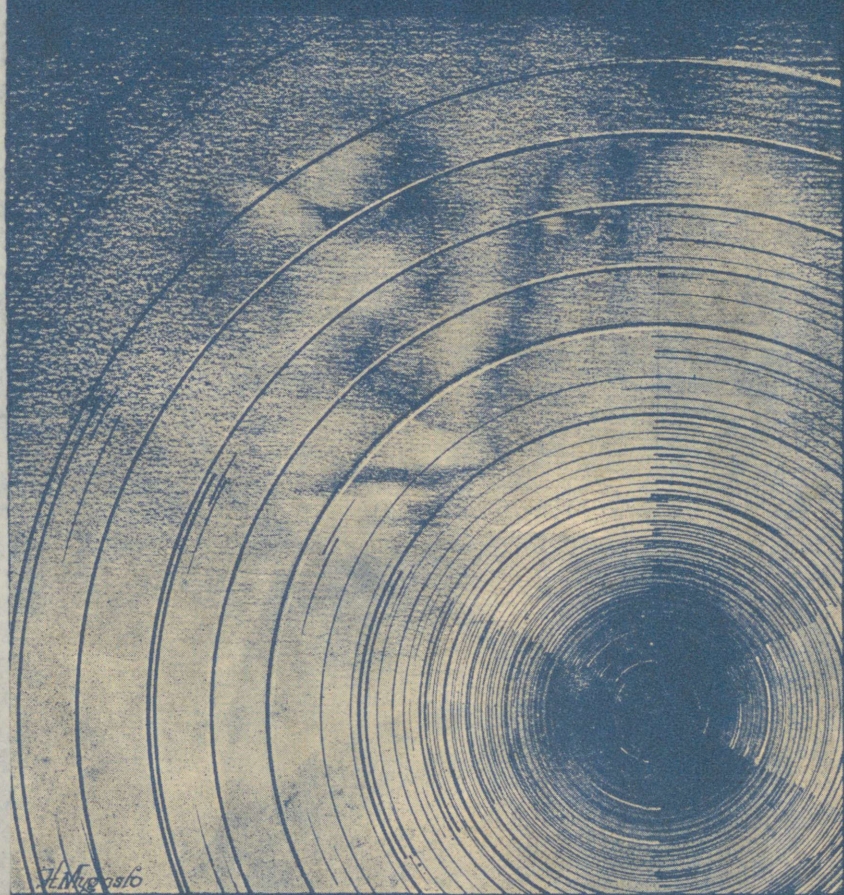


ELAV TEADUS Nr. 10

PROF. OLIVER LODGE  
**ENERGIA**



*H. M. 1906*

# EESTI KIRJANDUSE SELTSI

POPULAARTEADUSLIK SEERIA

## ELAV TEADUS

ilmub 12 numbrit aastas  
80—120 lk. number.

### TELLIMISHIND

ühes saatekuludega

Aastas — 12 nrit Kr. 9. —

Seda summat võib tasuda  
osakaupa järgmiselt:

Tellimisel . . . . . Kr. 6.—

1. juulil . . . . . „ 2.—

1. oktoobril . . . . . „ 1.—

Poolaastas — 6 nrit Kr. 5. —

Veerandaastas — 3 „ „ 2.75

Üksiknumber „ 1. —

### TELLIMISI VÕTAVAD VASTU:

kõik postkontoriid,

raamatukauplused,

Eesti Kirjanduse Seltsi

usaldusmehed ja

## EESTI KIRJANDUSE SELTS

Lai tänav 35, telef. 6-01, Tartus

E L A V T E A D U S  
E E S T I K I R J A N D U S E S E L T S I  
P O P U L A A R T E A D U S L I K S E E R I A  
T A R T U S 1 9 3 2 № 1 0

E N E R G I A



PROF. OLIVER LODGE

# ENERGIA

JA LOODUSTEADUSLIKU  
MAAILMAKÄSITUSE ALUSED

TÖLKINUD JA TÄIENDANUD

EESTI KIRJANDUSE SELTSI KIRJASTUS  
TARTU, 1932

TOIMETUS: [REDACTED] — TEGEV TOIMETAJA,  
D. PALGI — VASTUTAV TOIMETAJA, [REDACTED]  
[REDACTED]



5516

A-7963

## Eessõna.

Käesolev raamat püüab teha lihtsaks ja arusaadavaks keerukaid nähtusi, käsitledes neid lihtsate näidete abil. Algajal oleks soovitav läbi lugeda seda raamatukest mitu korda, igatahes enam kui üks kord, sest see vajab siiski teatud pingutust. Eriti soovitav on juba lugemise kestes veel kord läbi lehitseda loetud osi, et alati oleks silmade ees kokkuvõtlik pilt kõigest sellest, mis eespool loetud. Igaüks, mitte ainult algaja, eksib sageli, kui kujutleb, nagu mõistaks ta kogu käsitletavat ainet päris selgesti, kui ta on pealiskaudselt tuttav ainult üksikute põhimõistetega. Põhimõistete omandamine täielikult ei lähe kunagi nii kiirelt. Korrata lugemise aegu senini esinenud andmeid, katsuda nendega hingeliselt kokku sulada — see kõik on tarvilik küsimuse täielikuks mõistmiseks. Kui aga lugejale näib küsimuse käsitletu olevat vanamoeline, nagu tungi mõiste selgitamine, siis pole loomulikult põlatud ka vastupidised mõtteavaldused. Iga küsimuse selgitamiseks on meetodilistel kaalutlusil valitud ainult üks kindel seletusviis.

Võib-olla küsitakse veel, kuidas on lugu füüsikaliste mõtlemisviiside revolutsioonidega, mis kestavad

juba aastaid. Kuidas suhtuda neisse? Vihjeid ja eelaimusi muutuste kohta meie reaailma mõistmiseks leidub ka käesolevas elementaarses (algelises) kokkuvõttes. Nende vihjete eesmärk on äratada huvi ja tahet veelgi rohkem teada, kuigi raamatukese peaesmärk on anda vundamenti, millele võiks edasi ehitada. „Vana füüsika“ teadmine ja mõistmine on olulise tähtsusega uue arusaamiseks.

Jaanuar 1921.

Oliver Lodge.

## I.

# Energia ja töö.

## Lihaste pingutus ja väsimus.

Füüsilised nähtused toimuvad mehaaniliste tungide mõjul, mis kutsuvad nähtuse esile kas otsesel mõjustamisel või avaldades oma mõju teatavast kaugusest. Tungi ehk jõu mõiste on meile seletamatagi selge: seda tunnevad meie lihased. Lihaste poolt tekitatud tungid võimaldavad meil teotseda, tööd teha materiaalses (ainelises) maailmas. Pingutus on loomulikult suur, kui meil tuleb tõsta näit. rasket koormat, aga väike, kui käsitseda riideharja või sullepead, kuid ikka ja alati peame teadma, et materiaalses maailmas me ei saa ilma tungita midagi teha, — alati on tarvilik lihaste pingutus. Isegi näit. kõnelemise ja karjumise puhul meil tuleb pingutada kurgu- ja rinnalihaseid, mis mõjustavad häälepaelte tegevust. Tungi abil on meil seega võimalik tööd teha. Keha võimet tööd teha me nimetame energiaks.

Kui pingutame end üle, siis tunneme, et oleme energiat kulutanud ja oleme seetõttu väsinud. Füsioloogid seletavad väsimust mürgiste ja kõlbmatute

ainete tekkimisega lihastes. Puhkamisega kaovad need ained aegamööda ja me oleme jälle töövõimelised. Energiat me saame toidu sisemise põlemise teel, ja nimelt toidu ühinemisel õhu hapnikuga, mida kopsudega sisse hingame ja mida punased verelibled igasse kehaossa laiali kannavad. Meil on siin siis analoogia (sarnasus) iga masinaga, mis ammutab energiat põlemise teel.

Põlemisega on alati seotud teatud soojusehulga vabanemine, milline nähtus esineb paratamatult ka igas masinas. Loomulik põlemine toimub meie kehas väga aeglaselt — aeglase keemilise ühinemise näol, mispärast meie keha temperatuur ongi võrdlemisi madal. Tõeline põlemine tulena on kiire reaktsioon, kus süsivesikud ühinevad õhuhapnikuga suure kiirusega, eraldades seejuures suuri soojusehulki. Põlemise produktid (saadused) on ühed ja samad niihästi elavas organismis (loomas ja taimes) kui ka masinas, nimelt süsihappu gaas, vesi ja tuhk — neid kas hingame sisse või higistame oma kehast välja. Lavoisier võrdles hingavat hiirt põleva küünlaga ja näitas, et mõlemad kasustavad põlemiseks rasva, mis põlemisel ühineb hapnikuga. See katse oli biokeemia (elukeemia) aluskatse. Kunstlikkude korraldustega me võime kasustada tuld masinate liikuma panemiseks, s. t. kasustame neid tungide allikatena. Samuti on lugu ka meie lihaste mehhanismiga; energia vabaneb sisemise põlemise tulemusena ja teda võime siis kasustada tungide esilemanamiseks ja liikumiseks.

Energiakulu iga tegevuse puhul oleneb tungi suurusest ja tee pikkusest, mida läbi käib tungi raken-  
duspunkt. Kui me käime pikemat maavahemikku, siis tunneme väsimust, sest iga sammu juures peame tar-

vitama tööd, kuna tehtud sammude arv mõõdab vahemiku pikkuse, mille oleme läbi käinud. Veduris kasvab küttekulu sõidetud tee pikkuse kasvades, samuti juhul, kui veduril tuleb sõita ülesmäge või vastu tugevat tuult. Energiakulu (E) abil mõõdetakse alati käidud tee pikkust (t), korrutades seda tungi suurusega (f) ( $E = f \cdot t$ ). Kui me jookseme künka veeru mööda üles või ronime mäe otsa, siis meil tuleb ületada meie kehasse mõjuvat raskustungi ja seetõttu kulutame oma energiat kiiresti. Igasuguse energia-kulutamise korral ütleme, et me teeme tööd ja töö hulk mõõdetakse tungi ja teepikkuse korrutisega.

Näiteks töö hulk, mida teeb hobune, tõmmates kündmisel atra enda järele, on võrdne korrutisega tungist, millega hobune atra tõmbab, ja läbikäidud tee pikkusest (s. o. vao pikkusest). Et mõõta seda tungi, seks võib tarvitada näit. dünamomeetrit ehk tungimõõtjat, mis ehituselt sarnane vedrukaaluga.

### Masinate poolt tehtud töö.

Tavaliseks tööühikuks on kilogramm-meeter (kgm), millist ühikut tarvitatakse sageli masinate poolt tehtud töö hulga mõõtmiseks: see on töö hulk, mida tehakse tõstes 1 kilogrammi raskuse asja 1 meetri võrra kõrgemale. Tung, mis seejuures teeb, on suunatud üles, ja sellega ületatakse raskustung (s. o. tung, millega Maakera tõmbab asja alla). Muidugi võib tungil olla ka teissugune suund. Kui tõsta 1 kg 10 m kõrgusele, siis tehtud töö hulk on

võrdne töö hulgaga, mida teeme tõstes 10 kg 1 m kõrgusele. Ülestõstetud raskus võib aga mahakukkumisel ise tööd teha samuti kui kella vedru üleskeeramisel: me nimelt tarvitame sellekski teatud energiat ja kogume nii vedrusse energiatagavara, mis sealt vabanedes võib hoida kella käigus pikema aja jooksul. Ülestõstetud keha võib tagasi anda kogu energia hulga, mis talle anti tõstmisel, kuid täielikult ainult sel juhul, kui kuski ei esine hõõrumist. Praktiliselt annavad masinad neisse kogutud energiat vähem tagasi, kunagi aga ei tule ette, et masin võiks rohkem energiat anda, kui temasse varem koguti. Kella üleskeeramine tähendab energia koondamist elastsesse (vetruvasse) kella peavedrusse, ja see võib täpsalt samal hulgal ära kasustada, s. o. tagasi anda temasse kogutud energia tagavara, lükates käima kella rattakesi ja osuteid. Sõites jalgrattaga mäest üles kogume ülestõusmisega teatud energiahulga varuks, mida võime kasustada mäest alla sõites, ilma et tarvitseksime end enam pingutada.

Mida täielikum on masin, seda suurema osa masinasse kogutud energiat võime pärast tagasi saada. Tõmmates vibu pingule me kogume energiat elastsesse puusse, mis vibu lahtipäästmisel nööri kaudu kandub noolesse.

Suurendada kuidagiviisi masinasse kogutud energia hulka pole võimalik isegi mingi mõeldava leiutise abil. Võime ainult olemasolevat energiat kasustada. Võime juhtida oma lihaseid ja nende abil teha mitmesugust tööd. Võime nende abil küllaldase vilumuse puhul valmistada

väärtuslikke esemeid. Võime mitte ainult kive tõsta, vaid võime ka ehitada maju, mitte ainult liigutada sõrmi, vaid ka mängida orelil, kirjutada luuletisi. Küll näit. joonistamise juures etendab tähelepanu ja oskus suuremat osa kui mehaaniline tegevus ja pealegi niivõrt suuremat, et mehaaniline tegevus jääb selle kõrval täitsa varju; siiski on tähtis meeles pidada, et füüsikaseadused on seesuguse tegevuse puhul maksivad samuti kui mujal. Kuigi tähtsamat osa siin ei etenda mehaaniline töö, vaid meie mõistus, mis juhib tegevust, jõud, mis väljaspool füüsikaseadusi, on ometi tōsi, et ka seda energiat tuleb arvata samasse liiki ja et midagi ei saa teha ilma tööta. Huvitav on meie mõistus ka selle poolest, et ta mitte ei ole ainult energia, vaid et tal on võime ka energiat juhtida ja saavutada seetõttu tulemusi, mida kavatsesime ja milliseid vastasel korral poleks olnud.

Mida me teeme oma energia kulul, see oleneb meie tahtest ja ümbruskonna mõjust meisse.

### Masinate tegevus.

Masinaks me nimetame mehaanikas vahendit, mis võimaldab meil teha hõlpsasti tööd, mis varustumata lihastega tehes oleks liiga raske või hoopis võimatu. Need vahendid on sageli päris lihtsad. Me ei suuda näit. otseselt tõsta 1-tonnilist (= 100 kg ehk 61 puuda) raskust. Võime seda teha aga osade kaupa, nagu teeb seda näit. müürsepp, kes, selle asemel et kanda tervet koormat telliskive korraga üles, kannab neid

osade kaupa, igakord võttes kaasa niipalju, et tal ei tuleks redelit mööda üles minnes jõust puudus. Kuid pööra abil võib tõsta ühekorraga suurt hulka telliskive, kusjuures pööra vända ringiajamiseks tuleb rakendada väikest tungi ehk jõudu, kuid vânta tuleb ringi ajada väga palju — suur raskus tõuseb üles aeglaselt. Kui meil oleks tarvis tõsta näiteks 400-kg-line koorem 10 m kõrgusele, siis otsesel tõstmisel peame selle koorma raskuse ületamiseks rakendama tungi 400 kg, suunaga ülespoole. Tungi käidud tee pikkus oleks seejuures muidugi 10 m, tehtud töö hulk seega  $400 \times 10 \text{ kgm} = 4000$  kilogramm-meetrit. Tarvitades aga pööra, mille ratta läbimõõt on võlli omast 10 korda suurem, tuleks pööra vända ringiajamiseks rakendada 10 korda vähem tung, s. o.  $400 : 10 = 40$  kg. Seevastu aga vända käepidurit tuleb edasi lükata pööra ringiajamisel 10 korda pikemal teel, kui seda tarvis oleks teha koorma otsesel tõstmisel, s. o. 100 meetrit. Ka pööra abil seda koormat tõstes 10 m kõrgusele, kuluks meil teha sama tööhulk, s. o. 4000 kilogramm-meetrit. Pööra tarvitamisel seega võitu tööhulgas ei ole. Eriti hästi võib seda küsimust selgitada kangi juures. Kangiks nimetame pikka varba, mõnel juhtumil ka palki, mis võib pöörduda kindla toetuspunkti ümber. Kangi tarvitame näit. raskete kivide tõstmiseks. Seks asetame kangi ühe otsa tõstetava kivi alla, kuna toetuspunktiks valime teise vähema kivi, mis asetame kangi alla tõstetava kivi lähedale. Kivi tõstmisel vajutame kangi teise otsa alla, milleks rakendame oma raskust. Et kangi otsa allavajutamiseks tarvisminev tung oleks väiksem kivi raskusest, seks valime kivipoolse kangi „õla“ pikkuse mitu korda lühema kui teise õla pikkuse. Seejuures

näeme ka, et me vajutamisel teeme palju pikema tee, kui teeb seda kivi tõusmisel. Kivi tõuseb nii mitu korda vähem (seega ka aeglasemalt kui vajub kangi teine ots), kui palju on kivipoolse kangiõla pikkus lühem teise õla pikkusest. Siit järgneb: mitu korda võidame kangi abil tungi suuruse poolest, nii mitu korda kaotame tungi rakenduspunkti poolt käidud tee pikkuse poolest. Sellest järgneb ka, et kivi tõstmisel tehtud töö hulk võrdub kangi teise otsa alla vajutamisel tehtud töö hulgaga.

Masinaid võib käsitleda ka teispidi, nimelt me võime nende tarvitamisel kaotada tungi suuruses, kuid võita käidud tee pikkuses, seega ka kiiruses. Vajutades näit. jalgratta pedaalile, võime edasi sõita mitu meetrit, olgugi et pedaal nihkub seejuures ainult mõne sentimeetri võrra edasi. Kui madrused vinnavad merepõhjast laevaankru üles, siis tarvitavad nad pööra, mille ümber kerivad ankru ketti. Seejuures kõnnivad nad ümber pööra telje aeglaselt, lükates enda ees pööra kangi. Ankur tõuseb õige aeglaselt üles. Kui madrused laseksid pööra kangi lahti, siis hakkaks ankur alla langema suureneva kiirusega; ankru pöör pöörduks väga kiiresti ja pööra kanged lendaksid tsentrifugaaltungi toimel pööra küljest ära, tekitades õnnetuse, nagu seda mõnikord ongi juhtunud. (Vanasti kasustati seda äralendamist viskemasinainas ehk katapultides.) Et hoiduda sellistest õnnetustest, on iga niisugune masin varustatud piduriga ja kaitseseadisega, mis võimaldab vältida soovimatuid „äralendamisi“.

