühele, et loodus on olemas, absoluutselt sõltumata inimeste teadvusest, ja pani neid higistama, absoluutselt arvestamata soove ning küsimata nõusolekut. Kui temperatuur on öösel 36 kraadi, siis ei või ükski terve inimene kauaks jääda subjektiivseks idealistiks, tablette neelav inimene veelgi vähem! (Egas vanas Kreekas asjata puudunud vähegi kaalukam subjektiivse idealismi koolkond. Seal on keskmine aastatemperatuur selleks tõesti liiga kõrge.)

Oli päev, mil ka Heisenberg mikrofoni ette rakendus ja laval lõputut juhet lohistas. Pannud piduliku olukorra tõttu kaela piinavalt materiaalse lipsu, jutustas ta oma uutest füüsikalistest konstruktsioonidest. Seejärel juhatas ta lõppistungit. Ning istudes saalis professor X kõrval, sosistasin ma tollele:

«Kas teate, miks filosoofilised lahkhelid ei takista füüsikute koostööd? Sest et te kõik olete avalikud või varja-

tud materialistid. Isegi siis materialistid, kui te ise teisiti arvate.»

Ning veel tuli mulle pähe, et loodusteadlaste ebateadlik professionaalne materialism, see, mida Engels ja Lenin nimetasid loodusteadlaste stiihiliseks materialismiks, peab meie sajandil varem või hiljem muutuma tunnetatud ja järjekindlaks materialismiks. Ütlesin ka seda professor X-le. Ta vastas mulle sosinal:

«Te murrate sisse avatud uksest. Aga mis puutub vanasse Heisenbergi, siis temaga on see vist juba juhtunud.»

«Millal?» küsisin ma ootamatuse tõttu valjemini, kui oleks tohtinud, ja «vana» Heisenberg heitis juhataja kohalt küsiva pilgu saali.

«Aastat neli tagasi,» kuulsin ma X sosinat. «Võib-olla veelgi varem. Ülal kioskis on Bohri seitsmekümnendaks sünnipäevaks väljaantud kogumik. Sirvige seda, siis näete ise...»

Ja tund aega hiljem lugesin ma fuajee akna juures seistes lauset, mis oleks kunagi varem Werner Heisenbergi allkirjaga tundunud niisama uskumatu kui determinismi mõiste füüsikalise seaduspärasuse tunnistamine Bohri suust. Siin see on: «... Füüsik peab oma teaduses postuleerima, et ta uurib maailma, mida ta ise pole valmistanud ja mis eksisteeriks ilma tunduvate muudatusteta ka siis, kui seda füüsikut poleks üldse olemas.»

● Niipalju vett on voolanud merre kuulsast 1927. aasta Solvay kongressist saadik.

Ja kui de Broglie oleks oma mälestusväärses loengus küsinud: «Kas kvantmehhaanika t õ l g e n d a m i n e jääb indeterminstlikuks?», siis oleks ta, nagu näete, saanud soovitud vastuse: «Ei, ei jää.» Ja mis kõige ootamatum, teda oleksid hakanud selles veenma endised indeterminismi juhid — Bohr ja Heisenberg. Kaalukamat veenmist poleks tarvis olnud otsidagi.

Kuid de Broglie ei küsinud seda. Kahjuks mitte seda. Ta küsis: «Kas kvantfüüsika ise jääb «mittepõhjuslikuks»?» Ja väljendas oma küsimusega vana mehhanistlikku veendumust, et ilma klassikalise ühese põhjuslikkuseta pole determinismi olemas. Tagasi Laplace'i juurde! — seda see tähendas, kui heita kõrvale nüansid ja detailid.

Nüüd tuleb juba lõpuks ilma igasuguste uute edasilükkamisteta seletada, millised lootused siis innustasid de Broglie'd.

... Küsimus on selles, et ka klassikaline füüsika põrkas kokku juhuslike sündmustega ja statistiliste seaduspärasustega. Ka matemaatiline tõenäosusteooria tekkis palju varem kui kvantmehhaanika. See tekkis klassikalisel pinnal. Ja mitte Monte Carlo ruletimängijate lohutuseks, vaid palju olulisemate vajaduste rahuldamiseks.

Kuupsentimeetris õhus maapinna lähedal on ligikaudu 30 000 000 000 000 000 000 ainemolekuli. Kuidas tulla Maa atmosfääri uurimisel toime nii fantastilise hulga üheilmeliste osakestega?

Kas jälgida iga üksiku osakese käitumist?

Õppida tundma tema asukohta ruumis, liikumisenergiat, lennutrajektoori? Uurida kõiki osakeste omavahelise kokkupõrkamise ahelaid?

Kavatsuse viljatus on silmanähtav. Ja loomulikult pole kellelgi kunagi pähe tulnud niisuguseid uurimusi alustada. Juba möödunud sajandi keskpaiku mõistsid füüsikud, et võib uurida aineosakeste hiiglasuurte kogumike omadusi, laskumata iga osakese mehhaanilise käitumise üksikasjadesse. Temperatuur, rõhk, tihedus, viskoossus, elektrijuhtivus ... Need kõik on osakeste kollektiivide omadused ja nende omaduste uurimiseks läks tarvis *statistilisi* seaduspärasusi.

Värvitud piirituse sammas tõuseb külma termomeetri õhukeseseinalisest kerast kapillaartoru mööda üles. Piiritus soojeneb ja paisub seetõttu soojema õhu molekulide laviini loendamatute haamrilöökide mõjul. Selles termomeetri ja atmosfääri sõnatus võitluses etendab iga molekul oma osa. Isegi need, mis ei lenda kerani, võtavad lahingust osa: nad põrkavad kokku teiste molekulidega, annavad oma panuse sellesse kaootilisse liikumiste sigrimigrisse, mis ümbritseb termomeetri kera. Kuid termomeetril pole asja iga üksiku osakesega. Ta töötab just nagu statistikabüroo, mis arvutab välja atmosfääriosakeste keskmise liikumisenergia.

Milline on praegu meie poolt märgitud molekuli energia? See võib olla märksa kõrgem või, vastupidi, märksa madalam termomeetri poolt registreeritud keskmisest energiast. Kõik oleneb juhusest. Kõige tõenäolisem on, et ta energia ei erine väga keskmisest. Vähem

tõenäone on aga, et see energia on hiiglasuur või kaduvväike.

Teadlased panid tähele neid erinevaid tõenäosusi. Õppisid nendega opereerima. Nad lõid statistilise füüsika, mis andis seletuse paljudele kaua arusaamatuks jäänud loodusnähtustele.

Ent klassikalises füüsikas oli hoopis teistsugune olukord kui kvantfüüsikas. Lugu meenutas katusekivi pähekukkumist teekäijale. Teadlased rääkisid: «Üksiku gaasiosakese energia võib juhuse tahtel olla ükskõik missugune,» kuid samal ajal olid nad täiesti veendunud, et igal molekulil on oma mehhaaniline eellugu ja molekuli kiirus vaatlushetkel on ainult kõigi tema «eluteel» toimunud kokkupõrgete tulemus. Kui seda eellugu teada, siis ei jääks juhusest mitte midagi järele.

1827. aastal märkas šoti botaanik Robert Brown, vaadeldes mikroskoobi all õietolmukat, et vedelikus hõljuvad tolmuterakesed liiguvad korrapäratult. See lihtne nähtus, mida hakati nimetama «Browni liikumiseks», äratas paljudes teadlastes elavat huvi. Õietolmu asemel võeti teised tolmuübemed, vee asemel mõni muu vedelik. Alati võis näha korrapäratut liikumist. Tänapäeval on raske uskuda, et nähtus paistis kaua seletamatuna. Uurijad püstitasid kõikvõimalikke hüpoteese: ühed rääkisid, et see on vedeliku rappumise tagajärg, teised nägid soojade õhuvoolude mõju, kolmandad pidasid põhjuseks keemilisi reaktsioone, neljandad seletasid nähtust tolmuterade tugeva valgustamisega mikroskoobi all... Kuid ükski neist oletustest polnud õige ega pidanud vastu eksperimentaalsele kontrollile.

Browni liikumisele andis seletuse statistiline füüsika. Ja seletus oli lihtne. Väikesed aineosakesed satuvad vedelikus samasse olukorda kui termomeetri klaaskera gaasis: vedeliku molekulid alustavad hääletut võitlust nende osakeste vastu, nad tõukavad neid igasse külge, annavad ühe hoobi teise järel. Kui tolmutera on suur, võrdsustab juhus eri külgedest tulevad löögid statistiliselt ja näiteks kirsikivi puhul pole veeklaasis Browni liikumist märgata. Kivi lamab rahulikult põhjas. Aga kui kõrvaline osake on väike, siis võib iga liigne löök mõnest küljest olla otsustav. Tasakaal kaob ja tilluke õietolmu kübemeke hakkab vees liikuma, läbides kummalise kujuga tee.

Tee näib juhusliku ja kapriissena. Ja esimesel pilgul

täiesti põhjendamatuna. Kui näed esmakordselt Browni liikumist, tekib kummaline rahutu tunne: tundub, et aeglaselt hõljuvad aineKübemekesed on täieliku omavoli all, saladusliku korrapäratu juhuse võimuses. Ja hakkad aru saama, miks see nähtus erutas möödunud sajandi teadlaste kujutlust.

Oli tarvis heita pilk nähtusse sügavuti, oli tarvis näilise juhuslikkuse kesta all avastada mateeria peenima — atomaar-molekulaarse liikumise sisemine mehhanism, selleks et põhjuslikult seletada põhjendamatut vaatepilti. Browni liikumise kvantitatiivne teooria anti alles meie sajandi algul. Selle töötasid välja silmapaistev poola teoreetik Marian Smoluchowski ja jälle seesama suur Einstein.

Nüüd muutuvad de Broglie' lootused arusaadavaks.

Kas pole juhuse valitsemine mikromaailmas niisama petlik vaatepilt nagu see, mis avanes šoti botaanikule mikroskoobi all just sada aastat enne määramatuse printsiibi avastamist?

Kas pole mikromaailma põues elementaarosakeste liikumise kvantmehhaanilise nivoo all veel sügavam ja peenem mateeria olemise tase?

Ja kas ei toimu seal, selles senitundmatus sügavuses, üheselt põhjuslikud sündmused, millest ongi tingitud mikromaailma tõenäosed seadused?

Ah, kui õnnestuks kas või kõige üldisemate kujutluste kaudu laskuda sellele subkvantmehhaanilisele tasemele! Siis näeksid füüsikud de Broglie' ja David Bohmi arvates uuesti, kuidas vana läbiproovitud klassikaline põhjuslikkus keerab üles juhuse mehhanismi. (Just nagu Browni liikumises. Just nagu kellas, millel puudub üleskeeramisnupp, kuid kaane all on peidus balanssiir.)

Sellised on lootused. Kas neil on määratud täituda? Või on nende lootuste taassünniga tõepoolest alanud de Broglie' draama kolmas vaatus?

Aastad lähevad, aga de Broglie, Bohmi, Vigier' jt. teoreetilistel otsingutel pole edu. Rõhuv enamus teoreetikuid nii meil kui Läänes ja Idas arvab, et need otsingud on juba ette määratud ebaõnnestumisele. Kindlalt ja otsustavalt väljendas seda mõtet 1958. aastal akadeemik Fok. Kuid meie füüsikute seas on ka klassika juurde tagasipöörduva liikumise pooldajaid. Neid ootab nähtavasti pettumus.

Miks siis?

Kas tõesti seepärast, et mingit mateeria olemise subkvantmehhaanilist taset pole olemas? Ei, niiviisi väita pole õige. See peab olema, ehkki eksperimentaatoreil pole praegu mitte mingisuguseid andmeid. See peab eksisteerima juba sellepärast, et elementaarosakeste maailmas võib aimata nähtusi, mille ees kvantfüüsika ummikusse satub. On juba tekkinud vajadus üldisema ja sügavama teooria järele, mis seletaks, miks eksisteerivad just niisugused mateeria elementaarosakesed, millega meil tänapäeval tegemist on, aga mitte mõned teised. See uus, meie päevil tekkiv «elementaarmehhaanika» haarab ühe erijuhuna kvantmehhaanika. Tunnetusprotsessil pole lõppu. Kes söandaks selles kahelda?

Miks ei võiks siis mikromaailma uus, üldisem teooria olla omamoodi klassikaline, tugineda sündmuste ühesele põhjuslikkusele?

Kogu teaduse ajalugu protesteerib niisuguse oletuse vastu. Ja pole üldse võimalik uskuda sellisesse perspektiivi.

Oletage hetkeks, et füüsikud on juba tunginud subkvantmehhaanilisse maailma. Oletage veel, et nad on õppinud seal tundma mingeid uusi, senitundmatuid materiaalseid moodustisi. Kuid ärge kiirustage neid uusi moodustisi pisitillukesteks osakesteks, millekski mikroelektronide või subfootonite taoliseks nimetama. Kui nad kord avastatakse, siis on nende sarnasus senituntuga nähtavasti minimaalne. Ei maksa ennustada, kas neil on olemas seisumass või mitte. Aga tõenäoliselt on nende suurusvahekord elektroniga samasugune kui elektroni ja haavli vahekord: haavli massiivsuse tõttu on tema lainekujulisus teoreetiline, neil uutel olemustel on nende tühise suuruse tõttu korpuskulaarsus teoreetiline. Kas võib siis oodata, et nad alluvad samadele liikumisseadustele nagu haavel? Kui juba elektron ei allunud neile seadustele, siis uued, hüpoteetilised moodustised väljuvad juba täielikult klassika alluvusest!

Võib aga olla, ja see on väga tõenäoline, et mateeria olemise subkvantmehhaaniline tase avaneb füüsikuile üldse mitte mingite senitundmatute ultraelementaarsete moodustiste kujul, vaid päris teises laadis: elementaarosakeste hämmastavate vastasmõjude seni veel läbiuurimata mehhanismi ebatavalistes joontes. Võib-olla

just siin ilmnebki nende hämmastava terviklikkuse mehhanism!

Võib-olla, võib-olla! Kuid täiesti veendunult võib oodata ainult üht: uut lõhet eelnevaga ja enam mitte ainult klassikalise, vaid ka kvantmehhaanikaga.

Võib oodata üksnes revolutsiooni süvenemist meie füüsikalistes kujutlustes.