Kiirus sisaldab ajaelementi. Õieti annab otsene kiirusetunne meile kujutelma ajast. Kuid meil on vältusetunne ka siis olemas, kui meil pole mingit

liikumist: arvatavasti molekulaarne tegevus<sup>1)</sup> meie kehas tekitab „ootamis“-tunnet.

Masinad, mis koguvad energiat aeglaselt, kuid tagasi annavad kiirelt, on ehituse poolest keerukamad. Vibu on näit. masin, mis võtab energiavaru vastu aeglaselt, kuid tagasi annab väga lühikese aja kestes.

Leydeni purk<sup>2)</sup> vabastab oma energiavaru silmapilkselt; selle valgusel näivad kosk või galopeeriv hobune paigalseisvaina. Teiselt poolt aga kella üleskeeramine toimub kiiresti, ta jookseb maha aeglaselt; ent ikka ja alati, kus me kaotame jõus, seal võidame kiiruses või liikumise kestuses. Kui masinas ei esine energia kogumist, siis on ka sel juhul maksev reegel, et tungi suuruse ja käidud tee pikkuse korrutis on muutusetu. Nagu näeme, selles seaduses pole midagi mainitud ei ajast ega kiirusest; tõepoolest igal töötegemisel on oluline vaid käidud tee pikkuse korrutis selle tee ulatusel mõjunud tungi suurusega. Seega tõstes näit. 1 tonni ühe meetri kõrgusele või 100 kg kümne meetri kõrgusele, me teeme ikka sama töö hulga, kas me tõstame neid sellele kõrgusele sekundi, minuti või mistahes ajavahemiku vältel.

### Nähtavad energiakaod.

Masin, mis annaks töötegemisel sama palju energiat tagasi, kui palju temasse oli mahutatud, oleks

---

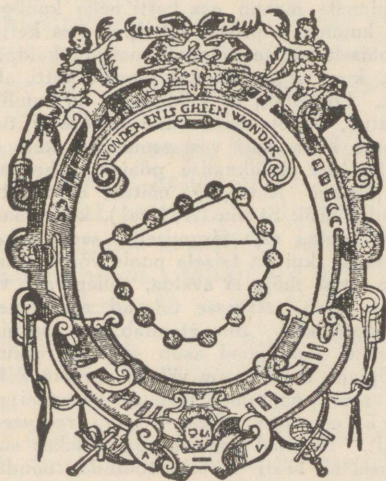
<sup>1)</sup> S. o. aine pisiosade liikumine. Võiks lisaks märkida, et alatise liikujana ja siis ka ajamõõtjana esineb meis ju süda ning pulss, samuti meie teadvuse vaheldus. Red. t.

<sup>2)</sup> Purgitaoline riist, millesse võib koguda elektrilaengut.

ideaalne; tõepoolest ei anna masinad iialgi täpsalt sama palju tagasi, vaid ikka vähem. Ideaalse olukorra saavutamiseks puuduvad meil võimalused. Ajal, mil see tõsiasi inimsoole ei olnud päris selge, tehti väga palju asjatuid katseid ehitada masinat, mis annaks rohkem energiat, kui temasse oli kogutud, teiste sõnadega: püüti ehitada masinat, mis tekitaks mittemillestki energiat. Nii-suguseid n. n. *perpetuum mobile*'id <sup>1)</sup> ehk igiliikujaid,

1) *Perpetuum mobile*.

Otsijaid vaime on ikka ja alati huvitanud igavestiliikuva masina, n. n. *perpetuum mobile* probleem ja on ehitatud hulk meh-



Joon. 1. Stevini kaldpind.

hanisme, mis näiliselt peaksid igavesti iseenesest liikuma. Toome neist ühe ajalooliselt huvitava. Juba XVI sajandil leiutati järgmine

s. o. igavesti liikuvaid masinaid tahetigi ära kasutada energia-allikatena, sest see masin võiks ringi ajada teisi masinaid alalõpmatult, kusjuures need teised teeksid tööd *perpetuum mobile*' abil mitte millestki saadud energia arvel. Eriti palju katsetati *perpetuum mobile*' leiutamiseiga keskajal, mil ei tuntud veel energia jäävuse seadust, kuid nüüd, millal see seadus on tuntud, jõuti loomulikult

---

mehhanism. On võetud kolmetahuline prisma erilaiuste tahkudega ja asetatud nii, et üks tahk on horisontaalne, kaks teist tahku moodustavad siis kaldpinnad, ühe suurema ja teise vähema kallakuga. Selle prisma ümber on asetatud sama rasketest kuulikestest tehtud kett nii, nagu näha joonisel 1. Ketil vaatleme kolme osa: vasakule kaldpinnale mahub osa ketti nelja kuuliga, paremale — osa ketti kahe kuuliga ja prisma all ripub osa ketti kaheksa kuuliga. Nagu jooniselt näeme, tõmbab vasakult kaldpinnalt ketti alla 8 kuuli raskus, kuna paremalt kaldpinnalt ketti alla kisub ainult 6 kuuli raskus. Oletades, et kaldpinnad ja kuulikesed on hästi siledad ja õlitatud, nii et hõõrdumine arvesse ei tule, peaks kett hakkama liikuma kella-osuti vastassuunas ja keti liikumine peaks kestma igavesti, sest et liikumise põhjus, vahe kuulikeste arvus, jääb kogu aja püsima. Katse aga näitab, et oodatud liikumine ei toimu. Hollandi füüsik Stevin (XVI saj.), kelle raamatust ka meie pilt on võetud, seletas asja järgmiselt: see osa ketti, mis ripub, tõmbab ketti ühele kui ka teisele poole võrdse tungiga, nii et ta keti liikumisele üldse mõju ei avalda, sellepärast võime teda oma vaatlustest välja jätta. Arvesse tulevad ainult need osad ketist, mis asuvad kaldpindadel. Siin etendab aga osa pindade kallakus. Olgugi et vasakul kaldpinnal asub suurem raskus kui paremal, kuid selle kaldpinna kallakus on vähem parema kallakusest ja võimaldab temal asuval suuremal raskusel paremini pinnale toetuda, nii et ainult vähem osa sellest 4 kuuli raskusest mõjub ketti maha tõmbavalt. Paremal pool on aga kallakus suurem ja ei lase vähemal raskusel nii hästi enesele toetuda, nõnda et suurem osa 2 kuuli raskusest mõjub ketti maha tõmbavalt. Kui kett ei liigu, siis, nagu näha, maksab siin mingi füüsikaseadus, mis lausub, et väiksem osa 4 kuuli raskusest on võrdne suurema osaga 2 kuuli raskusest. Täpsamalt võib seda seadust väljendada nii: raskused kaldpindadel hoiavad üksteist tasakaalus siis, kui nad on võrdelised kaldpindade pikkustega.

välja niikaugele, et sellist masinat on võimatu ehitada, sest see oleks looduseseaduste vastu.

Samuti selgus, et masinat saab kasustada ainult kas tungi suurendamiseks, kaotades seejuures tee pikkuses, seega kiiruses, või kiiruse suurendamiseks, kaotades tungis. Masinat ei saa kasustada, nagu näeme, tungi ja tee pikkuse korrutise, s. o. tööhulga muutmiseks, sest ükski masin ei või suurendada tööhulki, ta võib ainult temasse kogutud energiat meie tahte kohaselt anda kas kiiresti või aeglaselt, kas suurendades või vähendades kiirust või tungi, oleneb masina otstarbest ja ehitusest. See tõsiasi on tuntud juba uueaegse füüsika põhjendajate Newtoni (1643—1727) ja Galilei (1564—1642) ajast. Juba nemad aimasid, et masinaga võib muuta ainult töö iseloomu, mitte aga töö hulka. Nad teadsid samuti, et meil pole masinate abil võimalik energia hulka suurendada, küll aga kaotada.

Mõnikord läheb energia kaduma täiesti kasutult. Näit. kui üleöstetud kellavihtide ketid läbi lõigata, siis kukuvad vihid kohe maha, ilma et nad teeksid seejuures mingisugust kasulikku tööd; nad annavad ainult põrandale hoobi. Mõnikord võib hoopigi ka ära kasustada, näit. kas või vasara hoopigi; kuid mõnel juhtumil näib siiski, nagu oleks tegemist mingisuguse energia kadumisega; kas või juhtumil, kui üleskeeratud vedrul lasta ära roostetada või lahustada mõnes happes nii, et ta ei pääseks seejuures lahti. Näib, nagu oleks üleskeeramiseks äratarvitatud energia kasutult kaduma läinud. Newton ja Galilei ajal arvatigi veel, et siin läheb energiat tõeliselt kaduma. XIX sajandil aga hakati aru saama, et ka sellistel juhtumitel on alati mõningaid tulemusi. Kui

näit. taguda tina, siis läheb ta peagi kuumaks. Vilunud sepp võib naela taguda nii, et see hakkab punaselt hõõguma. Puurmasina alt väljalennanud metallilaastud on niivõrt kuumad, et neid ei saa puutada. Rumford kallas kahuritoru puurimisel puuritavasse avausse vett ja see hakkas keema puurimise juures vabanenud soojuse arvel. Harilik puutükk, kui teda hõõruda vastu teist treipingil pöörlevat puutükki, võib isegi põlema süttida, vähemalt hakkab ta suitsema. Mõned metsinimesed kasustavadki hõõrumisel tekkinud soojust tule süütamiseks. Soojuse iseloom oli alles hiljuti täiesti tundmatu, olgugi et üksikud teadlased nagu näit. Davy aiasid temast juba mõnda. Arvati isegi, et soojus on mingi kaalutu vedelik, mis võib ühest ainest teise üle voolata.

## II.

### Soojus ja energia jäävuse seadus.

Vaade, et soojus on aine, lükati ümber Davy poolt, kes paigutas kaks jäätükki õhutühja ruumi ja pani nad seal erilise mehhanismi abil teineteise vastu hõõrduma. Jäätükid sulasid ära, tähendab, nad said soojust juurde, kuid et nad olid õhutühjas ruumis, siis ei võinud soojus kustki juurde voolata, soojus võis olla vaid hõõrdumise tulemus. Ta võis olla midagi molekulide osakeste võnkumise taolist, mis tekitab oma ümbruses samuti mingisuguseid võnkeid, nagu näit. helisev helihark või pingule tõmmatud helisev viiulikeel tekitab enda ümber helilaineid. Seetõttu jõudsid Robert Mayer (1814—78) Heilbronnis ja James Joule (1818—89) Manchesteris kumbki iseseisvalt otsusele, et sel teel tekitatud soojuse hulk peab just vastama eespoolmainitud näivale soojuse hulga kaole, teiste sõnadega, soojus on samuti energia eriliike. Kui kokku koguda masinate hõõrdumisel vabanenud soojuse hulk, siis see oleks täpsalt sama suur kui see energia hulk, mida enne nimetasime masinate „kaduma läinud“ energiaks. Väga paljude hoolsalt läbiviidud katsete tule-

musena võis Joule seda vaadet tõepoolest kinnitada. Joule leidis, et näit. kose vesi, langedes 777 jala kõrguselt, oleks all ühe Fahrenheit'i kraadi võrra soojem ülal olevast, kui kõne alla ei tule vee aurumiseks tarvis mineva soojuse hulk, jahutav tuuletõmbus ja muud temperatuuri mõjustavad nähtused.

Need näited väidavad, et soojus on samaväärne mehaanilise tööga. See nähtus oli tuntud juba varem, enne kui oli kindlaks tehtud, et energia muutumisel soojuseks töötegemisel energiat kaduma ei lähe. Nüüd näidati, et energiat kunagi ei lähe kaduma ega tule ka juurde, ta võib ainult muutuda ühest energia liigist teiseks, seejuures ei muutu aga iialgi tema hulk. See ongi energia jäävuse seadus. Nii võime energiat kujutella alati oma hulga poolest konstantsena (püsivana), kuid kuju ja liigi poolest muutuvana. Nii pole füüsilises maailmas kunagi kadusid, on ainult muutused. Pole võimalik ei mingi inimliku kunsti ega masina abil muuta kogu energia hulka, s. o. ei saa seda suurendada ega ka vähendada. Meil praegu pole kerge aru saada meie esivanemate raskustest, mida nad tundsid, püüdes seletada soojuse õiget iseloomu, et ta pole aine, vaid ainult energia eriliik ehk, nagu Tyndall teda nimetab, eriline liikumise kuju.

Joule'i esimesed tööd ei leidnud vastuvõttu Royal Society's (Kuninglik Selts — inglise tähtsaim teaduslik asutis). W. Thomson leidis, et on võrdlemisi raske aru saada, miks aurumasinas ei lange ainult auru temperatuur üleminekul katlast kondensaatorisse, nagu see analoogselt toimub veski vesiratta juures, kus töötav vesi langeb kõrgemalt tasemelt

madalamale ja teeb selle arvel tööd. Vesirataste ja elektrimootorite juures on aga lugu hoopis teisiti, sest just nii palju vett, nagu langeb rattale, voolab ka edasi, nii palju elektrit tuleb elektrimootorisse, nagu teda sealt välja voolab: tehtud töö hulk toimub elektri potentsiaali (pinge, mida mõõdetakse volti-dega) languse arvel, nagu vesiratta juures veepinna kõrguse languse arvel. Soojusemasinad on aga ses mõttes erandid. Soojusemasinate juures pole meil tegemist ainult temperatuuri muutusega, vaid ka energia liigi muutusega — soojusehulga muutusega selleks tööhulgaks, mida masin töötamisel teeb. Seda seadust nimetatakse sageli termodünaamika esimeseks põhiseaduseks, mis kinnitab, et soojus on energia. Üks kilokalor (s. o. soojusehulk, mis vajaline 1 liitri, s. o. kilogrammi vee soojendamiseks 1 kraadi võrra) soojust vastab ehk on samaväärne 427 kilogramm-meetri mehaanilise tööga. Seda näitasid R. Mayeri, J. Joule'i ja teiste katsed. Teine termodünaamika põhiseadus kõneleb soojuse-energia kasustatavusest, parimate soojusmasinate töövõimest ja sellest töö tagavarast, mille annab kõrgema temperatuuriga keha madalama temperatuuriga kehale. Soojuse-energia kasustamine on võimalik ainult juhtumil, kui on olemas mingi temperatuuride vahe kahe keha vahel. Ses mõttes sarnaneb soojus suurel määral elektri- ja vee-energiaga, mis nõuavad samuti mingi potentsiaalide või nivoo vahe olemasolu. Kui kõik kehad oleksid ühe ja sama temperatuuriga, siis nendes peituvat soojuse-energiat kasustada ei saaks, olgugi et nad võiksid omada väga kõrge temperatuuri. Soojuse-energia varu oleks sel puhul kasustamatu, seega väärtusetu, sest soojus ei leviks ühest

kehast teise. Sellest järgneb, et soojuse-energia võib muutuda mehaaniliseks energiaks ainult siis, kui soojus kandub kõrgema soojuseastmega, s. o. kõrgema temperatuuriga kehalt madalama soojuseastmega — madalama temperatuuriga kehale. Hüdrotehnikule (veetehnikule) on määratu ookeani vete hulk täiesti väärtusetu, sest selle nivoo on igal pool ühel ja samal kõrgusel. Heaks näiteks on mäeveeru mööda alla voolav vesi, mis võib tööd teha kogu oma liikumise keskes, kuni ta lõpuks merre jõudes peatuma jääb. Soojus püüab alati voolata kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga ümbruskonda, kusjuures ümbruskonna temperatuur tõuseb, kuna keha ise jahutub. Energia „reservuaarid“, tagavara-aidad, võivad tühjeneda, iseenesest aga ei täitu nad iialgi; samuti võib keha soojust ära anda jahtudes, kuid iialgi ei tõuse ta temperatuur iseenesest.

### Jäävusetooria.

Hüdrodünaamilised <sup>1)</sup> analoogiad on kasulikud ning kergendavad arusaamist, kuid ka nendele ei tohi toetuda just alati. Vett me ei saa näit. muuta mõneks energialiigiks. Läänud sajandi lõpul näis inimsoole, nagu oleksid tal energia ja materia mõisted lõplikult välja kujunenud ning selged ja et energiat ei saa kuidagiviisi muuta mateeriaks ja ümberpööratult. Hiljem näeme, et oleme XX sajandil tõesti midagi juurde õppinud, mis teeb meid pisut ettevaatlikumaks meie vaadete ja tõekspidamiste suhtes. XIX sajandil

---

1) Hüdrodünaamika — õpetus vedelikkude liikumisest.

oli teaduses täiesti kindlalt välja kujunenud vaade, et samasugune jäävuseeadus on maksev ka aine jaoks, nagu ta maksev on energia korral. Mis ka ei sünniks ainega, näit. sulamine, aurumine, põlemine või mingi muu aine kuju muutumine, kõik see toimub nii, et aine hulgad jäävad muutumatuks. Kui põlemisel korstna kaudu ära läinud põlemisproduktid koguda ja kaaluda neid ühes pliidi alla jäänud tuhaga ja muude põlemisjäänustega, siis vastaksid need täpsalt ärapõlenud põletusaine hulga. Siiski see pole päris täppis, sest põlemisel saadud ainete hulgad kokku kaaluvad enam ja nimelt selle tõttu, et põlemisel tuleb liitosana juurde veel õhust hapnik ja põlemise saaduste kaal on just nii palju suurem, kui suur on juurdetulnud hapniku kaal. Seega ei tule iialgi ette keemiliste reaktsioonide juures mingit aine juurdekasvu ehk tekkimist ega hävimist. Samuti ei ilmne seal mingit energia juurdekasvu ega hävimist. Aine kohta käivat jäävuseeadust nimetatakse aine jäävuse seaduseks ehk printsiibiks, ta on keemia põhiseadusi, nagu energia jäävuse seadus on füüsika põhiseadusi.