Väljendusrikka vastuse küsimusele tulevasest teooriast andis 1962. aasta märtsis Dubna Ühendatud Tuumauurimise Instituudi direktor professor D. I. Blohhintsev. Meenutanud, kuidas de Broglie tõi aatomifüüsikasse kujutluse osakestest-lainetest, ütles ta uudishimulikule ajakirjanikule: «Võib-olla tuleb leida ainult mingid kolm-neli uut kujundit ja sõna, mis pööraksid kogu teooria teisele teele, kujundaksid uusi mõisteid... Milline sõna tuleb «välja mõelda», millist kujundit kasutada? Selle kohta on palju arvamusi... Üks on kindel: uus teooria luuakse ja see on niisama suur mõtterevolutsioon, nagu olid omal ajal relatiivsusteooria ja kakskümmend aastat hiljem sündinud kvantmehhaanika. Toimub meie kujutluste niisama revolutsiooniline muutumine.»

Kuidas saaks sellega mitte nõus olla?

Füüsikute ultramikromaailmas ei oota meid mitte vanad rõõmud, vaid uued ennekuulmatud hämmastused, uued suured kurvastused, millest kasvab välja uue teadmise rõõm.

... Vankris sõidutatakse last. Viibides mitteteadmise mõttetühjas unes, puristab ta veel vikerkaarevärvilisi mulle. Kuid võib-olla saab temast üks neid «kõige õnnelikumaid», Lagrange'i sõnade järgi, kellel õnnestub luua uus «maailmasüsteem». Võib-olla hämmastavad tema füüsikalised ideed kaasaeglasi ja järeltulijaid enneolematu uudsuse ja juba tuntud julgusega. Relatiivsusteooria ja kvantmehhaanika näivad tema kolleegidele vana vaieldamatu klassikana, võrreldes nende peente nüanssidega, mida tema, poiss, liikuva mateeria pildis avastab. Kuid ikkagi on tema suures elus aastaid, mil ta peab kannatama neidsamu mõttepiinu, mida meie täna tajume, tutvudes relatiivsusteooria ja mikromaailma mehhaanika ideedega.

Seni, kui ta veel vankris magab, imbub temasse tuhande poori kaudu Newtoni mehhaanika. Ta on maine olend; ta

kuulub loodusseaduste tahtel makro-, mitte mikrolõiku maailma füüsikaliste kogemuste lõputul skaalal; ta on aeglaste ja raskete asjade maailma elanik. Just nagu meis, nii pole ka temas midagi «ebamaist» peale mõtte- ja kujutlusvõime, mis alati püüavad võtta osa kõigist looduse asjadest, niipea kui ärkavad tegevaks eluks. Ja vaevalt jõuab see aeg talle kätte, kui ta peab algama sisemist võitlust oma loomulike klassikaliste kujutluste piiratusega. Ta peab neid võitma selleks, et tema loov mõistus saaks kätte oma ihaldatud õiguse looduse igasuguste uute veidruste käsitamiseks.

Mis teha, igaüks on sunnitud oma arengus piki lühimat marsruuti läbima kogu maailmatunnetuse põhimõttelise tee, mille inimkond enne teda on läbinud.

Meie sajandil on füüsika saavutanud võidu maise füüsikalise kogemuse piiratuse üle. Ja et jõuda tema tänasele eesliinile, peab igaüks saavutama samasuguse võidu iseendas.

Võit on saavutatav!

Selle ütlemiseks kirjutasingi ma oma reisimärkmed.

Ja ongi läbi meie reis! Kui palju me nägime võõral maal? Just nii palju, kui võimaldas meie poolt valitud marsruut. Sisuliselt oleme viibinud ainult kahel peamisel mäetipul, kust füüsikute pilgule avanes ääretu avarus: üks neist on relatiivsusteooria ideed, teine kvantmehhaanika ideed. Teejuhiks esimesele mäeharjale oli footon, teisele juhtis meid elektron. Ja veel, sai päevaselgeks, kui ääretu on elementaarosakeste imeline maailm. Rännakud selles maailmas võivad olla lõputud.

Kui reisijale meeldis maa, kuhu juhus, uudishimu või vajadus ta tõid, siis pöördub ta sinna ikka ja jälle tagasi. Valib uusi marsruute ja kirjutab uusi reisimärkmeid.

Niisiis, võib-olla uue kohtumiseni «mateeria algaluste» maailmas...

SISUKORD

Esimene osa

ESIMENE PEATÜKK ● Tundmus, mis harva valdab inimest. ● Kas pole vara sellest jutustada? ● Juhtum orus. ● Lootuste ja pettumuste mägi. ● «Seiklusvaim» ja «kiirtepalavik». ● Lõputu avastuste seeria lähteallikas. ● Ei, need ei olnud katsevead! ● Elementaarosakeste looduskaitseala. ● Miks tõi uudishimu meid Aragatsile? 7

TEINE PEATÜKK ● Teekond minevikuta linna. ● Kust on pärit see üleüldine huvi? ● Õigete võrdluste otsingud. ● Kummaline tühjus. ● Aine ja väljad. ● «Te peate selle kindlasti meelde tuletama!» ● Laskevalmis tuumaling. ● Ohtliku välkude taltsutamise asemel. ● Keskendatuse linnas. ● Niisugune on juba kord inimese loomus... ● Dubnas luuakse «mateeria algaluseid». 25

KOLMAS PEATÜKK ● Tuhandeaastased eksiränakud, millesse ei tohi suhtuda üleolevalt. ● Kirjutamata stsenaarium. ● Selleni oli tarvis kasvada! ● Newton põikleb. ● Teadlased naljatavad, nagu laulaksid matuselaulu. ● Planck oli 42, Einstein 21 aastat vana. ● Valgusosakeste teine sünd. ● Et midagi mitte ära põlata, tuleb teada, mis see väärt on! 41

NELJAS PEATÜKK ● «Kohe jõuate ise relatiivsusteooriani!» ● Valgust ei saa peatada. ● Gümnasist Einsteini kummalised mõtisklused. ● Atsteekide kivist peegel. ● Vana kooliõpetaja hämmeldus. ● Vankumatud seadused ripuvad juuksekarva otsas. ● Ei maksa klassikuid hukka mõista. ● Imetaolise valemi lihtsus. ● Kerges ja kiires maailmas... ● Kahtlused tekivad ja hajuvad. . . . 65

VIIES PEATÜKK ● Vastuolu, mis näib lootusetuna. ● «Ma ei oska kolmesajakordselt eksida!» ● Teised kilomeetrid ja teised sekundid. ● Mis seal siis toimub? ● See kiirus on kolmekordselt saavutamatu. ● Väikeste unistajate mured. ● Kosmosenukrus. ● Kas legend või mälestus? ● Einsteini teine autograaf. ● Ajatus ruumis rändav viirastus. ● Need on mikrokentaurid 89

KUUES PEATÜKK ● Romantika ilma romantikata. ● Lõigud ühetoonilisest filmist. ● Kes on need udust tunnelite ehitajad? ● Füüsikul oli õigus muiata. ● Lendab relativistlik osake! ● Mida teha üksikasjadega? ● «Laulvad elektronid». ● Pillamise ajalugu ● Majandusime graatsia. ● Aragatsi legendi algus. ● Miraažid, miraažid... ● Kas õhulossidest jäävad varemed?... 121

Teine osa

ESIMENE PEATÜKK ● Röntgen ei tunnusta elektroni. ● Kas rumalus või arukus? ● «Nüüd ma tean, kuidas näeb välja aatom!» ● Pool tundi pärast tuuma sündimist. ● See oli uskumatu... ● Rutherfordi mõttekainus. ● Füüsikuil polnud valikut. ● «Hukkamõistetud aatomi» päästmine. ● «Miks teil on roheline hääl?» ● Suurmeeste meeleheide. ● Looduse ühtsus. 179

TEINE PEATÜKK ● Lõpuks võrsus Bourbonide seast kuningas! ● Kaotatud trajektooride maailm. ● «Ainult kaks füüsikut söandas seda teha...» ● «Mateerialained»? ● Õigel ajal avaldatud oletus. ● Kohtumine Solvay kongressil. ● Maa näiv lainekujulisus. ● Paljugi, mis teoreetik võib kujutleda!... ● Päikesesüsteemi kvantmudel. . . . 218

KOLMAS PEATÜKK ● Mõni sõna lohutuseks. ● Algul oli kaks teed. ● Zürichi professor ja Göttingeni assistent. ● Ühekülgsed kired. ● «26. aasta ime». ● Ligikaudsuse udus. ● Piiratus ja võimsus. ● Vastuseta küsimus. ● Diogenese meetod ei sobi meile! ● Ei saa näha olematut. 243

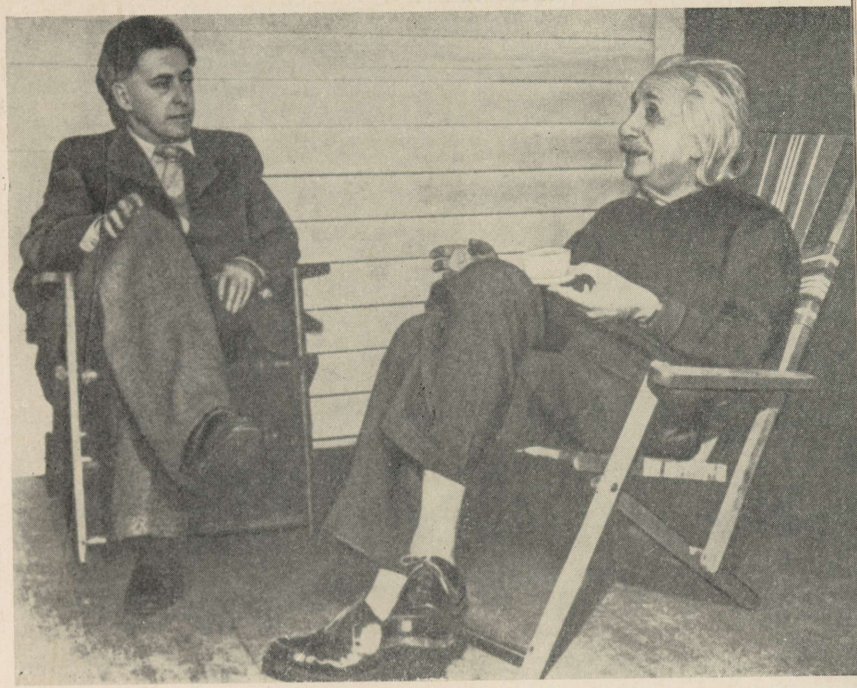
NELJAS PEATÜKK ● Määramatused, mida ei saa kõrvaldada. ● Mõttetuste laukas. ● Sellega pole midagi peale hakata! ● «Ebatäpsuste kamber». ● Klassikute meelekibedus. ● Tragunikapten kõneleb jumala nimel. Maailmakonstandid. ● «Saladuslik saadik reaalsest maailmast». Heisenbergi relatsioon. ● Mõistetakse ka seda, mida ei saa kujutleda. ● «Oodake, Landau, laske ka mul sõnake sekka lausuda!» 272

VIIES PEATÜKK ● «Maailma lõhe läheb läbi minu südame.» ● Uus seadusandlus. ● Alguses olid lained. ● Osakesed lahustuvad ruumis. ● Idee tuleb otsijale. ● «Kahekesi tonte ei näe.» ● Kuhu langeb siis elektron? ● Psiilainete mõistatus lahendati. ● Tõenäosuslik maailm. ● Einstein on nõus meiega, aga mitte Bohriga. ● Kelle poolt on loodus? 303

KUUES PEATÜKK ● Veel üks lahkumine. ● Kangist maailmahooneni. ● Kvantmehhaanika läheb tülli fatalismiga. ● Neljakümne neljandal aastal Visla taga... ● See kõlab kui paradoks. ● Seaduspärane juhuslikkus ● Kuulsal kongressil. ● Louis de Broglie' draama. ● Uudis pole just meeldiv. ● Vaadake, see on valge lipp! ● Kiiev, 1959. aasta suvi. ● Ajalugu läheb edasi. 336

Данин Даниил Семенович. НЕИЗБЕЖНОСТЬ СТРАННОГО МИРА. На эстонском языке. Оформление Ю. Аррака. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

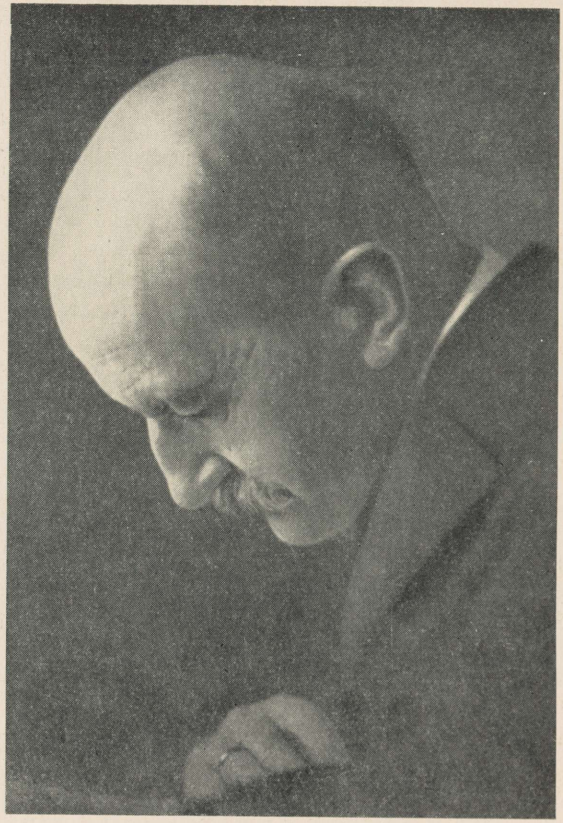
Toimetaja H. Heinoja. Kunstiline toimetaja A. Säde. Tehniline toimetaja O. Mullari. Korrektorid H. Kull ja T. Sillat. Laduda antud 12. VII 1966. Trükkida antud 24. X 1966. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 24 + 12 kleebist. Tingtrükipoognaid 21,4. Arvestuspoognaid 22,72. Trükiarv 10 000. Tell. nr. 5568. Trükikoda «Kommunist», Tallinn Pikk tn. 2. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Hind 87 kop. 2—3—1.



«See on draama, ideede draama ...» ütles tänapäeva füüsika ajaloo kohta tema tunnustatud pea — Albert Einstein.

(Esimene osa, neljas peatükk)

1946. aasta foto. Princeton, USA. Ilja Ehrenburg külastamas Albert Einsteini.