Kui energia jäävuse seaduse maksvus oli kindlaks tehtud väga paljudel juhtumitel, siis võis teda hiljem üldistada matemaatiliselt ja laiendada nende juhtumite kohta, kus ta just vahenditult silmatorkavalt ei esine. Suured matemaatilise füüsika esindajad Helmholtz Berliinis ja lord Kelvin Glasgow's katsusid XIX sajandi keskel üldistada energia jäävuse seadust matemaatilisel kujul ka niisuguste energia ilmingute kohta, millest senini saadi väga vähe aru, nagu näit. elektri- ja magnetisminähtused. Hakati aru saama elektri-elementide tegevusest, sa-

muti ka praegusel ajal nii tähtsa dünamomasina tegevusest, hakati mõistma kapillaarsuse ja pindpinevuse<sup>1)</sup> nähtusi. Energia jäävuse seadus, mis leidis katselist tõestust väga paljudel ning kõige mitmekesisemal juhtumel, juhtis õpetlasi laialdasele matemaatika rakendamisele füüsikas, täiendades füüsikat uute uurimisaladega. Hiljem, XIX sajandi teisel poolel, jätkusid uurimised ja nii töötati kogu loodusteaduslik materjal matemaatiliselt ümber. Ainult need, kes on täiesti kodunenud matemaatiliste meetoditega, võivad hinnata suurte teadusemeistrite tööde ilu ning keerukust, nende meistrite mõtteviisi, kes kiirelt, kuid määratute pingutustega püüdsid mõista ja avastada looduse kindlaid ja vankumatuid seadusi, tehes neist ka tarvilikke järeldusi.

### Energia samasus.

Uurides aine omadusi ja leides, et ta on hulga poolest konstantne, vaatamata milliseid füüsilisi või keemilisi toiminguid temaga läbi ei viida, me võime öelda isegi veel rohkem: aine-aatomid pole ainult arvult samased, vaid nad on ka omaette tervikulised suurused ehk individid. Katsume seda viimast väidet selgitada. Jälgime mõttes ühte aatomit, sest mõttes me võime seda läbi viia kaunis hõlpsasti.

---

<sup>1)</sup> Kapillaarsus ehk jõhvsus — nähtus, et vesi tungib peenikestes torudes üles. Pindpinevus — nähtus, et vedeliku pind püüab kujuneda kõige väiksemaks, mis iganes võimalik, näiteks veetilg võtab pindpinevuse tõttu lätse kuju.

Kas on võimalik seda aatomit mõnede märkide kaudu ära tunda? Me võime näit. ära peita kalliskivi või ta päriselt maha matta hauda aastatuhandeteks, aga kui ta sealt välja kaevata, siis võib ära tunda, et tegemist on kalliskiviga, mis oli peidetud sinna. Kui me kaotaksime osa oma pagasist ja saaksime ta hiljem kaalu poolest muudetuna tagasi, siis me poleks kindlasti sellega rahul: me nõuaksime tagasi sama kaaluga, nagu me ta kaotasimegi. Me tunneksime oma pakid kaalu järgi, kuigi pakid oleksid mõningatel põhjustel võinud laguneda. Me teame ometi, et tegemist on samade esemetega.

Tekib nüüd küsimus, kas võib sedasama öelda ka energia kohta. Meil puuduvad võimalused energia hulkade märkimiseks sel viisil, nagu võime seda teha ainega, ent meil on palju põhjust oletada, et ka energia on omaette tervikuline suurus ja et see energia hulk, mis kivisöe-ajastul Maa peal taimede poolt koguti, et just see energia hulk vabaneb nüüd miljonid aastad hiljem kivisöe põlemisel ahjus. Energiat näib põlemise aegu nagu juurde tulevat, tõepoolest on aga lugu nii, et päikeselt kiirtena tulnud energia hoidus lihtsalt alal, kusjuures kivisüsi on tema kui konservikarbiks. Energiat koguneb näit. pilvedesse, selle osakaupa vabanemist sealt võib jälgida kõigepealt siis, kui ta langeb kõrgelt pilvedest alla, edasi, kui ta voolab jões, paneb liikuma vesirattaid ja ühes sellega ka tööle masinad; osa sellest energiast vabaneb häälena — kõuemürinas, teine osa mehaanilise liikumisena, kolmas võib-olla tuleb esile allikast vee voolu-energiana, kuna õige suur osa muutub soojuseks ehk, nagu eespool nägime, aatomite võnkumiseks. Energia kogusumma jääb muutuma-

tuks, kusjuures osa sellest energiast võib hiljem uuesti kasustusele tulla.

Üksikuil juhtumel on võimalik jälgida energia rändamist tema moondumisel ühest liigist teise päris hõlpsasti, nagu seda tegi näiteks Poynting Birmingham'is elektri-energiaga. Tema jälgis, kuidas dünamost saadud energiat kasustati vooluliinil, ja mitte ainult seda osa, mis muutus soojuseks, vaid ka seda osa, mis kulus mehaanilise töö tegemiseks, nagu elektrimootorite juures, telegraafiaparaadis, telefoni-membraani võnkumisel jne. Nii rajas ta üldise energia samasuse teooria.

### III.

## Energia kogunemine ja hajumine.

Kui me ütleme, et looduses ei esine „kadusid“, siis ei tule sellest sõnast nii aru saada, nagu tavalises rahvakeeles harjunud mõistega „kadu“: me kinnitame ainult, et ei esine mingisugust lõplikku kadu, mingisugust olemasoleva lõppemist. Kui õhus pilv ära aurub päikese kiirte käes, siis on õhus sama palju veeauru nagu ennegi, kuigi ainult teisel, mitternähtaval kujul. Kui põletada ära tükk paberit, siis jääb järele just sama palju aine-aatomeid, kui palju neid oli enne põlemist. Füüsilises maailmas ei saa midagi juurde luua ega hävitada lõplikult ja nähtavasti võib jäävuseseadust rakendada kõigi aine- ja energia-ilmingute puhul, isegi sellise müstilise mõiste puhul nagu elu. Kuid see on praegu väljaspool füüsikalisi seadusi ja tema lõplikku mõistmist tuleb jätta uurimiseks hilisematele põlvedele, kes loodetavasti suudavad mõista maailma paremini, peamiselt aga lihtsamalt, kui meie seda praegu suudame.

Vahepeal võime sõna „kadu“ mõistet selgitada. Kui anumast kallata piim maha, siis pole piim enam kasustatav. Toitu me võime keemiliselt algaineteks

lahutada — aine hulk jääb küll samaks, kuid teda enam toiduna kasustada ei saa; tükk põlenud paberit on väärtusetu, olgugi et see oli leping, testament või väärtpaber, kuid põlenult on tema väärtus null. Nüüd on nad meile kadunud. See kõik on meile niivõrt endastmõistetav, et ei vaja mingisugust lisaseletust.

Füüsika- ja keemiaseadused on läbi ja läbi eranditult õiged, kuid mitte ainuvalitsevad. Füüsika- ja keemiaseadusi võib alluvusse seada kõrgematele eesmärkidele: nad on meie elu ja mõistuse abiriistad — mehhanismid, samuti kui kirja või poemi kirjutamiseks tarvitatud märgid (tähed) on väärtuslikud mitte oma materiaalsuse tõttu, vaid nende kaudu antud sisu tõttu. Suur draama, maal, sümfoonia, iga algupärane looming on tõeline väärtus meie hinge, meie mõistuse riigis.

Energiat ei saa suurendada, mõistuse abil, teda võib ainult juhtida. Täpsalt on võimatu kujutella, kuidas see toimub, kuid näeme ainult tõsiasju, et energiahulkade juhtimine on meie võimuses. Füüsikalises mõttes on aine ja energia niivõrt tähtsad mõisted, et nende käsitlemisel peab olema eriti ettevaatlik: lugeja võiks tulla väärarvamusele, et maailmas on olemas ainuüksi füüsilised reaalsused. Maailm on tõepoolest palju rikkam ning ruumikam, kui seda praegu suudaksime kujutleda. Igapäevases elus kasustame füüsika- ja keemiaseadusi, mis on rajatud reale põhinähtusile, kuid oleks rumalus kinnitada, et see, mis praegu teame, on kõik. See oleks sama veider, kui katlakütja laeva sisemuses katsuks eitada mastide, päikese, õhu, kapteni jne. olemasolu ainult

sellel põhjusel, et ta neid kõiki praegu ei näe, olles laeva sisemuses. Aurukatel all laevaruumis on küllaltki reaalne ja tarvilik ese, ilma temata ei liiguks aurik, kuid siiski pole ta ainuke.

Nagu aine võib inimese mõttes kaduma minna (mahakallatud piim), nii võib ka energia inimese mõttes kaduma minna. Vibu võib pingule tõmmata, kuni ta murdub, pinguletõmbamiseks äratarvitatud energiat enam kasustada ei saa. Juhita edasitormav vanker võib rusudeks minna — meile täiesti kasutult. Nii mõnigi inimene hävitab oma elu kestes palju varandusi, ilma et ta teistele selle eest midagi kasulikku vastu annaks. Ta elu tegevust lõpuks kokku võttes võib öelda, et ta elu oli väärtusetu. Energia otstarbekohane kasustamine on meie võimuses. Nii on lugu näit. mehaanilise energiaga: kui taltsutada vee voolu jões, võime sundida vett töötama, panna liikuma turbiine ja vesirattaid; sama energia läheks aga täitsa kasutult kaduma, kui vesi tõuseks näit. üle kallaste ja ujutaks üle külad ja põllud.

Energia on kasulik nii-öelda üksnes kindla kontrolli all. Ainult siis võib teda kasustada. Tuli võib teenida inimesi, kuid võib neid ka hävitada, näit. tulikahju puhul. Plahvatuse keemilist energiat võib ära kasustada kaevandustes maakide tootmisel, kanalite kaevamisel, teda võib aga kasustada ka inimeste hullumeelseks hävitamiseks sõjas. Nagu näha, meile polegi niivõrt tähtis just energia hulk, vaid peamiselt tema kasustamise eesmärk. Energiat võib juhtida. Kogu tegevus, mis toimub meie ümber, on ainult energia ülekandumine, kuid see ülekandumine võib olla meile kasulik, võib aga olla ka kasutu. On olemas energia liike, mida taltsutada ja

juhtida raske ehk isegi võimatu, vastandina neile, mis alistuvad meie juhtimisele. Kogu maailma tegevus võib toimuda ainult tänu energia ülekandumisele ühelt kehalt teisele ja ümberpööratult. Igasuguse energia ülekandumise puhul vabanevad teatavad hulgad tööd. Kui püssirohuladu lendab õhku ja tema läheduses olevad majad langevad rusudeks, siis silmanähtavalt on tehtud suur hulk tööd, kuid kahtlane, kas keegi nimetaks seda kasulikuks tööks; sama rumal on nimetada ka sõja korral lõhkeainete plahvatusel tehtud tööhulki kasulikuks, olgugi et võimsad granaadid muudavad silmapilkselt rusudeks tugevaid ehitisi, sildu ja laevu, kusjuures saavad surma sageli sajad inimesed. Kui praegumainitud hullumeelsused kõrvale heita ja kasustada energiat järelemõtlikult ning ratsionaalselt, siis enamasti alati on tulemus meile kasulik. Mõisted „kasustatav“, „kasulik“, „kahjulik“ on inimeste loodud mõisted, mis toetuvad füüsikale ja sotsioloogiale. Meil puudub võimalus praegu tungida nende mõistete sisu sügavustesse, kuid mõne sõnaga tuleb peatuda energia hajuvuse mõiste juures. X

### Soojuse-energia kasustatavus.

Tingimused, mille puhul soojuse-energia on kasustatav, on määratud termodünaamika teise põhi-seadusega, mis sisaldab eneses „temperatuuri“ ja n. n. „entroopia“ (hajumise) mõisteid. Need on statistilised mõisted, mis on maksvad ülisuure hulga kehade omaduste väljendamiseks. Temperatuur annab meile kujutelma molekulide „keskmisest energiast“ ja on

täiesti mõttetu kõnelda ühe molekuli „keskmisest“ energiast. Ent meie oleme temperatuuri mõistega oma keha soojusetunde kaudu täiesti tuttavad, ja ei tulegi meelde, et see võiks olla nii keerukas. Temperatuur määrab ära, millises suunas liigub soojuse-energia. Kuid et energia ülekandumine on tarvilik kasuliku tegevuse esilekutsumiseks, siis nähtavasti on soojuse-energia kasutamiseks tarvilik temperatuuride vahe. Ses mõttes on termodünaamikas temperatuur analoogiline nivooga (ehk veepinna kõrgusega) hüdrodünaamikas, rõhumisega aerodünaamikas (gaasides) ja potentsiaaliga (pingega) elektri-energia puhul. Pole olemas negatiivseid temperatuure. Temperatuur on soojusepinge (potentsiaal), seejuures absoluutne null<sup>1)</sup> on temperatuur, millest allapoole pole üldse võimalik jahutada ühtegi keha, sest selle temperatuuri juures puudub kehas igasugune soojuse-energia varu.

Kui oleks võimalik rääkida „soojuse-energiast“ üksiku molekuli korral, siis mõiste „temperatuur“ kaotaks oma sisu. Maxwell'i järgi on üksiku molekuli liikumise jälginine ainult kujutletav ja energia hajumise seadus pole mitte looduse põhiseadusi nagu näit. energia jäävuse seadus. Termodünaamika teine põhiseadus on täppis matemaatiline kirjeldus kõigi molekulide liikumisest summaarselt. Statistilised käsitusviisid, mida praegu teaduses palju tarvitatakse, võetakse tarvitusele alati siis, kui muud uurimismeetodid antud küsimuse juures ei anna tulemusi. Need võtted on kasulikud ja praegusel ajal üksikute juhtumite puhul isegi möödapääsematud.

---

1) S. o. —273 kraadi Celsiuse järgi.

Igapäevases elus ja sotsiaalsete korralduste puhul on statistilised rakendused väga sagedad. Sünnimise korral näit. on meile täitsa ükskõik, kas on üks isik sündinud või mitu, kuid suures kogukonnas me saame kätte keskmise sündimus- ja suremusarvu kaudu, kas näit. suurenenud suremus pole tingitud mõnest taudist. Kogukonda võib iseloomustada ta keskmiste andmete najal. Indiviid ehk üksikisik, kes erineb tunduvalt kogukonna keskmisest tasemest, on kas geenius või idioot, statistiliselt on ta haruldane tüüp. Loomulik, et statistiline käsitlusviis on otsustabekohane ainult seal, kus uurimisele tulevate indiviidide arv on väga suur, ja mida suurem on indiviidide arv, seda täpsamalt me võime saavutada keskmisi tulemusi. Gaaside kineetiline teooria<sup>1)</sup> on kõige parem näide statistilisest käsitlusviisist, sest uurimisele tulevate molekulide arv on määratu suur. See ulatub biljonitesse; keskmised tulemused muutuvad sedapuhku tõelisteks ja tõenäosused muutuvad tõelikkuseks.

Entroopia (hajumine) on palju raskemalt mõistetav kui temperatuur, sest meil puudub meel selle tajumiseks, liiati teda ei saagi tajuda, sest entroopia on abstraktne mõiste. Ta mõõdab soojuse kasustamist. Entroopia suureneb alati, kui soojus liigub soojemast kehast külmemasse kehha ja teeb seejuures tööd. Kui soojus kandub kuumemast keskkonnast külmemasse, tehes seejuures ideaalses (kadudevabas) masinas tööd, siis niisugusel puhul entroopia ei muutu, ta ei suurene ega vähene. Seejuures ei

---

<sup>1)</sup> Teooria, mis käsitleb ainete omadusi puhtmehaaniliste seaduste alusel.

haju energiat sugugi, kogu energia kasustatakse ära; kui aga soojus läheb kuumemast kehast külmemasse tööd mitte tehes, siis entroopia hulk kasvab. Nii siis võib entroopia kohta väita, et ta väheneb kehas, mis soojust ära annab, ja suureneb kehas, mis soojust juurde saab. Entroopia muutus defineeritakse matemaatiliselt nii, et ta võrdub soojuse-energia muutusega, mis jagatud absoluutse temperatuuriga. Mida madalam on temperatuur, seda suurem on seega entroopia muutus antud soojusehulga ülekandumisel. Kui soojus voolab kuumemast kehast külmemasse, siis külmema keha entroopia suurenemine on suurem kui see entroopia, mida soojem kaotab juhul, kui soojuse ülekandumine toimub nii, et tööd seejuures ei tehta. Kõik, mis me võime teha masinate täiendamise alal, on see, et me hoiame ära entroopia juurdekasvu, kuid entroopia püüab alati suureneda. Entroopia kasvamine tähendabki õieti energia hajumist.

Et teha neid mõisteid veelgi selgemaks, seks pöördume sümboolika poole. Kui keha, mille temperatuur on  $T$ , kaotab soojuse hulga  $Q$ , millise soojusehulga võtab keha vastu temperatuuriga  $T'$ , siis soojem keha on kaotanud entroopiat  $\left(\frac{Q}{T}\right)$  ja külmema keha teda juurde saanud  $\frac{Q}{T'}$ . Entroopia juurdetulek külmemasse kehasse on suurem kui tema äraminek soojemast kehast, sest teise murru nimetaja  $T'$  on väiksem esimese murru nimetajast  $T$ , seega teine jagatis peab olema suurem kui esimene. Kui osa soojuse-energiast muutub soojusehulga üleminekul soojemast kehast külmemasse keha mehaaniliseks tööks, siis

ei pääse külmemasse kehasse kogu see soojuse hulk  $Q$ , vaid vähem, näit.  $Q'$ , seega tööks muutunud soojuse hulk on  $Q - Q'$ . Nii võib juhtuda, et  $\frac{Q}{T} = \frac{Q'}{T'}$  ja sel korral, nagu näeme, jääb entroopia hulk muutumatuks. Selline tingimus on nõutav ideaalsete masinate korral. Masinad, mis ei suuda ära kasutada kõiki soojusehulki tööks, hajutavad energiat asjatult, suurendades seega entroopiat. Aurumasina kasutegurina mõistetakse kasulikuks (mehaaniliseks) tööks muutunud soojuse hulga suhet selle soojusehulgaga, mis aurukatlast ühes auruga väljub. See on, kasustades eespooltarvitatud sümboleid,  $\frac{Q-Q'}{Q}$  ja ideaalse soojusmasina korral oleks see jagatis võrdne jagatisega  $\frac{T-T'}{T}$ . Sel puhul on  $T$ -d võrdelised  $Q$ -dega. Sellele tulemusele jõudis XIX sajandi alul geniaalne Prantsuse insener Carnot, uurides ideaalse soojusmasina töötamise tingimusi. See tulemus on väga tähtis, kuna siin on tegemist kergestimõõdetavate suurustega, s. o. temperatuuridega. Carnot printsiip on termodünaamika teise põhiseaduse printsiibi erikuju. Matemaatikud väljendavad seda kõike pisut teisiti. Kui soojusehulga muutust tähistatakse sümbooliga  $dQ$  ja protsessis toimuvat entroopia muutust  $d\Phi$ -ga, siis jagatis  $\frac{dQ}{dT}$  on võrdeline soojuseallika absoluutse temperatuuriga. Teiste sõnadega,  $\frac{dQ}{dT}$  on mingi funktsiooni  $\Phi$  täisdifferentsiaal, mida tavaliselt nimetatakse entroopiaks.  $Td\Phi = dQ$  on termodünaamika teise põhiseaduse sümboolne väljend ja ühtlasi ka absoluutse temperatuuri definitsioon.