...Max Planck, vaikne, tagasihoidlik, pedantne uurija söandas teha hüpoteesi, mida keegi mitte kunagi ei julgeks nimetada «vaikseks ja pedantseks». Juba üle poole sajandi nimetatakse seda rabavaks, revolutsiooniliseks, suureks hüpoteesiks.

(Esimene osa, kolmas peatükk)



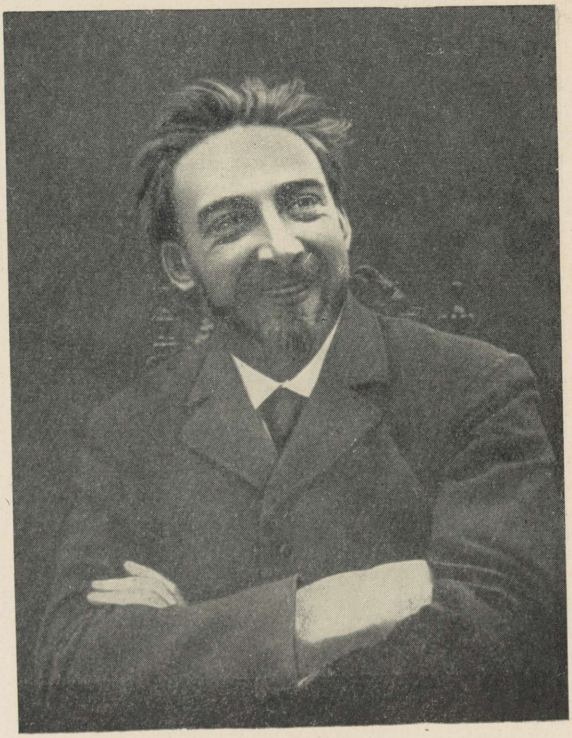
Meie kuulsa akadeemiku Ivan Vassiljevitš Kurtšatovi elu saab aja jooksul erutava jutustuse teemaks aatomisajandi karmidest teedest, lootustest ja saavutustest.

(Esimene osa, kuues peatükk)



Itaallane Enrico Fermi — esimese aatomireaktori looja — oli füüsik, kelles teoreetikugeenius oli ühendatud hiilgava eksperimentaatoritalendiga.

(Esimene osa, kuues peatükk)



Valguse rõhu olemasolu tõestas Pjotr Nikolajevitš Lebedev niisama lihtsalt nagu ümberlükkamatultki: tema hämmastavalt peentes katsetes tegi valguskiir mehhaanilist tööd nagu tuul, nagu rahe...

(Esimene osa, neljas peatükk)



«Tänapäeva füüsikule näib aeg-ajalt, et pind libiseb jalge alt ning ta kaotab igasuguse toe ...» rääkis akadeemik Sergei Ivanovitš Vavilov. Kuid lisas: «... See ebameeldiv tunne on petlik, pind füüsiku jalge all on kindel, sest see pind on faktid.»

(Teine osa, esimene peatükk)



...Sel ajal oli töö magnetväljadega Pjotr Leonidovitš Kapitsa kireks. See aitas tal muuta osakesi jutukamaks kui enne.

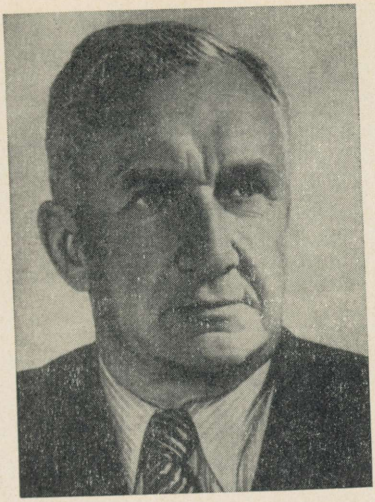
(Esimene osa, kuues peatükk)

1960. aasta foto. Akadeemik P. L. Kapitsa pärast Lomonossovi medali üleandmist. Paremal akadeemik V. A. Fok.



Akadeemik Dmitri Vassiljevitš Skobeltsõn oli veel noor uurija, kui ta esmakordselt tegi kosmilistele kiirtele ettepaneku pildistada end udukambris, mida läbis magnetväli.

(Esimene osa, kuues peatükk)





Akadeemik Igor Jevgenjevitš Tamm on andnud mikromaailma füüsikale palju peeni ja viljakaid ideid.

(Esimene osa, kuues peatükk)

«Valgusest kiiremate elektronide» kiirguse avastamise kahekümne viie aastane ajalugu lõppes 1958. aasta Nobeli preemia määramisega kolmele meie füüsikule — akadeemik Igor Jevgenjevitš Tammele, NSV Liidu Teaduste Akadeemia korrespondentliikmele Ilja Mihhailovitš Frankile ja professor Pavel Aleksejevitš Tšerenkovile.

(Esimene osa, kuues peatükk)

1958. aasta foto. Stokholm. Vasakult: P. A. Tšerenkov, I. J. Tamm, I. M. Frank.



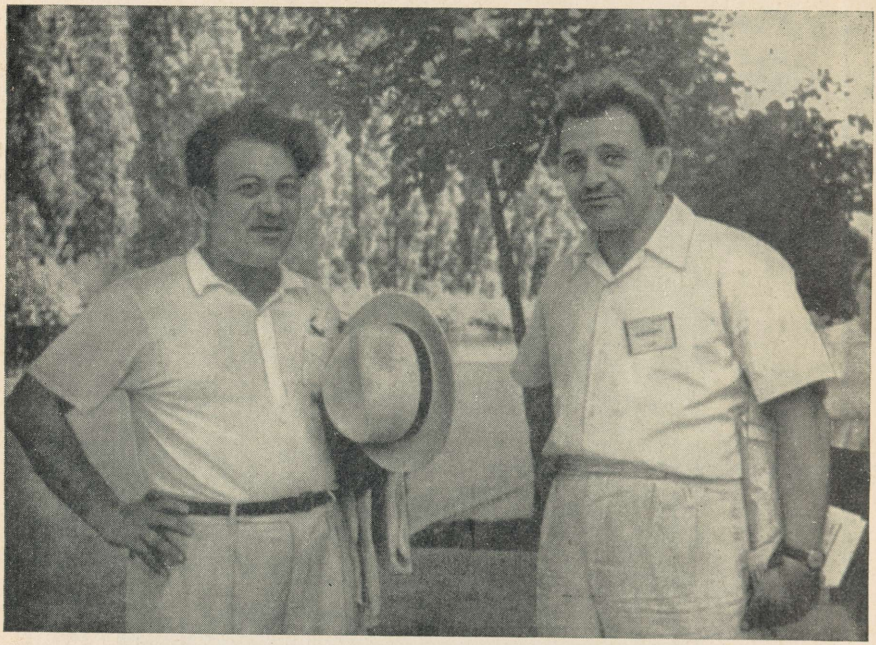
«Aga kes hakkab kasutama avastust, mille ma tegin?» Prantsuse teadlane, kes juba 1939. aastal patenteeris esimese «aatomipatarei», tulevane rahupooldajate juht Frédéric Joliot-Curie esitas endale õigusega selle küsimuse.

(Teine osa, kuues peatükk)



...Millist võrdlust leida laetud osakeste ringkiirendamise üldise printsiibi jaoks? Üks kuulsa Dubna sünkrofasotroni loojaid, akadeemik Vladimir Jossifovitš Veksler, pakkus kord võrdlust hobusega tsirkusearеenil.