Väljend „täisdifferentsiaal“ on matemaatikute „tehniline väljend“, millega tähistatakse muuseas suuruste vahet muutumise alul ja lõpul, kusjuures tulevad kõne alla ainuüksi need suurused protsessi alul ja lõpul, mitte aga protsessi kestes. Siit aga järeldame, et tee kuju, mida mööda antud protsess toimub, ja missuguseid väärtusi omavad protsessis esinevad suurused protsessi kestes, ei etenda mingit osa. Võtame vaatlusele päris tavalise näite: mäe kõrgus on ikka üks ja sama vaatamata sellele, kust kohast me ka ei püüaks üles ronida. Tee kuju valitakse selle järgi, kust poolt on mäkke kõige hõlpsam ja vähem hädaohtlik üles ronida. Tööhulk, mille teeb vesi, langedes ühelt tasemelt teisele, on olenematu vee langemise kallakusest, ta oleneb ainult veetasemete vahest. Kui ei oleks hõõrdumist, siis võiks vesi langemisel saadud hoo arvel tõusta samale tasemele, mille ta omas enne langemist, ükskõik millist teed mööda. Sel juhtumil jääb entroopia muutumatuks. Kui aga kuski esineb hõõrdumine, siis suureneb entroopia.

Nii siis väidame, et energial on kaldumus h a j u d a, s. t. muutuda olekusse, kus ta ei ole enam meile kasustatav. Kõik nähtused, mis sünnivad meie ümber, nagu kogu meie tegevuski, tähendavad ühtlasi alalist entroopia suurenemist. Seevastu ei ole enam võimalik ei ühegi protsessi ega ühegi masina abil entroopiat vähendada. Kas tulevikus avastatakse protsess või leiutatakse masin, mille abil on võimalik vähendada entroopiat, on kahtlane, kuid praeguse olukorra juures ka h a n e b k o g u m a a i l m a kasulik energia varu järjest sa-

muti, nagu üleskeeratud grammofonivedru kaotab oma energia varu, kui teda üles ei keerata.

Entroopiat ja selle suurenemist võime selgitada ka järgmise analoogilise nähtusega. Kujutleme anuma, milles hulk, näit. mitu tuhat, punast ja valget kuulikest, kusjuures need kuulikesed on muidu täiesti ühesugused. Olgu alul punased kuulid all, valged peal. Kui seda anumad raputada, siis lähevad punased ja valged kuulid segi. See „segiolek“ suureneb seda enam, mida kauemini me anumad raputame. Tõenäosus, et raputamisel saabub moment, millal uuesti kõik punased kuulid on all, valged peal, nagu see oli alul, on äärmiselt väike, kuigi teoreetiliselt võimalik. Katses näeme, et vaatamata sellele, kuidas me anumad raputame, tagajärjeks on ikka punaste ja valgete kuulide segioleku suurenemine.

Sama on maksev ka energia jaotuse kohta. Nagu statistiline mehaanika õpetab, entroopiana tuleb mõista mingit matemaatilist avaldist, millega seotud energia jaotuse tõenäosus. Entroopia suurenemine tähendab seega, et vähemtõenäoline energia jaotus muutub rohkem tõenäoliseks jaotuseks. Nii oleks teoreetiliselt võimalik ka entroopia suurenemine, kuid see on äärmiselt vähe tõenäoline.

## IV.

### Energia määritlus.

Määritleme (defineerime) tungi ehk jõudu kui nähtust, mis esile toob lihaste pingutuse. Tööd defineerime kui korrutist tungist ja käidud tee pikkusest, mille ulatusel tung teeb tööd. Töö olemasolu nõuab alati tungi ja tee pikkuse olemasolu. Paigal seisev tung, ükskõik kui suur, ei tee mingit tööd. Tugipostil võib lasuda ükstäis milline määratu suur koorem, tugipost aga tööd koorma ülevahoidmisega ei tee. Samuti ka liikumisel ilma vähimagi tungita ei tehta mingit tööd. Maa-keras liikudes maailmaruumis ei tee mingit tööd ega kuluta oma liikumiseks energiat. Energia on keha omadus tööd teha, kui seks on „paras aeg ning koht“. Tööhulga teguritest ei jätku, kui ainult üks neist on olemas, s. t. kas tung üksinda või liikumine üksinda; energiat me omame küll, kuid tööna teda kasustada ei saa, kui pole mõlemaid tegureid meil käepärast. Energiat võiksime defineerida kui ühe teguri omamist nendest kahest mainitust, ta on nii-öelda potentsiaalne töö. Töö on aktiivne nähtus ja tekitab teatavaid muu-

datusi. Energia aga ei tarvitse olla aktiivne, teda võib varuks koguda. Keha, mis omab teatavat energia varu, on võimeline tööd tegema; kuid tõepoolest tehakse tööd siis ja ainult siis, kui energia hulgad vabanevad, milline nähtus esineb üksnes siis, kui mõlemad töö tegurid, s. o. tung ja tee pikkus, esile tulevad. Töomes võib olla vägagi energiaküllane, ent seda tuleb alles ära kasustada. Niikaua kui energia peitub varuna, ei saa ta veel midagi korda saata. Keerlev hooratas sisaldab teatud hulga energiat, kuid palja keerlemisega ta ei tee veel tööd. Töö saamiseks tuleb teda rihma abil ühe masina „ette rakendada“, nagu hobust. Energia ja tegevus pole milgi juhul identsed (samased). Tegevus on energia ülekandumise tulemus ühelt kehalt teisele, tegevus ja energia pole identsed mõistedki. Tegevus on energia aktiviteet (teostumine); seejuures ilmub alati nähtavale tung, mis teatud tingimustel võib olla tehtud tööhulga mõõduks, nagu näit. väljend „hobujõud“ väljendab töö potentsiaalset (võimalikku) mõõtu. Nii siis energia on potentsiaalne töö; ta kujutab seda tööhulka, mida keha võiks teha, kui on täidetud energia ülekandumise nõuded.

Tüüpiline näide energia kogumisest on üleskeeratud vedru. Vedru on kogu aeg pingul, s. o. surve all, kuid tööd ta ei tee. Vabastame ta — ja meil ilmneb otsekohe liikumine. Ta teeb nüüd tööd, sest nüüd on ühenduses tungiga ka liikumine. Hiiglahoone, näit. St. Paul'i katedraal (suurkirik) Londonis rõhub oma hiigelraskusega maapinda, kuid tööd seejuures ei ilmne, niikaua kui alus järele ei anna. Kui see aga ei pea vastu, siis ilmneb liikumine — töö — ja selle tulemusena hoone purunemine. Vaatleme veel

teist laadi näidet. Maakera liigub läbi tühja maailmaruumi, kusjuures toimub liikumine ainuüksi inertsi mõjul, tungi polegi tarvis. Kui tuleks aga maakeral liikuda mõnest takistavast keskkonnast läbi, siis ilmneks ta teine tegur, tung, ja liikumise ning tungi korrutis töö annaks end Maa pinnal tunda suure laastamisena. Analoogiliselt tiirlevad päikese ümber meteorid oma elliptilisi teid mööda; kui aga juhtub, et meteorid oma suurel lennukiirusel, mis on ligi 26 miili sekundis, tungivad läbi maakera õhkkonnast, siis tekib kohutav hõõrdumine õhu ja meteoori vahel, meteoor muutub hõõgvalgeks ja aurub peeneks tolmuks hiigelkuumuse tõttu. Niisugust taevavõlvil kiiresti edasi liikuvat ja helenduvat „tähte“, olgugi et ta on päris väike — tavaliselt ainult mõni gramm, nimetatakse „lendtäheks“.

Sellest nähtub, et energia võib esineda kahel kujul, üks on „tung“, see on potentsiaalse energia ehk staatilise, s. o. seisu-energia kuju, ja teine on kineetilise ehk liikumis-energia kuju. Kineetilist energiat üldiselt on kergem tegevusse rakendada. Igaüks teab, et liikuva raudteerongi järsul pidurdamisel tekivad mõningad nähtused (näit. kõigi vagunisoolijate järsk edasitung), mille põhjuseks on liikumisenergia. Rongi liikumisenergia oleneb mitte ainult rongi liikumise kiirusest, vaid ka liikuva keha, s. o. rongi massist. Hiigelsuur puuvilla või sulgede kogu, kuigi ta langeks kõrgelt alla, ei teeks kellelegi suurt viga; samalt kõrguselt allakukkunud suur raua- või tinatükk teeks suure hävitustöö. Keha energiasaldavus ei sõltu seega mitte ainult keha liikumise kiirusest, vaid ka keha vastupanust liikumist takista-

vale tegurile, mida nimetatakse inertsiiks (ja mis on seotud ta raskusega). Seega kineetilise energia kaks tegurit on liikumise kiirus ja inertsi.

Tavaliselt iga mitte-elastne (mittevetruv), mistahes rõhu all olev keha, nagu näit. tugisammas, ei oma mingit energiat, sest kui rõhumine pealt lakkab, siis ei juhtu tugisambaga midagi. Teine lugu oleks, kui rõhu eemaldumisel kokkusurutud keha hakkaks liikuma, nagu see esineb elastsete kehade puhul. Nii on lugu iga pingutatud elastse kehaga, sest pingutuse vähenemisel võib see keha teataval ulatusel teatava tungiga tööd teha. Aurumasina katla vastupidavust proovitakse mitte auruga ega surutud õhuga, vaid veega, sest vesi pole elastne, katla lõhkemisel ta tööd ei teeks, seega kilde laiali ei paiskuks, auru ja õhuga proovimisel aga juhtuks katla lõhkemise korral tõesti suur õnnetus.

Kokkuvõttes: potentsiaalne energia on tungi kombinatsioon elastsusega, mis võimaldab tungi rakendamist liikumise korral. Kineetiline energia on liikumine kombineeritud inertsiiga, mis võimaldab liikumist läbi takistava keskkonna.

### Varjatud energia.

Kineetiline energia on väga selgesti nähtav kas või hõõrdumisvabalt pöörleva keha juures, mis ei katkesta oma pöörlemist; puudutades kiiresti pöörlevat hooratast, võib saada tugevaid vigastusi. Potentsiaalne energia on seevastu peamiselt alati varjatud. Me ei tea kunagi, kas revolver on laetud või mitte, kas Leydeni purgis peitub laeng või mitte; samuti

me ei tea otsustada, kas vedru on üles keeratud või mitte.

Eriti huvitav on üks liik potentsiaalset energiat, mis peitub keha molekulides ja seetõttu on hoopis märkamatu. Tükike püssirohtu või püroksüliini näeb niivõrt süütu välja, et me ei tea seal midagi aimata. Molekulid on aga väga pingul olekus ja plahvatusel vabaneb see energia, tekitades erakordselt suuri tunge. Nimetus potentsiaalne energia pole eriti kohane, sest see tuletab meelde midagi võimalikku — mitte päris kindlat, kuna me aga teame, et seisva keha energia on alati tõeline energia. Nii on teatav hulk potentsiaalset energiat näit. heinakuhjas, karjalaudas jne., kuigi ta millegagi silma ei torka. Samuti peitub suur energia varu veekogus, mille pind tammi abil kõrgele tõstetud; me võime seal aga paadiga rahuliselt sõuda, kuni tamm avatakse ja energia vabaneb. Mäetipp on päris hädaohutu, niikaua kui me ei libise pärimäge alla. Maapind on hädaohutu niikaua, kui ei ilmne maaväringuid.

### Energia kujud.

Tähtis on endale selgeks teha, et energia võib võtta suure hulga erinevaid kujusid ja üle minna ühest kehast teise, ilma et tema hulk seejuures väheneks. Energia ühest kehast teise üleminekul saavutab tagajärgi ainult sel juhtumil, kui ta teeb tööd; ülekandeprotsessis aga energia peaaegu alati muudab oma kuju. Ta võib ilmnedu pingena ühel momendil ja liikumisena juba järgmisel. Võnkumisel näit. ta muutub pidevalt ühest kujust teise. Näit. pendli või helihargi võnkumisel, kui pendel või helihark jõuab

äärmissesse asendisse, on kõik tas peituv energia muutunud staatiliseks energiaks, s. o. energiaks, mille omab paigalseisev, kuid pingul olev keha; iga võnke keskmises asendis on pendli või helihargi energia kineetiline. Võnkumise kestes staatiline energia, alates pendli äärmisest asendist, muutub pidevalt kineetiliseks; jõudes kõik muutuda selleks pendli keskmises asendis ja võnke edasi kestes, see kineetiline energia hakkab pidevalt muutuma jälle tagasi staatiliseks, jõudes kõik muutuda selleks pendli teises äärmises asendis. Nii et kokkuvõttes pendli energia tema äärmistes asendites on ainult staatiline, keskmises asendis ainult kineetiline ja mistahes vahepealsetes asendites osalt staatiline, osalt kineetiline.

Niikaua kui võnkumise kestes pendel säilitab (alal hoiab) oma energia hulga, ei ole võnkumisel mingit muud tagajärge ega ole ka tehtud tööd. Aga siis, kui võnkumine toimub takistavas keskkonnas, näit. õhus või vees, pendli energia enam-vähem kiirelt kandub üle õhku või vette, energia järk-järgult kaob pendlist või helihargist ja selle tagajärjel pendli või helihargi võnkumine kustub, s. t. üksikute võngete laius ehk amplituud muutub kord-korralt ikka vähemaks ja vähemaks, kuni lõpuks pendel või helihark jääb paigale püsima. Sel juhtumil on võnkumisel ka muid tagajärgi — on tehtud tööd energia ülekandumisel. Pendliga katsetades on seda tööd küll raske kindlaks teha, kuid helihargi juures esineb see töö kuuldava helina, mis ei ole ka midagi muud kui üks energia kujusid. (Ka pendli juures võiks teha seda tööd kindlaks, kuid see nõuaks erilisi riistu ja eriti peent katsetamist.) Samuti

aatomite võnkumine teatud tingimusil saadab välja valgust, teise sõnaga, aatomite võnkumise energia võib muutuda valguse-energiaks.

Elektriline võnkumine, mida tekitab raadiosaatejaam, levitab oma energia elektromagnetiliste lainete näol maailmaruumi laiali. Sellest energiast iga üksik raadiokuulaja oma vastuvõtte-aparaadiga „püüab kinni“ ühe väga väikese osa. Kahurikuul tabades märki kaotab oma energia ja tekitab heli, soojust ja valgust korraga. Sel juhtumil kuuli kineetiline energia muutub heli, valguse ja soojuse energiaks. Heinas, mida hobune on söönud, peituvast energiast muutub hobuse kehas üks osa soojuse-energiaks, teine osa aga hobuse lihaste-energiaks. Keemiline reaktsioon võib tekitada soojust, s. o. keemiline energia muutub soojuse-energiaks, nagu näit. harilikul põlemisel. Kuid keemilisel reaktsioonil vabanenud energia vahel muutub elektri-vooluks, nagu see toimub elektri- ehk galvaani-elementides. Akkumulaatori laadimisel elektrivoolu energia muutub keemiliseks energiaks. Hõõrdumine harilikult tekitab soojust, s. o. liikumisenergia muutub soojuse-energiaks. Kuid teatud liik hõõrdumist, näit. eboniidi hõõrumine villase lapiga või klaasi hõõrumine amalgaamitud nahaga, tekitab elektrilaengu hõõrutavale kehale. (Kergemini korratavad katsed on kammi hõõrdumine juustes, või sooja paberi hõõrumine kuiva käega, või isegi kassi silitamine.) Elektrilaeng on ka üks energia kujusid; seda kuju nimetatakse elektrostaatiliseks energiaks, kuna elektrivool on energia elektrokineetiline kuju. Veel iseliik energiat peitub magnetiväljas, mis on elektrivooluga kaasas käiv nähtus. Nagu juba öeldud, on

ka valgus üks energia kujusid. Inglise füüsiku C. Maxwell'i järgi on valgus elektromagnetiline lainetus, seega võnkumise iseloomuga energia.

Kokku võttes leiame, et energia esineb: 1. liikumises ja keerlemises; seda liiki energiat nimetatakse **kineetiliseks**. 2. Energia võib esineda ka elastse (vetruva) pingena; seda liiki energiat nimetatakse **staatiliseks**. 3. Energia esineb **võnkumises**, mis on eelmiste liikide korduv vaheldumine.

Kõik teised energia kujud kuuluvad ühte neist rühmadest: näit. on soojuse-energia **kineetiline**, keemiline energia — **staatiline**, valguse-energia — **võnkumis-energia** jne.

Eelmine liigitus oleks teaduslik. Tegelikus elus on tähtsam vaadelda neid **kehi**, mis energiat sisaldavad. Kui need kehad on määratu suured ja väljaspool inimlikku kontrolli, nagu näit. planeedid, siis nende energia võib olla küll väga suur, kuid ta pole meile kättesaadav: me ei saa teda **ära kasutada**.

Teine äärmine juhtum on see, kui energiat sisaldavad kehad on liiga väikesed, näit. aatomid. Nende liiga väikeste kehakeste energia on meile kättesaadav ja ärakasustatav ainult teatud teravmõtteliste seadeldiste ja vahendite, nagu näit. aurumasina abil, mis meile võimaldab veeauru-osakestes peituvat energiat rakendada oma teenistusse, või galvaani patarei, mis võimaldab osakestes peituvat keemilist energiat sealt „kätte saada“. Kui aga kehad on suuruselt mõõdukad, nagu hoorattad, vesi kõrges reservuaaris või ülestõstetud raskused, siis neis kehis peituv energia on kergesti **kättesaadav** ja ühtlasi ka kontrollitav ja seepärast on meil võimalik seda energiat eneste tarbeks **ära kasutada**.