(Esimene osa, teine peatükk)



...Kui vennad A. I. Alihhanov ja A. I. Alihhanjan alustasid 40-ndail aastail suurte lootustega oma dramaatilisi uurimusi kosmilise kiirguse koostise alal, asutasid nad füüsikalaboratooriumi taeva lähistel — Aragatsil, lootuste ja pettumuste mäel.

(Esimene osa, kuues peatükk)

1959. aasta foto. Kiiev. 9. rahvusvaheline konverents kõrgete energiate osakeste füüsika alal. Vasakul: akadeemik A. I. Alihhanov, paremal: NSVL TA korrespondentliige A. I. Alihhanjan.



...Ei, «elektroni ärakeelamine» polnud enese ja teiste suhtes range Wilhelm Konrad Röntgeni kapriis. Tema avastus kuulus tulevikku, teaduslikud vaated aga minevikku.

(Teine osa, esimene peatükk)



Peterburi Tehnoloogia Instituudi lõpetaja A. F. Joffe pidas Münchenis kaks aastat päevast päeva «võitlust elektroni eest», kuni võitis. Aja jooksul sai «papa Joffest» (nii nimetasid teda paljud kolleegid kogu maailmas) nõukogude suurima füüsikalise koolkonna rajaja.

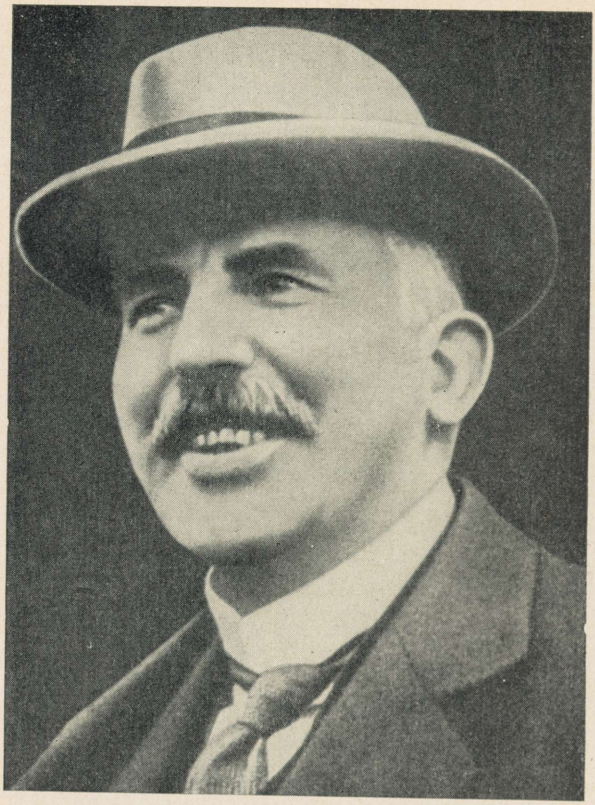
(Teine osa, esimene peatükk)



Elektroni avastamine... See oli Joseph John Thomsoni teene, teadlase teene, keda paljud kaasaegsed nimetasid lihtsalt ja südamlikult «Džii-Džii»...

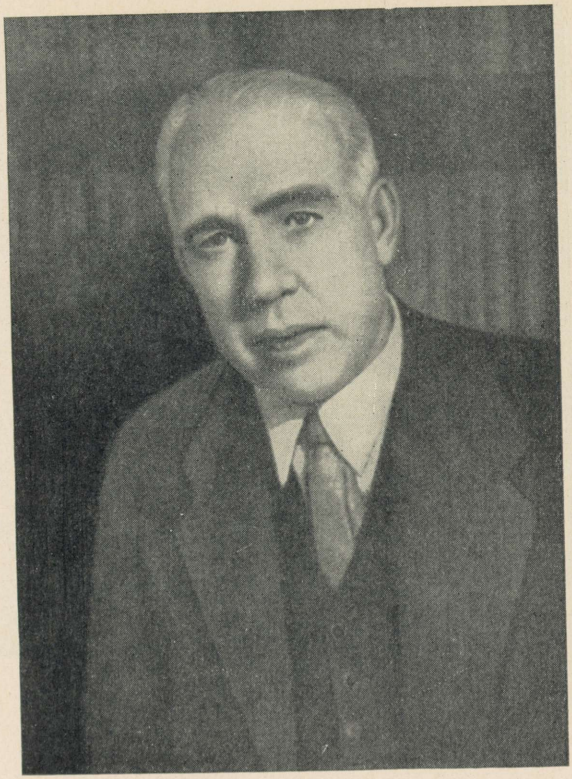
(Teine osa, esimene peatükk)

20-ndate aastate foto. Cambridge. J. J. Thomson (vasakul) ja Ernest Rutherford.



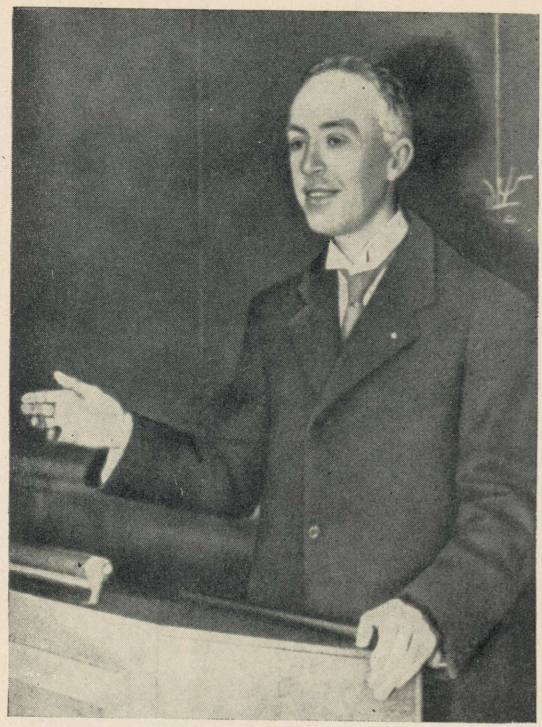
...Kaasaegse «alkeemia» looja Ernest Rutherford oli suurepärases tujus, kui ta kord 1911. aasta talvel laboratooriumi tuli ja kõuehäälel kuulutas: «Nüüd ma tean, kuidas aatom välja näeb!»

(Teine osa, esimene peatükk)



... Aeg tegi Niels Bohrist suurima autoriteedi kvantfüüsika alal ja tema kodumaa — väike Taani — sai paljude maade teoreetikute alaliseks palverännakute kohaks.

(Teine osa, neljas peatükk)



Prantsuse füüsikust Louis de Broglie'st kirjutatakse kunagi tõeline kirjandusteos: tema teaduslikus tegevuses ja tema idee saatuses on tõepoolest midagi sügavalt dramaatilist...

(Teine osa, teine peatükk)



Noor Göttingeni assistent Werner Heisenberg, kes avastas kuulsa määramatuste relatsiooni, oli valmis igaks uudsuseks, isegi kõige veidramaks.