Me juba teame, et mitte ainult mateeriat ei tule vaadelda kui energia kandjat, vaid ka eetrit<sup>1)</sup>. Viimane on kahtlemata valguse-energia asupaik ja kui me võiksime tungida sellesse sügavamalt, siis leiaksime, et kõigi staatilise energia kujude asukohad on eetris ja et mateeriat ainult liigutatakse paigalt, tõugatakse kohast teise, kusjuures pinge on ühendav mehhanism, mis hoiab aatomeid koos: see väljendub kas gravitatsioonina või kohesioonina.

Gravitatsiooni all mõtleme seda nähtust, et üks materiaalne keha tõmbab teist materiaalselt keha ligi. Gravitatsioonitung avaldub kõige silmapaistvamalt kehade raskuses: üks kivi või teine keha on raske sellepärast, et maakera kui keha „tõmbab“ seda kivi ligi. Kuid ka üks kivi tõmbab teist kivi ligi, ainult see ligitõmbamistung on niivõrt väike, et tema kindlakstegemine on võimalik ainult teadusliku katse varal. Kohesioonina mõistetakse seda nähtust, et aine kõige pisemad osakesed tõmbavad üksteist ligi, nii-ütelda „hoiavad üksteisest kinni“ ja panevad vastu, kui neid vägivaldselt tahetakse üksteisest lahutada. Näit. kui me traati murrame või paberit rebime, siis peame ületama traadi- ja paberiosakeste kohesioonitungi katkemiskohas.

Gravitatsioonitung allub ühele ja samale seadusele, ükskõik millised vaadeldavad kehad ka ei oleks: ta on ikka võrdeline ühe kui ka teise (teineteist ligi tõmbava) keha ainehulgaga ehk massiga ja pöördvõrdeline nende kehade kaugusega teineteisest, kui seda korrutada ta endaga.

Kohesioonitung sellevastu on isesuguste kehade juures isesugune: veeosakeste kohesioon on nõrk, kriidil on see tugevam,

---

1) O. Lodge'i vaated eetri ehk valguseetri küsimusis on praegusel ajal vananenud. Varemini oletati, et valgus on eetrilainetus, nagu hääl on õhulainetus. Seejuures on mõeldav ruum ka ilma valguseetrita, eetrivaba ruum. Praegune füüsika seda hüpoteesi (oletust) ei vaja, sest valguse ja teiste nähtuste seletamiseks pole teda tarvis. Valgus levib ruumis, magneti- ja elektrivälja asukohaks on ruum, seega ruumil endal on juba need omadused, mida loeti enne valguseetri omadusteks.

raual veel tugevam ja teemandil hoopis tugev. Ent kohesiooni olenevus osakeste kaugusest, mis neid üksteisest lahutab, — see on veel mõistatuseks.

Kui me tõstame üles raskuse, siis selle raskuse energia (staatiline) ei asu mitte raskuses eneses, vaid pingul eetris, mis nagu pinguletõmmatud kumminöör püüab seda raskust „maha“ tõmmata, — aine, millest raskus koosneb, on ise üsna rahulik, passiivne, teda tõmmatakse, mitte tema ei tõmba. Nagu me üles keerame kella vedru, samuti võib ka aatomite vahel asetsevat eetrit pingule tõmmata, kuna materiat seejuures ainult paigalt ära liigutatakse, muud midagi. Nii siis on tõsiasi, et kõik staatiline energia asub eetris, kineetiline aga materias. Seega on energia muutumine staatilisest kineetiliseks ja ümberpööratult vahelduv energia ülekandumine materia ja eetri vahel. Liikumine on iseloomulik materiale, pinge — eetrile. Pinge võib olla elastne (vetruvuspinge) või kohesiivne pinge, elektriline või magnetiline, või isegi gravitatsiooniline. Kõik need pinged on ühendatud materiaga või ilmnevad temas, kuid nende energia asub tõeliselt materia-osakeste vahelises ruumis; staatiline ehk potentsiaalne energia on ruumi omadus.

Kui miski eeltoodust näib mõistatuslik, siis ei tarvitse me seda praegu pikemalt rõhutada, olgugi et sel on kahtlemata huviäratav tähtsus: me võime piirduda lihtsama kujutelmaga: nimelt et energia kandub üle ühest „kehast“ teise, kusjuures tuleb mees pidada, et „keha“, kuigi on füüsiline, ei ole seega veel materiaalne, s. t. füüsiline keha ei koosne läbini materiast, vaid ainult materia-osakestest, mille vahel on ruum eetriga.

## V.

### Selgitavaid analoogiaid (näiteid).

Et selgitada kujutelma energiast, võiksime võtta mõned analoogiaid igapäevase elu tuntumatest tegevustest, meeles pidades, et analoogia ei ole kunagi täiuslik ega ka rahulda täiesti ja seepärast teda ei pea viidama äärmuseni. Vaatleme mõningaid raha iseärasusi. Harilikes kaubanduslikes tehinguis raha käib käest kätte, kusjuures iga raha ülekanne on võimaline sünnitama ostu-müüki. Seepärast võiks raha nimetada *p o t e n t s i a a l s e k s* ostu-müügi võimeks. Raha ülekanne võib jätkuda pidevalt A-lt B-le, sellelt C-le ja nii edasi kõik tähestiku tähed läbi, seejuures raha hulk jääb muutumatuks. Just niisamuti on lugu energia ülekandumisega ühelt kehalt teisele; iga seesuguse ülekandumise korral tehakse tööd, samuti nagu raha ülekande korral toimub ost-müük. Energia kasustatavust võib kaotada või võita, kuid energia hulk püsib muutumatu, samuti kui raha hulk. Ja nii kuis energiat võib koguda varuks ilma midagi korda saatmata, samuti võib raha koguda kitsipung. Iga ülekande kasulikkus oleneb sellest, kuidas teda juhitakse; ta oleneb neist omadustest, mida me nimetame sihiks, otstarbeks või kavaks.

Sama laadi nähtused juhtuvad, kui elusad olevused põhjustavad energia üleminekut kindlaksmääratud viisil; nad võivad saavutada enam või vähem kasulikke tulemusi, häid või halbu, kokkukõlas nende tarkade või rumalate, nende hüveliste või paheliste kavatsustega. Energiat võib siiski üle kanda mingit tööd tegemata: näit. saab soojust juhtida piki metallvarrast; sel juhtumil mingi asi ei osuta ülekannet, ainult et varda külm ots on läinud kuumemaks ja kuum ots külmemaks. Selle juhtumi analoogia rahalistes tehingutes oleks võidumängu tegevus: siin ka raha kandub üle „tööd“ tegemata. Kuid tõelises kaubanduses raha ei lähe üle sellisel mõttetul viisil, vaid harilikult raha ülekandmisega kaasas käib teine nähtus, mingi teene või kauba saamine, mida võiksim võrrelda energiast saadud tööga. Seda analoogiat võib veel edasi arendada ja öelda, et „raha“ võib vaadelda kui kapitali: „raha“ ei tarvitse mitte jääda „rahatükiks“, vaid teda võib muuta masinaks, hooneks või teisteks kasulikkudeks asjadeks.

Nii siis energia parim analoogia ei ole mitte tegelik „raha“, vaid kapital; kapitali abil tehakse kaubandusmaailmas „tööd“, s. o. saavutatakse uusi väärtusi.

Universumi arenemises ja uute väärtuste loomise protsessis etendab selle kapitali osa energia, mis arenemisprotsessis pidevalt üle kandub ühelt kehalt teisele ja seejuures muudab oma kuju, just nagu kapital muutub kuldtükkidest masinaks jne. Antud hulk nii kapitali kui ka energiat arenemisprotsessis kantakse üle käest kätte ja ülekande kestes võtavad nii kapital kui ka energia eri kujusid.

Teatud mõttes võib väita, et raha ostu-müügi võime on piiramatult. Kui keegi pillaja raiskab oma

varanduse prassides, siis ei saa seda vabandada seega, et see raha on ikkagi kellegi käes, sest nii raha käsitada on lubamatu ühiskonna seisukohalt. Raha ostumüügi võime avaldub igas ülekandes ja mõttetu ehk laostav ülekanne on tarbetu või veelgi halvem. Samuti võib mõõta energia töötavat võimet selle tööga, mis on tehtud ja tehakse iga ülekande aegu: tulemuse väärtus oleneb teatud kaalutlustest, mis väljaspool füüsika vaatepiiri. Kui mingi asi kantakse üle laostaval ja hävitaval viisil, siis ei ole kohane ütelda, et hulk jääks samaks ka pärast ülekannet. Kuigi kapital kogutuna tagavaraks midagi korda ei saada, kuid igal juhtumil ta ei tee nii palju kahju kui halvasti juhitud tegevus ehk operatsioon. Suur hulk kapitali nõrgamõistuselise või kuritahtliku isiku käes on üldiseks hädaohuks ühiskonnale, just nagu seda oleks laetud relv või mürkgaaside ladu. Keemilise energia rakendamine põllumajanduses on kasulik, kuid keemia energia mürkgaasis on hoopis teine asi. Kapitali kui ka energia õige kasustus kuulub intelligentsile ja ühiskondlikule heatahtlusele. Ka füüsik võib tähelepanu juhtida neile nähtustele ja rõhutada, kuivõrt eluliselt tähtsad inimkonnale nad on. Oleme arutlenud energia hajumist ja vähemväärtuslikuks muutmist (degradatsioon), mis esineb, kui ülekanne ei ole kohase ega mõistliku kontrolli all. Samuti võib kõnelda ka kapitali hajumisest ja vähemväärtuslikuks muutumisest. Energia ülekande võimalikuks lõpptulemuseks võib olla headus ja ilu, mida võib pidada väärtuse juurdekasvuks universumis, kuid see ülekanne võib toimuda ka vastupidises suunas.

## VI.

### Energia ja liikumise hulk ehk impulss.

Me nägime, et liikumisjuhuste vaatlemisel tuli tähele panna mitte ainult liikuva keha kiirust, vaid ka tema massi. Keha liikumise hulgaks ehk impulsiks nimetatakse keha massi ja kiiruse korrutist. On liikuva keha mass  $m$ , ta kiirus  $v$ , siis impulss  $= mv$ .

Igäüks teab: korrutis tähendab korrutamise saadust, samuti kui summa liitmise ja jagatis jagamise saadust. Ehk on aga raske aru saada, kuidas kaht erinevat konkreetset asja, nagu mass ja kiirus, võib teineteisega korrutada. Ent see on üks kokkuleppeist, mille me füüsikas oleme võtnud tarvitusele. Lihtne arvulise korrutamise mõiste on üldistatud. Saadud korrutis võib olla reaalne ja kasulik, ta võib aga olla ka mitte-olemasolev ja mõttetu — vastavalt asjaoludele. Pikkuse korrutis pikkusega annab pindala, pindala korrutis pikkusega — ruumala. Ruumala korrutamise tulemus pikkusega on neljamõõtmeline suurus, mida pole olemas, vähemalt meil on raske seda enesele kujutleda. Selle peale vaatamata tihti tehakse sarnaseid tehteid. Nad on nii-

sama kerged kui teisedki, kuid harva nad nõuavad meilt selgitust: peaaegu alati nad kaovad lõppsaaduses koondamise tõttu. Kui aga seda ei juhtu, siis me satume raskustesse; nendega võivad sel korral valmis saada ainult eriteadlased.

Massi ja kiiruse korrutamise tulemus on liikumise hulk ehk impulss. Kui korrutada liikumise hulka poole kiirusega, siis sellele korrutisele võime anda ka nime: tema moodne nimi on kineetiline ehk liikumise-energia. Varematel aegadel nimetati seda korrutist: *vis viva*, s. t. elav jõud. Jagamisega on lugu kergem: läbikäidud tee, jagatud ajaga, on kiirus; kiirus, jagatud ajaga, on kiirendus; energia, jagatud ajaga, on võimsus; liikumise hulk või impulss, jagatud ajaga, on tung jne. Kes matemaatikasümbolite keelega on tuttav, võib eelolevad mõtted üles tähendada valemite näol. Tähistades vastavate suuruste mõõtarvud järgnevalt: mass —  $m$ ; kiirus —  $v$ , liikumise hulk —  $J$ , kineetiline energia —  $K$ , läbikäidud tee —  $S$ ; aeg —  $t$ , kiirendus —  $g$ , võimsus —  $W$ , tung —  $f$ , võime kirjutada järgmised valemid:  $J = mv$ ;  $K = \frac{1}{2} v \cdot mv = \frac{1}{2} mv^2$ ;  $v = \frac{S}{t}$ ;  $\frac{v}{t} = g$ ;  $\frac{J}{t} = f$ ;  $\frac{K}{t} = W$ ; ja neist kergesti järeldatavad  $J = ft$ ;  $ft = mv$ .

Asjasse süvenemiseks on tarvis osata kindlat vahet teha keha liikumise hulga ja sellesama liikuva keha kineetilise energia vahel. Kui näit. 1-kilogrammiline mass liigub kiirusega 2 sentimeetrit sekundis, siis omab see liikuv mass teatud liikumishulga, millest kujutelma annab meile see tõuge, mida keha aval-

dab takistusele, mis teda sunnib seisma jääma. 100-grammiline mass, liikudes kiirusega 20 sentimeetrit sekundis, omab sama liikumishulga, ta annab sama tugeva tõuke eesolevale takistusele. Arvutades kumagi keha liikumishulga valemi järgi, saame ühe ja sama arvu:  $1000 \cdot 2 = 100 \cdot 20 = 2000$ .

Need mõlemad kehad avaldavad ühesuurust tõuget või tungi takistusele, mis neid seisma paneb ühe ja sama aja vältel. Kuid muidugi kiiremini liikuv keha avaldaks seda tungi suurema läbikäidud tee kohta, sest ta jõuab selle aja kestes, mis kulub tema seismapanekuks, suurema teosa läbi käia kui aeglasemalt liikuv keha. Seega kiiremini liikuv keha teeb ka rohkem tööd kui teine, sest töö on tungi ja läbikäidud tee korrutis, mitte aga tungi ja aja korrutis. Tungi ja läbikäidud tee korrutist (eeldades, et tung mõjub läbikäidud tee suunas) nimetatakse tööks ja see korrutis on ära kulutatud energia mõõduks. Nii siis kiiremini liikuv keha teeb rohkem tööd kui aeglasemalt liikuv: tema kineetiline energia on suurem. Võtame kokku: kui kaks keha liiguvad, omades ühe ja sama liikumishulga, siis nende kehade kineetilised energiad ei ole võrdsed, vaid kiiremini liikuva keha kineetiline energia on suurem kui aeglasemalt liikuva keha oma. Sellele otsusele tuleme veel kindlamalt, kui arvutame valemite abil. Liikugu kaks keha, esimene massilt  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ , kiirusega  $2 \text{ cm}$  sekundis ja teine, massilt  $100 \text{ g}$ , kiirusega  $20 \text{ cm sek.}$ ; siis on esimene liikumise hulk  $J_1 = 1000 \times 2 = 2000$ , teise liikumise hulk aga  $J_2 = 100 \cdot 20 = 2000$ . Mõlemate kehade liikumise hulgad on võrdsed. Arvutame nende kineetilised energiad. Esimese keha kineetiline energia  $K_1 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 2^2 = 2000$  ja

teise keha kineetiline energia  $K_2 = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 20^2 = 20\,000$ . Me näeme, et teise, kiiremini liikuva keha kineetiline energia on 10 korda suurem kui aeglasmalt liikuva keha kineetiline energia, olgugi et mõlemad kehad liiguvad võrdse liikumishulgaga.

Kui see näib pisut peadmurdev, siis ei ole siin midagi imestada, sest ka füüsikud ei ole vähe pead murdnud nende kahe isesuguse liikumisnähtuse mõõtmisviisi kallal, ja enne kui asi sai selgeks, peeti selle üle palju vaidlusi. Nagu tihti juhtub, mõlemapoolsed väited olid õiged: ükskord on üks mõõt sobiv, teinekord teine mõõt. Vasaraga raua tagumisel ei ole mitte energia mõjutekitav, vaid liikumishulk: vasaralöögi otstarbeks ei ole mitte töötegemine või soojuse tekitamine, vaid et väga lühikese aja kestes mõjuda rauale võimalikult suure tungiga. Tungi ja aja korrutis on impulss võrdne liikumise hulgaga, ja kui vasar langeb teatud kindla liikumishulgaga, siis on taotava rauaga kokkupõrkel tung-tegur seda suurem, mida vähem on aeg-tegur, ja vastupidi aeg-teguri suurenemisega tung-tegur samapalju kordi väheneb.

Tähendab, löögi või põrke tugevust võib vähendada, kui pikendada aega, mille kestes see toimub. Seepärast näit. kriketimängija, püüdes visatud palli, loomusunnil tõmbab oma käe tagasi, seega pikendades palli peatamise aega ja vähendades põrke tugevust. Kui kätt aga mitte tagasi tõmmata, võib põrge nii tugev olla, et ta kätt vigastab. Samal põhjusel on vagunite vahel tarvitusel vedrupuhvrid, mille otstarbeks on pikendada vagunite kokkupõrke aega, vähendades sellega ühtlasi kokkupõrke tugevust. Vankri vedrudel on samasugune mõju: nad pehmendavad „jõnkse“ auklikul teel. Kui kahurikuul põrkab

vastu terasplaati, on põrge lühike, kuid tugev, nii tugev, et võib tekitada valgusesähvatust. Kui aga sama kuul langeb liivahunnikusse, siis põrge toimub pikema aja kestes; kuna kuul tungib liiva sisse vähest maad, põrge ei ole tugev, kuuli energia kulub ära pikemal teel hõõrumiseks suurt kahju sünnitamata.

Raudsesse märklauda lastud nool vigastab oma teraviku, kuna korgist märklaua puhul, mida nool osaliselt läbib, tema teravik jääb võrdlemisi vigastamata.

### Pöördemoment.

Võiks olla huvitav möödaminnes tähendada, et kui tungi korrutada tema suunale perpendikulaarse pikkusega, siis see korrutis ei ole mitte töö, ka mitte midagi töö sarnast: ta on selle tungi kangjõud või pööramisvõime ja teda nimetatakse **t u n g i p ö ö r d e m o m e n d i k s**. Samuti kui mööda ringorbiiti tiirleva keha liikumise hulka korrutada orbiidi raadiusega, mis on ikka perpendikulaarne liikumise suunaga, nimetatakse korrutist **l i i k u m i s h u l g a - e h k i m p u l s i m o m e n d i k s** ehk pöördemomendiks. See on mõiste, millega ühtelugu kokku puutub praeguse aja füüsikas, ja ta näib haruldaselt tähtis. Kuid see on juba kõrvalekaldumine asjast. Teine kõrvalekaldumine oleks, kui tähendame, et ka energia ja aja ehk kestuse korrutisele on viimasel ajal loodud ratsionaalne ja absoluutne mõiste. Seda korrutist nimetatakse **a k t s i o o n i k s** ehk tegevuseks tehnilises ja erilises mõttes. Teatud matemaatilistes arendustes see mõiste on väga valitsev ja tal on teatav sarnasus

pöördemomendiga ja võib ehk leida, et tal on seda laadi tähendus eetri suhtes. Kui üks õppija kunagi satub võrrandile nagu järgmine:

$$ipq - iqp = \frac{h}{2\pi},$$

siis ta hakkab küll vist juurdlema ja oma teadmuste ulatuses kahtlema: ta soovib teada rohkem, kui ta teab. Kuid ka suurimaile matemaatikuile on omane samasugune soov. Matemaatikasümbolid on enam edasikihutavad ja ergutavad kui rahuldust-toovad.

### Tagasipõrge ja teised üksikasjad.

Pöörame tagasi ammutuntud lihtsate tõsiasjade juurde. Kui püssist lastakse välja kuul, siis püss pörkab tagasi ja nimelt sama suure liikumishulgaga, millega kuul edasi lendab. Kuid püssi tagasipõrke kiirus on märksa vähem kuuli kiirusest ja seepärast ka püssi tagasipõrke energia on palju vähem edasilendava kuuli energiast, olgugi et mõlemate liikumise hulgad on võrdsed. Püssi tagasipõrke liikumise hulk kaob pörkel vastu laskja õlga, ent me teame juba, et mida pikem on pörke aeg, seda nõrgem on pörge. Seepärast on soovitatav laskmisel õlga järele anda. Kui aga laskja püssi laskmisel toetab õla vastu müüri, kus õlg ei saa järele anda, siis on püssi ja õla pörge lühike ja vastavalt tugevam, nii et see laskjale hädaohlikuks võib kujuneda.

Kaubavagunitest koosneva rongi liikumapanemine piki siledat ja tasast teed ei nõua väga suurt energia hulka, isegi mitte väga suurt tungi. Üks hobune võib sellega toime saada, kui ta küllaldaselt kaua tõmbab.

Samuti võib laps, vajaliselt kaua tõmmates, liikuma panna raskesti koormatud kanalilodja. Kuid liikuma panna rongi või lotja äkilise, olgugi tugeva tõukega, sekundi murdosa kestes, on tegelikult võimatu. Liikumahakkamiseks tarvilik liikumise hulk on võrdne tungi ja aja korrutisega, ja kui aeg on küllalt suur, siis võib tung olla võrdeliselt väiksem, ilma et muutuks nende korrutis. Näit., et panna liikuma massi 100 kiirusega 10, on tarvis liikumishulk  $100 \cdot 10 = 1000$ ; selle impulsi annab meile kas tung 1000 1-he sekundi kestes, või tung 100 10-ne sekundi jooksul, või isegi tung 1 1000 sekundi vältel, sest  $1000 \cdot 1 = 100 \cdot 10 = 1 \cdot 1000 = 1000$ . Seega võib ka suurt massi liikuma panna võrdlemisi väikese tungiga; kui see mass aga liigub aeglaselt, on vastavalt tema liikumisenergiagi väike, ja sellekohaselt ei ole ka palju tööd tehtud tema liikumapanemiseks.

Kui aga liikuval kehal on väga suur kiirus, siis tema liikumisenergia võib olla määratu suur, isegi siis, kui on väike tema mass. Väikene ivakene, mis liiguks  $\frac{1}{10}$  valgusekiirusega, sisaldaks määratu hulga kineetilist energiat. Isegi üksikud aatomid võivad säärase kiiruse juures tekitada valgusesähvatusi, põrgates mingi takistuse vastu, nagu seda võime näha, pommitades raadiumikiirtega fluorestseeruvat (isehiilgavat) tsinksulfiidekraani. Kuigi need kiired koosnevad üksikuist heeliumi-aatomeist või üksikuist elektri elementaarlaenguist, elektronidest, ometi, põrgates vastu ekraani, annavad nad silmale nähtava helenduse (stsintillatsiooni). Ka valgus ise, tänu oma määratule kiirusele, omab väga tunduva energiahulga, olgugi et tema mass on peaaegu kaduvalt väike, nii et vaid hiljuti avastati, et ta üldse omab mingi liiku-

mishulga. Tõuget, mida avaldab valgus, võib iga-  
tahes määrata tundliku riista abil, ja nii on kindlaks  
tehtud, et valgus omab liikumishulka, teise sõnaga,  
ka massi. Et valgus sisaldab energiat,  
selle kohta ei või mingisugust kahtlust olla: me kõik  
teame, et mustal pinnal neeldumisel valguse-energia  
muutub soojuseks, mis on juba käegakatsutav.

Ma ei ütle just, et valgus koosneb valguse-aato-  
meist, kuid ometi on tal mõningaid sarnasusi atomist-  
liku ehitusega, ja vastavalt kohandatult see ütlus ei  
oleks vale. Valgus evib mõningaid materia omadusi  
ja teadlased arvavad, et tal on ka raskus. Ühe minuti  
jooksul maakerale langeva valguse raskust hinnatakse  
9 tsentnerile, kuna päikeselt igas suunas väljasaade-  
tava valguse koguhulk igas sekundis mõõdetakse mää-  
ratu arvuga 4 miljonit tonni. Nii on energia, mida  
päike kiirgab, väga suur. Probleem, millest tekivad  
need hiigla energiatagavarad, mis on võimaldanud  
päikesel energiat välja saata seesugusel pöörasel hul-  
gal juba sadasid miljoneid aastaid, on olnud mõista-  
tiseks, mida on suudetud lahendada vaid viimastel  
aastatel, pärast materia elektrilise loomu avastamist.

Selle kosmilise energia kiirgamise juures peatume  
lähemalt VIII peatükis.

## VII.

### Mateeria kui energia üks kuju.

Hariliku keskmise haridusega inimese võib viia segadusse eeltoodud pealkiri, ja tema koolipõlves omandatud mõisted paisatakse segamini, kui ta edasi lugedes leiab seni uskumisväärseks peetud mateeria jäävuse seaduse teadusest kõrvaldatuna ja asendatuna rohkem mahutava sõnastusega. Ent see asjaolu süvendab meie arusaamist looduseseadustest: need ei ole mitte mõned jumalikud eeskirjad, vaid katselisel alusel põhjenevad sõnastused; nad, vähemalt tähtsamad ja põhjanevad neist, oma iseloomult ainult väljendavad seda, mida me teatud arenemisastmel usume olevat üldtõe, kuid ikka tuleks nendele juurde lisada sõnad: leidke erand, kui suudate!

Meie ajal mateeria jäävuses on hakatud kahtlema, sest kaasaegsed täheteadlased arvavad, et nad on leidnud erandi. Otsides päikese ja tähtede leegitsemise ja nende määratu kuumuse allikat, nad tulid arvamusele, et see leegitsemine toimub päikeses ja tähtedes häviva mateeria kulul. See asjaolu, olgu möödaminnes tähendatud, on õpetlik ja näitab meie looduseseaduste iseärasusi. Looduseseadused

on vaid liik suuremaid eeldusi (loogikas), millele võib toetuda mingisugune väide; nad on üldistamised ehk täielised induktsioonid, kuid nad ei ole ilmeksimatud dogmad. Nad seisavad üldkasuliku otstarbe teenistuses ja püsivad võidukalt maksvusel senikaua, kuni uurimuste arengul nad üks kahest, kas tõestatakse väljapoole mõistuselise kahtlust või tühistatakse, kui avastatakse mõni erandlik asjaolu, mille puhul nad ei ole enam õiged. Sääraste eelarvamuste võlskuse avastamise korral ei tule hädaldada ega eelarvamusi taga leinata, olgugi et sellele avastamisele võib hoolikalt ja alalhoidlikult vastu vaielda. Üldiselt aga iga niisugust avastamist tuleb tervitada vaimustusega, sest ta uuendab teaduse lepingut eluga ja avaldab uut elustavat mõju, mis enam-vähem annab end tunda igal alal. Niisuguses elustavas ajajärgus me elame tänapäev, ja osa minu ülesandest selle raamatu kirjutamisel on juhtida tähelepanu neile imestusväärsetele algetele, mis koidavad inimkonnale ja mille edaspidist arenemist me kõik ootame suure huviga.

Nagu allpool näeme, on põhjust oletada, et materiaaatom koosneb elektronidest, see on positiivsetest ja negatiivsetest elektrilaengutest. Viimased kindlasti on ühed energia kujud, olgugi et me nende iseloomust täpsamalt midagi ei tea.

Seepärast võib olla, et aatom ise on üks energia kuju, — mõte, mis oleks paistnud naeruväärsena, vähemalt ma oletan seda, lord Kelwin'ile, või Clerk Maxwell'ile, või Helmholtz'ile, või mõnele muule XIX sajandi vaimuhiiglasele. Nemad teadsid küllalt hästi, et energial on palju kujusid; nad teadsid, et ta läheb kergesti ühest kujust teise; ja nad

tundsüd ka kõiki energia kujusid, millest meil on juttu olnud, välja arvatud vaid see viimane.

Minu arvates käesoleva sajandi suurim teaduslik sündmus on mateeria elektrilise teooria põhjendamine ja mateeria kui ühe energia kuju äratundmine. Kuni käesoleva sajandini mateeria arvati olevat nähtus *sui generis* (oma liiki), mida ei või lahutada millekski lihtsamaks, mille hulk on absoluutselt jääv ja muutu-matu, mis ei ole kunagi tekkinud ega kunagi ei hävine. Kuid elektroni avastamisega XIX sajandi viimaseil aastail ja mõtte, et mateeria aatom koosneb elektronidest ja protoonidest, s. o. negatiivseist ja positiivseist elektrilaenguist ja võib-olla ei millestki muust, mõistusliku tõestamisega avati tee esiteks arusaamisele, et mateeria on elektriline, või teise sõnaga eetriline nähtus, ja teiseks võib-olla kauge tuleviku võimalusele, et positiivse ja negatiivse laengu korruga teineteisest lahti kärisemisel mateeria-aatom kui niisugune võib ära kaduda ja anda saadusena mõnda teist eetrilise energia kuju, esijoonest kiirgamisenergia kuju.

Üheks relatiivsusteooria<sup>1)</sup> tulemuseks on asjaolu, et ei saa kindlat piirjoont tõmmata mateeria ja teiste energia kujude vahele; nii et seda, mida me tajume kui mateeria liikumist, võib seletada vaid eetrisse järele jäänud nähtusena, milles mingi osa muutumatust eetrist on seotud muutunud osaga, mida me nimetame mateeriaks sellepärast, et ta nagu suurendab tema massi ja annab meile liikumiseffekti.

---

\*) Vt. J. Nuut, *Millest kõneleb Einsteini relatiivsuseõpetus.*

Liikumine on nähtus, mis nõuab edaspidist selgitust. Tema absoluutne mõte on tundmatu. Vaadelduna ta on alati vaid suhteline (relatiivne).

On raske arusaadaval viisil seletada seda, mis meile näib ja mida me nimetame liikumiseks; temast võib aimu anda vaid ebatäiuslikkude võrdkujude abil. On ammugi teada, et vedelikus või gaasis aatomid liiguvad nobedasti kiirusega, mis on võrreldav püssikuuli omaga, ja et see, mida me nimetame tuuleks või vooluks, on vaid tähtsusetute osakeste liikumise üleulatus ühes suunas, samuti nagu kiiresti läbisegi lendavate sääskede parv heljub aeglaselt edasi ühes suunas. Kui keegi vaatleb niisugust sääskede parve kaugelt ja ei näe üksikuid putukaid ega nende kiiret liikumist, siis ta ei tea midagi parve sisemisest liikumisest, vaid näeb ainult parve kui terviku liikumist; kuid see viimane on tõeliselt ainult tähtsusetu ja teisejärguline nähtus, nimelt üksikute putukate liikumise üleulatus ühes suunas, s. t. kuivõrt üksikud putukad oma kiires liikumises edasi-tagasi, üles-alla siiski keskmiselt rohkem edasi liiguvad kui tagasi. Samuti on lugu ka tuulega ja jõega. Isegi marutuule kiirus on vaid väike murdosa teda moodustavate õhusakeste liikumise kiirusest. Õhuosakesed püsivalt lendlevad keskmise kiirusega 16 miili minutis, kuna sellevastu kaunis tugeva tuule kiirus on vaid 16 miili tunnis.

Kasustades seda võrdkuju eetri kohta, on vastuvõetav ja isegi tõenäoline, et eetri peen-peened ivakesed meile täiesti märkamatul viisil on seesmises ringlemises määratu kiirusega, nimetatud valguse kiiruseks, ja et mõnede selle liikumise iseärasuste korral

moodustuvad elektronid ja protonid ja selle tõttu on olemas aatomid. Selle liikumise väga väike üleulatuse ühes suunas moodustab selle, mis me üldpildis tajume aatomite liikumisena, nagu rongi, või aeroplaani, või veel kiiremat planeedi liikumist. Tõenäoline on, et me lõppude lõpuks leiame, et materiaalne maailm koosneb eestrist eri seisukorras (situatsioonid) ehk eri ring- või perioodilises liikumises, ja et selle liikumise kiirus, — mõõdetud valguse kiirusega, — on ainus absoluutne kiirus, üks ja seesama kõigile vaatlejaile; paraku aga eestrilise ringliikumise tõsiasi on kõigil vaatlejal praegu täiesti märkamata. Teda peab mõistuse abil järeldama, ja ükski katse, mis senini on tehtud, ei ole suutnud teda tõestada.

Kuidas siis me võime ütelda, et aatomid on üks energia kuju ja et aatomid kui niisuguse kadumine on seotud kiirgamisega? Me ütleme seda tähtede vaatlemise põhjal, tähtede, mis on suured hiilgavad valgusrikkad kehad mõõtmatu kõrge temperatuuriga, mille sisemuses toimub imelik protsess. Aatomid seal tõenäoliselt on pikka aega ära kadumas, samal ajal vaid vähesed aatomid tekivad uuesti; kiirgamine ehk valgus, mida me näeme, on aina haihtuv osa suurest energiast möllust tähtede sees. Tähe sisemus on niivõrt pööraselt energiaküllane, et ta annab välja oma peidetud saladused ja võimaldab meile kaudselt tajuda seda, mis seal sünnib, selgemalt ja olulisemalt, kui me võime tajuda seda, mis toimub õunas või isegi liivaterakeses. Harilik aatomid on, nagu me teame, rahulik ja passiivne, — ta ei anna nii kergesti välja oma saladusi; tema olemine säilib ja näiliselt igavesti; ent aatomite käitumine mõne tähe või päikese sise-

muses erineb täiesti sellest. Seal materia laseb tõusta energia leeke, saates neid välja eetrisse igas suunas; ja analüüsides seda väljakiiratud energiat, praegusaja suured füüsikud ja astronoomid jõuavad äratundmisele, et nad teavad rohkem mõne tähe sisemusest kui iseenese keha sisimast ehitusest või maakera sisemusest. Seega on neil võimalusi hakata lahendama ja mõistatama materia iseloomu suuri probleeme, energia iseloomu, ja parajal juhul isegi materiaalse maailma üldist ehitust (struktuuri). Ainult elu ja mõistus veel jäävad väljapoole nende vaatepiiri.

## VIII.

### Energia kosmilised muundused.

Me teame nüüd kindlasti, et energia võib võtta endale eri kujusid ja et tema ülekandumine ühest kehast teise on seotud ka tema kuju muutumisega, mis seega toimub iga tegevuse kestes. Tuntumaid energia kujusid on: energia, mis peitub liikuvates kehades, keerlevates hooratastes, ülesvinnatud raskustes, üleskeeratud või painutatud vedrudes ja paljudes teistes mehaanilistes seadistes. Teised hästituntud energia kujud on hääl, valgus, soojus ja mõned harvem esinevad kujud, näit. elektrilaengud, elektrivoolud ja magnetväljad. Kokkuvõttes võime ütelda, et energia eri kujud ilmnevad kas materias liikumiseisundis või eetris pinevusseisundis. Erilist tähelepanu tuleks pöörata salapärasele energia keemilisele kujule, mis esineb ligipääsematute aatomite pinevuses ja on täiesti peidetud pealiskaudse vaatlemise eest. Võib-olla on olemas veel teisi energia varjatud kujusid, mis suurema osa XIX sajandi kestes jäid aimamatuiks ja mis, sest et nad ei allu muutumisele, ei ole praegugi veel kättesaadavad inimkonnale tegelikult kasustamiseks.

Üks imestusväärsemaid XX sajandi avastusi on asjaolu, et mateeria aatomgi koosneb elektrilaenguist ja et ta nii siis pole see viimne ega alg-ühik, nagu tolle ajani oldi harjutud mõtlema. Elektrilaengud ühes aatomis on kahte vastupidist liiki: positiivsed ja negatiivsed, mis üksteist tugevasti külge tõmbavad ja mis ometi kuidagiviisi on lahus üksteisest; nii et ühe aatomi sisemuses on arvutu hulk pinevust, seega suur tagavara staatilist energiat, mis aga suuremalt jaolt on täiesti peidetud ja varjatud. Ainult väike osa raskematest ehk kompleks-aatomitest, mis avastati XIX sajandi lõpu poole, annavad meile aimu nendes peituvast suurest energia tagavarast sellega, et nad iseenesest, ilma välise põhjusega, ühe jao oma ainest eraldavad ja selle eraldatud osa suure kiirusega endast eemale paiskavad kõige väiksemate lendosakeste näol, sealjuures ise muutudes mateeria teissuguseks kujuk. Nii leiti, et keemilised elemendid ei ole mitte nii kindlakujulised ja muutumatud, nagu nad tolle ajani näisid olevat. Uraanium, eraldades väikese osa oma energia tagavarast, muutub raadiumiks ja raadium, omakord energiat eraldades, muutub tinaks. See elementide muutumine, olgugi võrdlemisi hiline avastus, on praegusel ajal saanud peaaegu üldiseks tallermaaks. Ühenduses meie käesoleva ainega pakub meile huvi see asjaolu, et ka mateeria allub muundumistele, milline asjaolu oli energia kohta juba ammu teada. Siit tärkab meil mõte, kas võib-olla mateeria energiaga ei ole rohkem sugulane, kui meie seda teame<sup>1)</sup>. Mateeria

1) Viimase aja teaduslikud saavutised selles küsimuses on kokkuvõtlikult esitatud raamatu lõpus.

näib olevat sekundaarne ja kaunis pettepiltlik nähtus kosmoses, nii et ka tema omadused ja käitumised on nähtused, mis alluvad mingisugusele ürgnähtusele. Kuid kaasaegne füüsika otsib absoluutset ja püüab välja aidata meid teadmatuse sügavusest, kus veel viibime. Me võime vaid vähe aega peatuda nendel kohtadel, mis kõrgemad ja kus edasisammumine on enam kindel. Kui populaarne käsitusviis püüab näidata füüsikat kerge ainaena, siis on olemas ka hädahoht, et ta meid võib kergesti viia valeradadele. Teadlased, juhtides võhikuid mööda tasandatud teid, ei tohi kunagi unustada padrikut, mis asub mõlemal pool teerada.