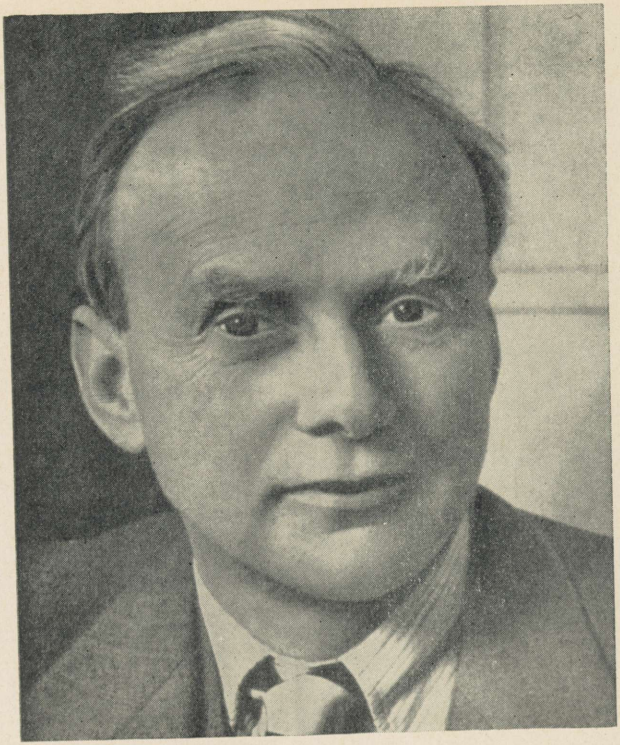
(Teine osa, neljas peatükk)

1959. aasta foto. Kiiev. 9. rahvusvaheline konverents kõrgete energiate osakeste füüsika alal. W. Heisenberg (vasakul) ja L. Landau.



«Kui me kavatseme säilitada need neetud kvanthüpped, siis kahetsen ma, et olin üldse seotud kvantide teooriaga!» nii hüüdis kord mikromaailma lainemehhaanika looja Erwin Schrödinger.

(Teine osa, kolmas peatükk)



Üks mikromaailma mehhaanika loojaist, inglise teoreetik Paul Adrien Maurice Dirac ennustas antiosakeste olemasolu, kuid oli algul isegi hämmeldunud oma teoreetilisest avastusest.

(Esimene osa, kuues peatükk)



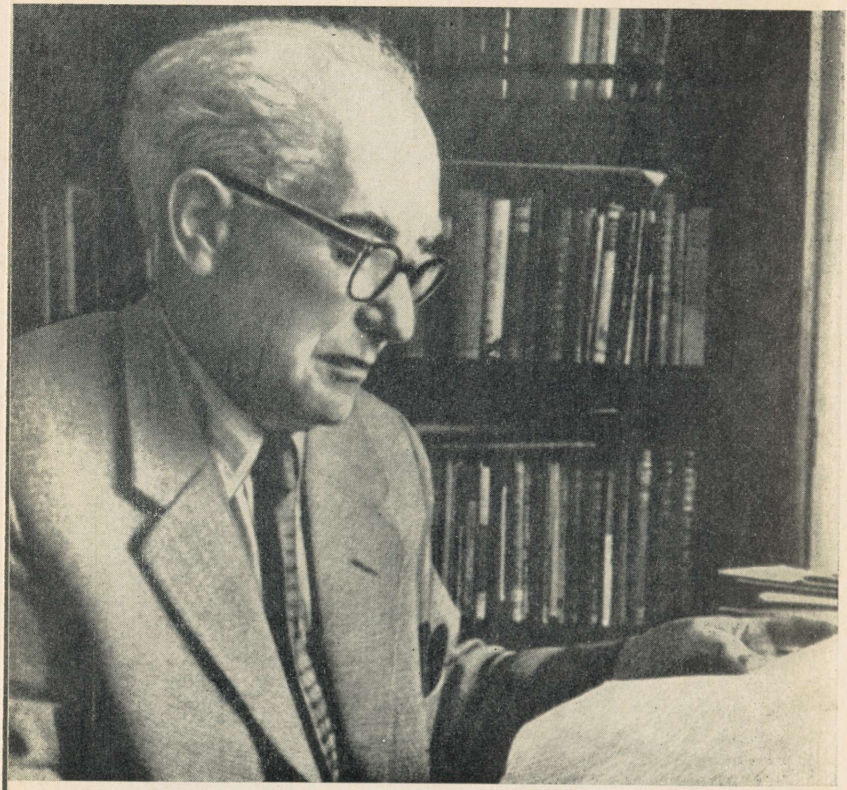
Neil 1931. aasta veebruaripäevil olid vaidlused kahekümne kolme aastase teoreetikuga Nõukogude Liidust, Lev Davõdovitš Landauga, peamiseks sündmuseks Kopenhaagenis — «kvantfüüsika pealinnas».

(Teine osa, neljas peatükk)

1961. aasta foto. Akadeemik L. D. Landau Moskva Riikliku Ülikooli üliõpilaste keskel.