Kui energia oma muutumisel läheb üle radioaktiivsesse ainesse, siis ta on tegev nii, kuis iga teisegi ülemineku korral, s. t. ta võib tekitada soojust ja on võimeline tekitama valgust, kui lendosakesed suudetakse kinni püüda vastava sõela abil. Samuti ta võib keemiliselt tegev olla, kui lendosakesed kinni püüda fotograafilisel plaadil. Ja sel viisil avastatigi pooljuhuslikult selle muidu peidetud energia tegevused. Nii et ka mateeria aatomitesse varutud energia võib üle minna oma teistesse kujudesse ja selle ülemineku juures tegevust avaldada.

Nüüd võime jätkata oma edasiminekut. On ammu juba teada, et kui vastupidised elektrilaengud kokku pörkavad, siis nad üksteist hävitavad elektriliselt, kuid mitte aineliselt, tekitades sealjuures kiirgamis-sähvatust. See nähtub valguse kiirgamisel ja vähesel määral ka elektrisädemes. Kui aga mateeria täielikult koosneb ainult vastupidistest elektrilaenguist, siis võib võimalik olla, et teatud olukordades see mõjutegur, mis neid laenguid lahus

hoiab, võib kõrvaldatud saada ja laengute kokkupõrkel hävitus kujuneda a i n e l i s e k s ning terve aatom kaduda ühes kiirgamis-sähvatuses. Seda ei juhtu küll maapealsetes tingimustes. Näib olevat nii, et kirjeldatud nähtuseks on tarvis palju kõrgemat temperatuuri kui see, mis maapealsetes sulatusahjudes senini üldse on saavutatud. Kui aga kunagi kuski universumis ilmneks äärmiselt kõrge temperatuur, siis puruneks materia-aatom ja tema energia saadetakst tagasi eetrisse kiirgamise kujul.

Olgugi et maakeral sarnaseid olukordi ette ei tule, võime me siiski maailmaruumis näha määratu kõrge temperatuuriga kehi, kus kirjeldatud nähtus võib aset leida. Neid kehi me näemegi tänu kiirgamisele, mis neist välja hoovab. Kui tähed ei kiirgaks, siis me neid ei näeks samuti kui päikest, mis on ka üks tähtedest, mille läheduses meie asupaik, maakera, juhuslikult viibib. Päikese ja tähtede sisemus sarnaneb hõõgahjuga, kus temperatuuri kõrgus on mitu miljonit kraadi. Arvutamine näitab, et sellistes tingimustes energia ühes aatomis pole enam kinnipeetud ja kättesaamatus olekus, vaid seal ta on pidevalt üle minemas materiast eetrisse, nii et mõni osa temast „lekib“ välja ehk kiirgub laiali maailmaruumi. Suurem osa tähtede seesmisest kiirgamisest aga on n.-ü. vangis, ja vabanemiseks tuleb tal läbi tungida pakust peal-lasuvast materiakorrast. Ja tõepoolest mõni osa temast tungibki läbi kuni pinnani ja haihtub ruumi; ning see just ongi, mis meile tähest teateid toob. Tähtede kiirgamise võime on määratu suur ja ta on pärit arvamata kaugetest muinasaegadest.

Milline energia-allikas peab see küll olema väljaspool meie vaikset ja rahulikku maakera, mille arvele

võib kirjutada seda kohutavat tegevust? Arvutamine jällegi näitab, et ainsaks allikaks, mida võib küllaldaselt arvestada, on materia muutumine kiirgamiseks. Päike näit. kiirgab iseene materia kulul. See energia hulk, mis on varutud igas materia kilogrammis, on lõpmatu suur ja materia hulk päikeses või mõnes teises tähes on nii kujuteldamatu suur, et materia kaotus kiirgamise tagajärjel, mida me nime-taksime suureks ja mida hinnatakse olevat mõni miljon tonni ühes sekundis, ei mõju kuigivõrra märgatavalt tähe suurusele ega hiilgusele ajajärgu kestes, mis on võrreldav inimkonna ajalooa. Üksikasjade suhtes peame lugejat juhatama praegusaja suurte täheteadlaste tööde juurde. Meie käesolevaks otstarbeks jätkub küllalt ühe tähtsa otsuse allakriipsutamisest, nimelt et materia v õ i b muutuda üheks energia kujuks, — teatud tingimustes aktiivseks kujuks, — ja et erakordsetes tingimustes materia säilivus ei ole enam tõsiasi.

Me ei näe seda materia muutumist energiaks toimuvat maakera pinnal. Siin materia aatomid suuremalt osalt hoiavad neis peituvat energia alal ja ühenduses sellega materia meie jaoks on midagi jäädav. Kuid vaadates kosmosse me näeme, et tingimused mujal on sootu erinevad maapealseist ja et seal materia pidevalt puruneb. Ta hävineb matteriana ja muutub millekski muuks. Tema energia läheb üle eetrisse ja muutub kiirguseks. Ja kui see protsess peaks nii edasi kestma igavesti, katkestamatult ja ilma asendamiseta, kui ta edasi kestab ta-ga s i p ö ö r a m a t u l t (irreversiibelselt), siis kõik universumi materia, mis ei ole veel ära jahtunud,

nagu maakeral, vähehaaval kaoks ära ja võtaks eetri-  
lainete kuju.

Et tõepoolest ei ole mingit asendamist ja et see protsess tõesti on tagasipööramatu (irreversiibelne), näib mulle olevat mitte-tõenäoline; kuid vastupidist protsessi senini pole veel avastatud.

Me võime asja käsitada ainult meie praeguste teadmiste valgusel, kogu aja aga meeles pidades, et need on ebatäiuslikud ja puudulikud. Põhipind, millel me praegu oma teadmisi edasi arendame, on küllaldaselt kõva; ent me oleme kindlad, et palju muud peitub veel eespool ja seepärast ei ole meile sugugi kohane dogmasid üles seada füüsilise universumi saatusel kohta, seni kui meie teadmised ei ole piisavad. Meie praeguste teadmiste juures näib nii olevat, nagu energia „jookseks maha“ vähem kasutatavasse kujudesse justkui üleskeeratud kell, mida enam millegagi pole võimalik uuesti üles keerata. Sellest vaatekohast välja minnes füüsilise universumi kogu tegevus (aktiivsus) oleks selle „mahajooksmis“-protsessi tagajärg. Kuid see ei tarvitse olla lõplik otsus. Selgituseks võtame vaatlusele võrdkuju. Vesi jões „jookseb maha“ ehk siin „alla“ pidevalt, kuid selle peale vaatamata on jõgi miski, mida me nimetame jäädavaks. Inimesele, kes loodusteadust ei ole õppinud, see vee allavoolamise protsess jões võiks paista tagasipööramatu protsessina, just nagu kosmose materia muutumine energiaks ja sel kujul hajumine näib meilegi. Kuid sellele, kes loodusteadusega tuttav, avaneb teine pilt: olgugi et vesi jões ei saa enam tagasi tulla veena, kuid päikese kiired muudavad mere vett auruks, auruna tuleb vesi tagasi, langeb vihmapiiskade näol alla maa peale ja täidab

uesti jõgesid ja nii see protsess kestab jätkuvalt; ta on tsükliline ehk ringprotsess. Võimalik, et kosmoses on lugu samuti. Materia-osakesed, mis on kukunud või kukuvad kokku gravitatsiooni (külgetõmbejõu) mõjul, moodustades tähti ja maailmu, näivad kindlasti pidevalt muutuvat kiirgamisenergiaks ja sel kujul nende energia „jookseb maha“, s. t. hajub mõõtmatuisele kaugustesse maailmaruumi laiali. Kui see energia võiks mingil viisil tagasi muutuda mateeriaks või materia elektrilisteks põhiosadeks, — nagu nägematu veeaur, tagasi muudetuna vihmapiiskadeks, uesti täidab jõgesid, — siis võiksid need materia-osakesed uesti ühte langeda, protsess oleks tsükliline, kell oleks jällegi üles keeratud ja nii — mingil „sugupõlvede vaheldusel“ — võiks see igavesti kesta. Kuid see vastupidine nähtus, kiirgamise muutumine mateeriaks, — materiaalse kosmose jäädavuse tõestus, — ei ole veel jõudnud meie teadmuste valdkonda, olgugi et juba Newton on seda ette aimanud. Selle küsimuse peame jätma lahtiseks, sest et me senini veel midagi kindlat ei tea.

## IX.

### Maapealne energia.

Elades maa peal, me leiame end ümbritsetud suurest hulgast kasustatavast energiast, mida võime töhe rakendada alaliselt ja mida, nagu me näeme, tarvitavad ka taimed ja loomad. See energia ei kuulu maakerale, veel vähem on ta sealt pärit. Maakera enese energia on peasjalikult kättesaamatu (ligipääsematu), sest ta koosneb tema öö-päevasest pöörlemisest oma telje ümber ja aastasest tiirlemisest ümber päikese ja veel sisemise soojuse varust, mis on alles hajumata kiirgamise näol ja enamalt jaolt maetud sügavale maakoore alla. Lisaks sellele on olemas väike hulk energiat, mida arendavad radioaktiivsed kehad maakera kooses ja mis on vastutav aeg-ajaliste või juhuslikkude vulkaaniliste pursete, maaväringute ja kuumade allikate tekkimises. Ainus osa maakera energiast, mida võiks osaliselt ära kasustada, on tõusu ja mõõna energia; nagu teada, on tõus-mõõn tekitatud kuu gravitatsiooni tõmbest; ja niivõrra kui see energia ilmneb rannikutel ja merekitsustes, see toimub meie maakera pöörlemise energia kulul. Seniajani ei ole paistnud vaeva väärt tõusu ja

mõõna energiat töhe rakendada ja senikui teised energiaallikad on küllaldased, võib ainult väga erandlikes olukordades tulla küsimusse selle energia ära kasustamine. See ei kuulu siia praegu, vaid on üks tehnilisi küsimusi.

Kahtlemata maakera kasustatava energia hulk tuleb meie juurde päikeselt läbi tühja ruumi kiirgamise kujul. See päikese energia ongi, mis põhjustab tuuled ja lained, vihma ning selle tagajärjel jõed. Mere vesi muutub auruks, tõuseb üles nägematu auruna, veestub kõrges õhus ja tuleb tagasi meie juurde vedelal kujul; vihma näol mahalangenud vesi jookseb allamäge, sealjuures võib temas peituvat energiat teatud määral ära kasustada kas kõrgel asuvates järvedes või koskedes rakendada masinaid ümber ajama. Päikese kiirgamise energia ülejäänud osa neelab esijoonel taimestik, mille lehed sisaldavad rohelist ainet, mis võimaldab valgusel tekitada keemilisi reaktsioone ja muuta süsihapet ning vett tärkliseks ja suhkruks, puuaineks ehk tselluloosiks, üldse taimekoeks. Nii siis taimedes energia on varutud keemiliselt ja teda võib seepärast kasustada kas loomadele toiduks või vabastada soojuse näol puude või süte põletamisel.

Seega kestab kõik tegevus maakeral edasi; ja seda kasustatavat energiat, juhitud elu ning mõistuse abil, võib ära tarvitada igal viisil, mis seni füüsiliselt on leitud võimalik olevat. Me võime selle kasustatava energia suuremalt jaolt arvutada keemilise ehk molekulaarse kombinatsiooni energiana, aatomid päikese valguse läbi uuteks värsketeks molekulideks muudetuna võivad selle järel vabastada oma varutud energiat soovitud suunas. Põlemisproduktid, olles

rahuldanud oma keemilise suguluse, ei sisalda enam kasustatavat energiat seni, kui neid taimestik jällegi ei uuenda.

Kütet võib tarvitada kokkuhoidlikult või raiskavalt. Heinakuhi võib näit. asetatuna tulle tekitada küll kuumust, kuid palju ökonoomsemalt teda võib tarvitada veohobuste toiduna. Samuti süsi või õli võib põletada lahtisel tulel; kuid neid võib põletada ka aurumasina katla all, mil juhul osa varutud energiast ilmsile tuleb mehaanilise tööna.

Huvitav on tee, mil viisil päikese energia jõuab meieni. Ta ei rända mitte soojusena, sest tal on tulla miljoneid kilomeetreid läbi tühja ruumi, kus valitseb täielik külmus. Valguse kiirgus tekitab soojust ainult siis, kui ta kohtab materiat; kuid isegi siis ei tarvitse ta ainult soojust tekitada: osa tast tekitab keemilisi reaktsioone, kuna suur hulk tast ära kulub ookeani vee auruks muutmiseks. Temperatuuri tõus ehk tunduv soojus on neil juhtumitel ainult kõrvalsaadus, ometi on see peatulemuseks, kui päikese kiired langevad kaljudele või liivale, nagu kõrves. Tühi ruum seepärast, igatahes päikese naabruses, on täis aktiivse energia varu vibratsioonide või eetriainete näol, mis vahetpidamata rändavad suure kiirusega väljapoole, saades pidevalt uuendatud algallikast ja neelatud seal, kus nad oma teel kohtavad materiat. Me tunneme neid laineid või vibratsioone, kui seisame tule paistel või võtame päikesevanni. Meie nahanärvid on kaunis tundlikud nende vibratsioonide vastu: kuna ühes väikeses osas meie kehast, nõndanimetatud võrkkestas, on närvid eriliselt tundlikud isesuguste koosseisu-osade tõttu, mis võimaldavad meile otsekohesemat valguselainete vastuvõttu

nägemise ja optiliste võtete kaudu, võimaldub meile saada pilt asjast, mis neid vibratsioone on välja saatnud; just niisamuti võib maastiku kujutist saada läätse abil paberitükile või fotograafilisele plaadile.

See, mida me meeltega tajume, pole mitte virvendus, ka mitte seda edasikandev aine; virvenduse olemasolu fakt (tõsiasi) pidi avastatama teaduse poolt. Meie esimestena ei võta vastu mitte laineid, mis toovad teateid, vaid materiaalseid asju, kust nad on tulnud. Meie meeled jutustavad meile ainult materiasest; ja nii, olgugi et see on valgus, mida me tõepoolest saame, meie tajume materiaalseid asju, ja öeldakse, et me „näeme“ maastikku, või päikest, või tähti. See on, mida me mõistame nägemise all. Isegi praegu me ei või teada täielikult, kuidas toimub see nägemise tagajärg. Kindlasti loomade ja lindude juures on see teisiti; kuid see ei takista neid nägemast täiuslikult hästi. Meie tõelikult ei näe valgust, me näeme ainult valguse abil; ja loomulikult me näeme ainult selle valguse osa abil, mis meie silma on läinud. Kui öeldakse, et me näeme valgusekiirt, nagu näit. kiirteheitja kiirt, mis tungib läbi tolmu atmosfääri (õhkkonna), siis me näeme tõeliselt vaid tolmu. Osakesed, olgu kõvad või vedelad, saavad valgustada kiirtekimbus valgusest nii, et nad selle pisikeste murdosakestena pillavad laiali meie silma, just nagu kuu või valge paber seda teeb. Mitte tolmu ei lase näha valgust, vaid valgus laseb näha tolmu. Me näeme tolmu just nii, kuidas me näeme kuud. Nii et üldiselt me näeme materiat või materia kujutisi nagu peeglis. Tõsi, me näeme vikerkaart; kuid see on vaid arvurikas päikese kujutiste kogumik; iga kujutis peegeldatud ühes neist arvurikastest vihma-

piiskadest, mis kukkudes juhtuvad teatud kindla nurga alla sirgjoonega, mis ühendab päikest vaatlejaga, nii et osa peegeldatud valgusest läheb vaatleja silma mõõdukalt paralleelsete kiirtena. See, mida me näeme vikerkaarena, on müriaad päikese kujutisi, mis asetatud ringis, just nagu me näeksime ühe valguse-täpi lihtsat värvilist kujutist enese taga peegli ja prisma abil; sest iga ümmargune vihmapiisk õiges asendis toimib ühtlasi prismana ja hõbetamata peeglina.

Meie meelte tajumised võib kirjutada tundlikkude närviotste elektronidega pommitamise arvele. Meie meeled võivad alluda hallutsinatsioonidele (meeltepetetele) või valesti tõlgitsetud muljetele; kuid meie tundetajumised on materiaalsed. Teised füüsilised olemisviisid on tajumatud, kuid sellegipärast võib-olla sama tõelised.

## X.

### Põhiseadused.

Põhiseadus teaduses on harilikult väga lihtne ja ühtlasi väga kokkuvõtlik. Mõnikord kõige lihtsamad asjad näivad omavat kõige suuremaid ja laiaulatuslikumaid tagajärgi. Võtame näiteks Newton'i kolm liikumisseadust, mis meisterlikult kokku võtavad Galileo Galilei' avastused füüsikas. Nad on väga lihtsad sõnastada, kuid valitsevad kogu materiaalist universumit ja, kui peaks olema mõndi erandeid, siis on need erandid enam näilised kui tõelised. Näit. nad ei arvesta noid hiljutisi avastusi massi muutumise kohta ühes kiirusega, mida ka ei võidud aimata, enne kui mateeria elektriline teooria sai teatavaks. Kuid kõigi nende uute vaatepunktide kiuste Newtoni seadused veel püsivad, eeldades muidugi, et kõik asjaolud on arvesse võetud, mis tegelikult tähendab: eeldades, et mateeriat vastavalt vaadeldakse ja et tema vastastikune mõju eetri ja kiirgamisega on ka arvestatud. Pealiskaudselt need seadused on igatahes kaunis kergelt arusaadavad, kuid on vaeva väärt nende üle hoolikamalt järele mõtelda.