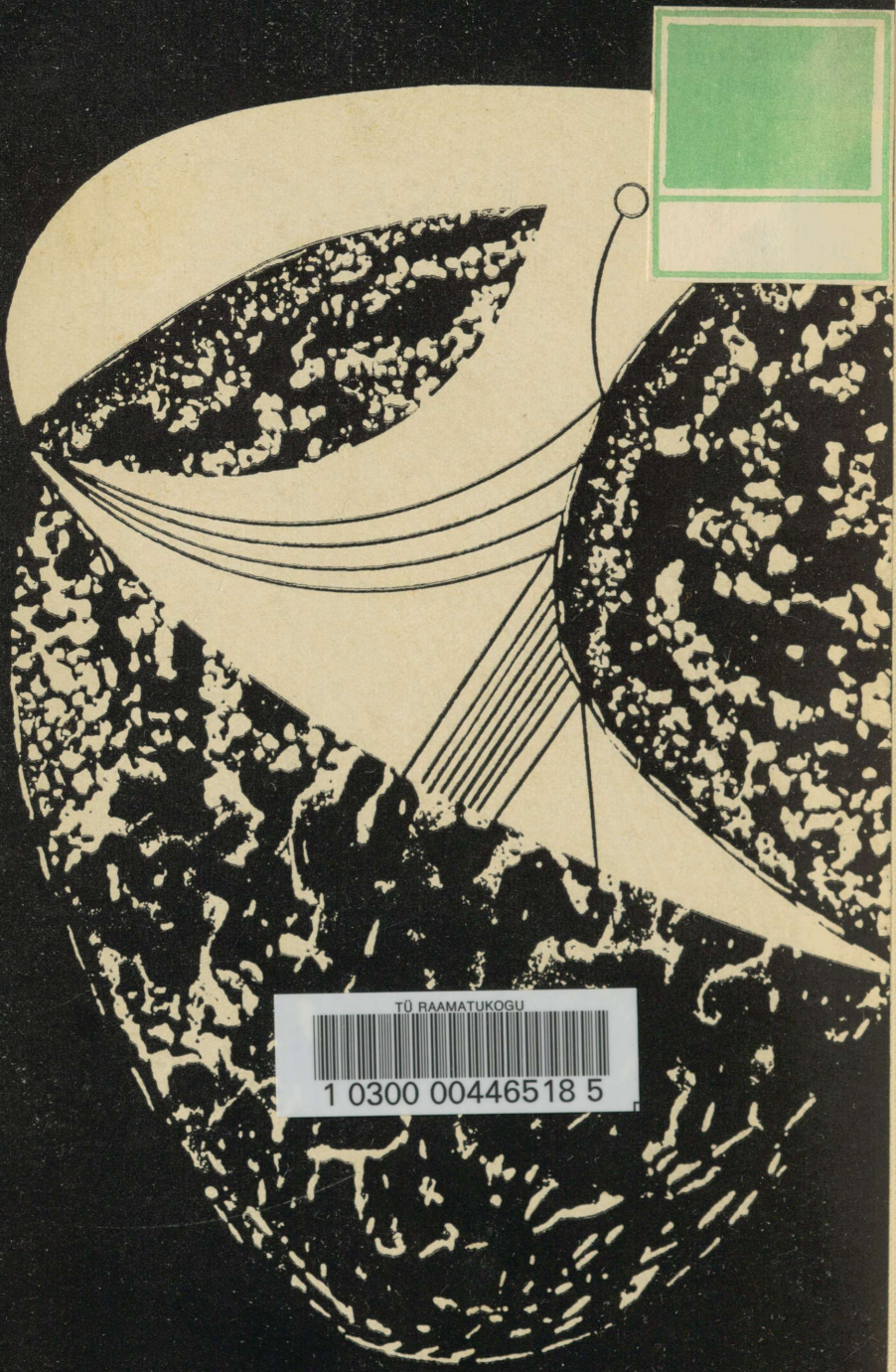


Kvantmehhaanika-alaste tööde eest 1960. aasta Lenini preemiaga autasustatud akadeemik Vladimir Aleksandrovitš Fok tõestas Bohrile, et «miski on mäda Taani kuningriigis».



Göttingeni teoreetik Max Born meenutas rahuldusega, kuidas ta 1926. aastal tõstis käe endise füüsikalise seadusandluse vastu.

(Teine osa, viies peatükk)

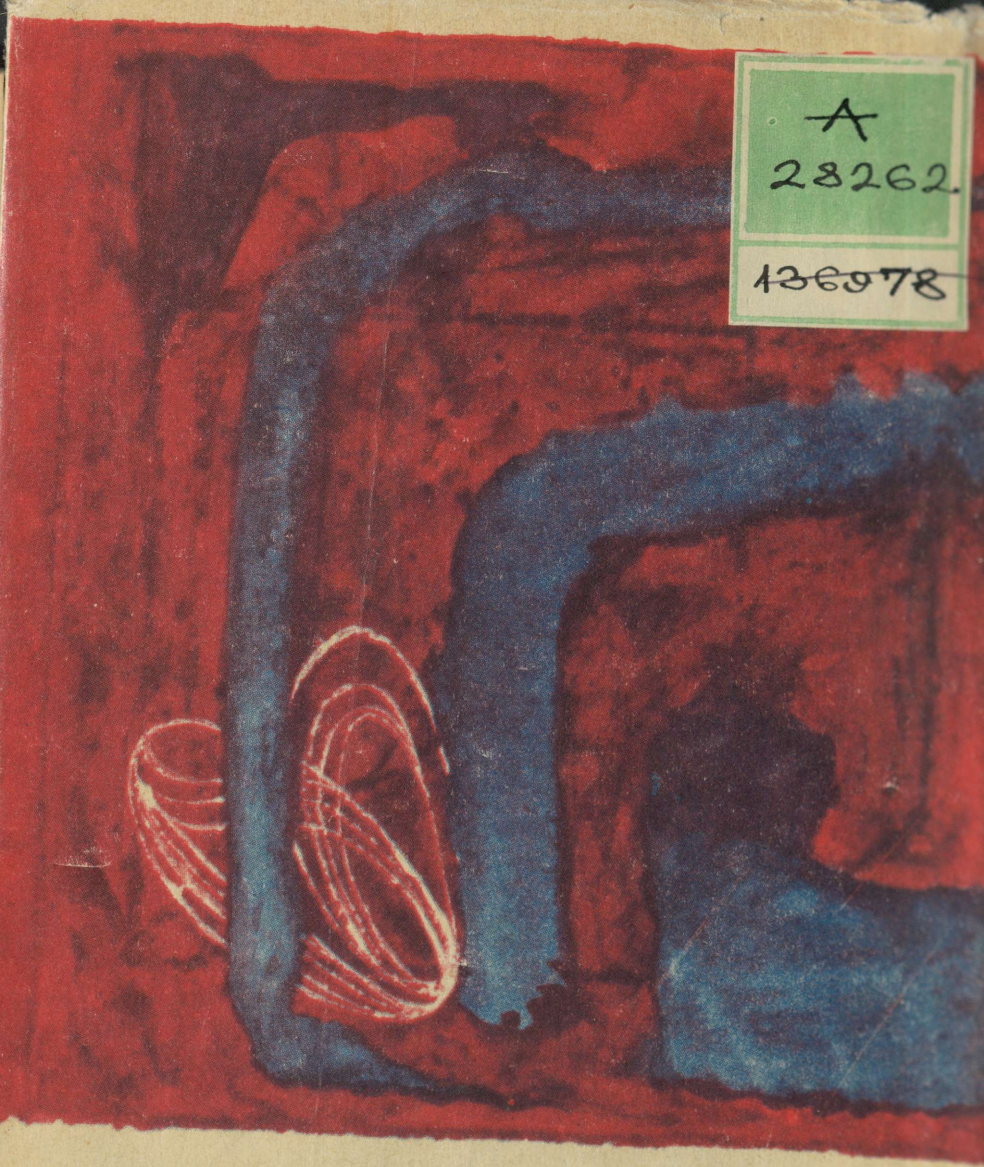


TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00446518 5

med sõnatult kokku: «Nüüd on peamine — aatomienergia! Lugege märgitud aatomitest. Unistage termotuumaseadmetest. Vaielge iga uskmatuga meie suure seaduse üle: ($e = mc^2$). On ilmunud mingisugune küberneetika — tähelepanu, tähelepanu, ärge laske teda silmist!»

Siis aga jõudsid kätte 50-ndad aastad... Maailmaruumi alistamine vallutas kõigi maakera piimahabemete mõtted ning kavatsused (nad teadsid sedagi, et Maa pole üldse kera, vaid geoid!). Need olid nemad, meie poisid, kes igast geoidi äärest saatsid kirju aadressil «Kosmos, Moskva» ettepanekute ja palvetega võtta end kaasa esimesele retkele Kuule, Marsile, Kentauri tähtkogu alfale. Ümbrikutel olid margid: Lenini mälestussammas, Aafrika palmid, Pekingi vaated, Inglise kuningate profiilid, Manhattani pilvelõhkujad.

Ja nüüd varjutab poisikestest astronautide mõtteid üksainus mure. Muide, miks ainult poiste? Tütarlapsed, nende vennaskonna võrdõiguslikud liikmed, on andnud matemaatikale ja füüsikale Sofja Kovalevskaja, Marie ja Irène Curie, Lise Meitneri, Wu Hen Xuni. Neil on õigus samadele muredele. Ja nad on ärevuses nagu omavanused poisidki: «Kuidas jääb raketikiirustega, kui valguse kiirus on iga keha jaoks ületamatuks piiriks? Kas inimesed saavad kunagi külastada kaugeid galaktikaid, kui tee sinna ja tagasi kestab miljoneid valgusaastaid? Kuidas kavandada maailmaruumi vallutamist, kui kiiruste piir kammitseb inimkonna tiibu?...»



A
28262.
136978



1 0300 00446518 5
TÜ RAAMATUKOGU

D. DANIN • kummalise maailma paratamatus