Need kolm seadust nende lihtsamas kujus võiksime sõnastada järgmiselt:

I seadus: Ilma välise tungita keha oma liikumist ei muuda.

II seadus: Välistungi mõjul keha liikumine kiireneb võrdeliselt tungiga.

III seadus: Igale tungile on vastu asetatud võrdne vastupidine tung, mis mõjub tema vastu. Ehk teiste sõnadega, tegevus ja vastutegevus on võrdsed ja vastupidi suunatud.

Energia vaatepunktist III seadus on kõige tähtsam ning peame temast rohkem kõnelema. Kuid vaadelgem enne lühidalt kahte esimest.

### I seadus.

Esimene seadus ei ütle, et tung on vajalik liikumisele, nagu seda ootab harimata mõistus; ta ütleb, et ilma välise tungita ei või olla mingit liikumist. See tähendab, et kui kõik tungid, mis mõjustavad keha, on tasakaalustatud, teiste sõnadega, kui kõigi kehale mõjuvate tungide resultant-tung on null, siis keha kas püsib paigal või liigub sirgjooneliselt ja ühtlaselt, s. t. muutumata kiirusega, ja ei muuda seda oma olekut iseenesest, vaid ainult mingi välise põhjuse, tungi toimet. Seda keha omadust nimetatakse inertsiks ja esimest seadust tihti ka inertsiseaduseks. Teiste sõnadega, keha, mis allub ainult tasakaalustatud tungidele, liigub ühtlase kiirusega ja sirgjoonel, minemata kiiremini või aeglasemalt, ilma et tema liikumistee oleks kõverdatud. Kui laevakruvi edasiajav tung on tasakaalus vee takistusega, siis laev liigub ühtlase kiirusega sirgjooneliselt. Kui

edasiajav tung on suurem vee takistusest, siis laeva kiirus suureneb. Kui aga takistav tung (vee takistus) on suurem edasiajavast tungist, siis liikumine aeglustub ja keha viimaks tuleb suhtelisse (relatiivsesse) paigalseisu, s. t. paigalolekusse mingi välise keha suhtes, mis mõjub takistavalt. Kui aga mõjub tung, mille suund keha liikumise suunaga ei ühti, nagu näit. rongi juures raudteekäänakul või laeva juures laevatüüri pööramisel, siis liikuva keha tee kõverdub. Kuid niikaua kui välised tungid on tasakaalus, keha jätkab oma liikumist inertsil, s. t. ta liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt.

Esimese seaduse põhjal võime ka teha mõningaid järeldusi vaatlemistest. Kui me näeme, et üks keha liigub sirgjooneliselt ja ühtlase kiirusega, siis esimese seaduse põhjal võime ütelda, et üks kahest, kas sellele kehale ei mõju üldse mingi tung, või jälle kõik seda keha mõjustavad tungid on **t a s a k a a l u s**, s. t. on niisugused, mis ei sunniks liikuma seda keha, kui ta paigal seisaks. Kui aga meie vaatlustest selgub, et üks keha liigub küll sirgjooneliselt, kuid mitte ühtlase kiirusega, või ehk kõverjooneliselt, olgugi ühtlase kiirusega, siis esimese seaduse põhjal peame järeldama, et kehale mõjub mingi tung, mis teiste temale mõjuvate tungide poolt (kui neid on) ei ole tasakaalustatud. Kui seome kivi nööri otsa ja keerutame ringi, siis meie käsi **t u n n e b** seda tasakaalustamata tungi, mille mõjul kivi ringjooneliselt liigub. Kuid igakord ei ole nii kerge seda tungi avalikuks teha. Kui kivi on asetatud kaalule ja püsib seal liikumatult tasakaalus, siis on lihtne järeldada, et kivi raskus on tasakaalustatud kaaluvihtide raskusega. Kui me aga arvesse võtame, et maakera pöörleb oma telje ümber,

tehes ühe pöörde 24 tunni kestes, siis on arusaadav, et kõik maapinnal asuvad kehad, ka vaadeldav kivi kaalul, üldiselt liiguvad ringikujuliselt ja ühtlaselt ümber maakera telje ja seepärast esimese seaduse põhjal peab meie vaadeldavale kivile mõjuma mingi tasakaalustamata tung, mida aga pealiskaudsel vaatlemisel ei ole sugugi nii kerge leida. Kivi asub kaalul, tema raskus on vihtidega tasakaalustatud ja muid kivile mõjuvaid tunge nagu ei näiks olevat. Teaduslik uurimine alles näitab, et see otsitav tung on tasakaalustamata osa kivi tõelise raskusest, s. t. et kivi tõepoolest on raskem kui see rõhumine, mida ta kaalule avaldab, ja vahe kivi tõelise raskuse ja tema rõhumise vahel kaalule ongi see tung, mille mõjul kivi ringjooneliselt liigub. Järelikult tuleb kindlat vahet teha kivi tõelise ja näilise raskuse vahel. Kivi tõeline raskus on tung, millega maakera kivi enda poole tõmbab, ja näiline raskus on tung, mida tunneme, kui seda kivi tõstame, ja mida tunneb ja näitab meile (vedru-)kaal. [Et tõeline ja näiline raskus üldse võivad erineda teineteisest, näitab see asjaolu, et kivi vees kergem on tõsta kui kuival.] Ainult Maa poolusel (nabal), kus kivi Maa pöörlemise tagajärjel ei liigu ringikujuliselt, näitab kaal kivi tõelist raskust; kui sedasama kivi kaaluda Maa poolitajal (ekvaatoril), siis selgub, et ta kaalub vähem kui poolusel, s. t. kivi on näiliselt kergem ja nimelt  $\frac{1}{289}$  osa oma tõelisest raskusest. Kui kivi, mis poolusel kaalub 289 grammi, viia ekvaatorile ja seal uuesti kaaluda, siis seal ta kaalub ainult 288 grammi (tõepoolest natuke vähemgi, sest raskus ekvaatoril väheneb veel teisel põhjusel, mis oleneb sellest, et ekvaatoril olles kivi asub kaugemal maakera kesk-

punktist kui poolusel olles). Kujutlegem, et Maa pöörleks oma telje ümber 17 korda kiiremini, s. t. et öö-päev oleks ainult 1 tund 24 minutit pikk, siis kõik kehad maakeral poolitajal näiliselt ei oleks üldse rasked! Nad ei kaaluks mitte midagi; mõne kivi võiks asetada õhku ja ta jääks sinna seisma, ilma et oleks tarvis mingit alust või tuge. Kivi raskusest ei jääks midagi üle selleks, et maapinnale langeda, vaid kõik tema raskus kuluks ära selleks, et hoida teda ringikujulises liikumises ümber Maa telje. Nii mõnelgi õpilasel on raske olnud uskuda õpetaja seletust, et Maa ligi tõmbab ka Kuud, s. t. et ka Kuul on oma raskus (20 000 biljonit tonni), sest „mispärast ei lange Kuu siis taevast maha, nagu ülesvisatud kivi maha langeb“?

Meil ei ole raske sellele küsimusele vastata: kõik Kuu raskus kulub ära selleks, et hoida teda ringjoonelises liikumises ümber Maa, mahalangemiseks ei jää midagi üle. Kui Kuu ei oleks raske, s. t. kui Maa Kuud ligi ei tõmbaks, siis esimese seaduse põhjal Kuu lendaks sirgjooneliselt Maa lähedusest hoopis minema.

Kui keegi tahab mingi keha näilist raskuse vähenemist ühes koha geograafilise laiuskraadi vähenemisega tegelikult järele katsuda, siis tarvitseb tal vaid see keha ära kaaluda kuski põhja pool ja keha hoolikalt hoides rännata temaga mõni tuhat kilomeetrit ekvaatorile lähemale (veel parem päris ekvaatorini) ja seal uuesti kaaluda: ta näeb, et keha on pisut kergemaks muutunud. Kaalumiseks tuleb aga tingimata tarvitada vedrukaalu, sest et harilikul kangkaalul ka vihid, millega kaalutakse, sama palju kergemaks muutuvad kui kaalutav keha, nii et keha raskuse vähenemine ei saa ilmsiks tulla.

## II seadus.

Kui vaatlemisel näeme, et mingi keha liikumine ei ole sirgjooneline ega ühtlane, s. t. muutumata kiirusega, siis esimese seaduse põhjal võime ütelda, et sellele kehale mõjub mingi tasakaalustamata tung. Teine seadus annab meile lähemaid teateid selle tungi suuruse ja suuna kohta.

Üldiselt, kui keha ei liigu nii, nagu ta esimese seaduse järgi peaks liikuma, s. t. sirgjooneliselt ja ühtlaselt (püsiva kiirusega), siis on meil tegemist keha liikumise kiiruse muutumisega ehk kiirendusega. Viimane nimetis on laialdaselt tarvilusel, olgugi et ta ei ole küllalt tabav.

Teine seadus ütleb, et keha liikumise kiiruse muutus ühes sekundis ehk kiirendus on võrdeline kehale mõjuva tungiga. Üldiselt on teine seadus raskem käsitleda kui esimene. Paremaks arusaamiseks ütleme selle seaduse ümberpööratult: kui kehale mõjub mingi (tasakaalustamata) tung, siis keha liikumine toimub tema kiiruse muutumisega ehk kiirendusega, kusjuures see kiiruse muutus ühes sekundis on võrdeline mõjuva tungiga ja ilmneb tungi suunas. Kiiruse muutus ühes sekundis võib avalduda selles, et: 1) keha kiirus suureneb või väheneb, aga kiiruse (see on ühtlasi ka liikumise) suund ei muutu; 2) keha liikumise kiirus suuruselt ei muutu, vaid muutub kiiruse (s. o. liikumise) suund ja 3) muutub nii kiiruse suurus kui ka tema (s. o. liikumise) suund. Esimesel juhtumil on meil tegemist sirgjoonelise kiirendatud või aeglustatud liikumisega, teisel juhtumil — kõverjoonelise ühtlase liikumisega ja kolmandal juhtumil — kõverjoonelise kiirendatud või aeglustatud liikumi-

sega. Nii et õpperaamatuis tarvitusele võetud sõna „kiirendus“ ei ole just õnnelikult valitud: ta ei tähenda alati, et keha liikumine kiireneb, vaid tähendab üldiselt, et keha liikumise kiirus muutub kas arvsuuruse poolest, või oma (s. o. ka liikumise) suuna poolest, või mõlema poolest korraga.

Vaatleme esiteks sirgjoonelist liikumist. See võib aset leida ainult siis, kui tegev tung mõjub liikumise suunas, kas päri- või vastupidi, ja vastavalt sellele keha liikumise kiirus kas suureneb või väheneb. Oletame, et 1-kiloline tung mõjub kehale tema liikumise suunas päripidi ja selle tagajärjel keha kiirus ühe sekundi vältel suurenes 1 meetri võrra sekundis. Kui nüüd samale kehale mõjub 2-, 3-, või 10-kiloline tung, siis selle keha kiirus suureneb ühe sekundi kestes vastavalt 2, 3 või 10 meetri võrra sekundis, s. t. mitu korda suureneb kehale mõjuv tung, nii mitu korda suureneb ka (mitte kiirus!) kiiruse juurdekasv 1 sekundis ehk kiirendus.

Kuid teine seadus käsitab ka keha massi. Ta ütleb, et ühe ja sama kiirenduse puhul tegev tung on võrdeline keha massiga. Andku teatud tung mingile kehale teatud kiirendus; kui nüüd võtame mõne teise, 2, 3 või 10 korda suurema massiga keha, ja kui tahame, et ta saaks sama suure kiirenduse kui esimene keha, siis peame mõjustama teda vastavalt 2, 3 või 10 korda suurema tungiga kui esimest keha. Matemaatika-sümbolites teine seadus sirgjoonelise liikumise tarvis väljenduks järgnevalt:

$$f = mg,$$

kus tähed  $f$ ,  $m$  ja  $g$  on arvud, mis vastavates ühikutes näitavad vastavalt tungi, keha massi ja tema kiirenduse suurust.

Teise näitena vaatleme ühtlast ringjoonelist liikumist. Esimese seaduse põhjal ka selle liikumise juures peab mõjuma mingi tung. Teine seadus ütleb, et selgi juhtumil tegev tung on võrdeline nii liikuva keha massiga kui ka tema liikumise kiirendusega ja on suunatud kiirenduse suunas. Ainult sel juhtumil keha liikumise kiirendus ei avaldu mitte tõelises liikumise kiirenemises, vaid kiiruse (s. o. liikumise) suuna pidevas muutumises. Arvutamine näitab, et ühtlase ringjoonelise liikumise korral keha kiirendus või parem kiiruse muutus ehk juurdekasv on ikka suunatud selle ringjoone keskpunkti, mida mööda keha liigub, ja tema arvsuurus  $w$  väljendub järgnevalt:

$$w = \frac{V^2}{R},$$

kus  $V$  ja  $R$  on arvud, mis vastavates ühikutes näitavad vastavalt keha kiiruse suurust ja selle ringjoone raadiuse pikkust, mida mööda keha liigub. Kui tähistame arvu, mis näitab liikuva keha massi suurust, tähega  $m$ , siis selle tungi arvsuurus  $f$ , mille mõjul keha massiga  $m$  liigub ühtlase kiirusega  $V$  ringi mööda, mille raadius on  $R$ , teise seaduse põhjal väljenduks järgmiselt:

$$f = mw = \frac{mV^2}{R};$$

see tung on, nagu kiirenduski, kõik aeg suunatud ringjoone keskpunkti ja seepärast igal hetkel liikumissuunaga risti. Siit järeldame, et tung, mis mõjub kehale ja on tema liikumissuunaga risti, ei suurenda keha liikumise kiirust, vaid muudab ainult liikumise kiiruse suunda, muutes keha liikumise tee kõverjooneliseks.

Kui viimaks liikuvale kehale mõjub tung, mille suund ei lange ühte liikumissuunaga ega ole temaga ka risti, vaid moodustab liikumissuunaga teatud nurga, siis võime alati tungide liitmise ja lahutamise seaduse järgi lahutada selle tungi kaheks liidetavaks nii, et üks neist mõjub liikumissuunas ja teine liikumissuunaga risti: esimene neist suurendab või vähendab keha liikumise kiirust ja teine muudab keha liikumissuunda, nii et mõlema korraga mõjudes keha liikumine on kiirendatud või aeglustatud kõverjooneline liikumine.

Tung, mis mõjub keha liikumissuunas, suurendab või vähendab keha liikumiskiirust ja seepärast ka keha kineetilist energiat; sel juhtumil keha liikumine toimub ühenduses energia ülekandumisega; liikuv keha kas teeb tööd või tema kallal tehakse tööd. Tung, mis mõjub keha liikumissuunaga risti, ei suurenda keha liikumiskiirust; see tung ei tee tööd, liikuva keha kineetiline energia ei muutu. Tung, mis mõjub liikumissuunaga teatud kaldenurgi, teeb tööd osaliselt, s. t. vähem, kui ta teeks, mõjudes liikumissuunas.

Kui keha liikumise kestes muudab oma massi ükskõik mil põhjusel, siis peab teise seaduse käsitlemisega olema ettevaatlik. Näit. ei saa teist seadust pikema jututa käsitleda langevate vihmapiiskade kohta, sest need võivad langemisel osaliselt ära auruda või jälle veeauruga küllastatud õhus auru vettumise tagajärjel kasvada. Viimasel ajal on avastatud, et materia-osakesed, mis liiguvad väga suure kiirusega, üllatavalt omandavad väikese massijuurdekasvu. Ka sel juhtumil ei saa teist seadust enam rakendada.

### III seadus.

Võtame käsitlusele kolmanda Newton'i seaduse ja selgitame lähemalt tema mõtet, vaadeldes ühtlasi juhtumeid, kus tema rakendamine nõuab teatud ettevaatust. Katsume kõigepealt aru saada tema täpsast mõttest. Kolmas seadus ütleb, et igale tungile on vastu asetatud võrdne vastupidine tung, teiste sõnadega, et looduses tungid ilmuvad ikka paarikaupa, kusjuures iga paar on isekeskis võrdne, aga vastupidi suunatud. Kui keha A tõmbab keha B-d mingi tungiga, siis ka keha B tõmbab keha A-d täpsalt sama suure, kuid vastupidi suunatud tungiga. Et üldse üksteisele mõjuda või tegevad olla, kehad A ja B peavad olema kokkupuutes kas vahenditult või mõne vahepealse lüli abil. Erijuhtumil, kui A ja B on ühe ja sama keha D osad, avaldub nende tungide mõju ainult keha D sisemises pinges, ja kui keha D on küllaldaselt vastupidav sellele pingele, need tungid kui võrdsed ja vastupidi suunatud on tasakaalus: nad ei mõjusta keha D kui terviku liikumist sugugi. Muidugi ei avalda mõju ka nende tekitatud sisemine pinge keha D liikumisele. Need vastupidised, tasakaalustatud tungid ainult püüavad keha D-d purustada, või venitada, või väänata, kuna keha tervikuna alluks esimesele ja teisele liikumisseadusele. Paadis olles ei saa mees paati liikuma panna või paadi liikumist muuta sellega, et ta tõmbab nööri, mis on kinnitatud sama paadi külge; ta võib küll paadi ära lõhkuda, kuid paigalt tõugata paati ta saab ainult siis, kui ta avaldab tungi mõnele väljaspool paati asuvale kehale, olgu see siis maandumissild, või kivi, või isegi vesi. Kolmanda seaduse põhjal on lugejal kerge hinnata tuntud parun Münchhausen'i hooplemist, et ta sohu

sattudes end päästis sellega, et omist juustest kinni haarates iseennast soost välja tõmbas. Tegevus ja vastutegevus on võrdsed ja vastupidi suunatud: propeller ajab vett või õhku tagasi sama suure tungiga, nagu ta laeva või aeroplaani edasi ajab.

Kuid ometi on kolmanda seaduse käsitlemisel mõndi raskusi ja näib, nagu ei oleks see seadus mõnikord maksev. Näit. paistab enneöelduga vastuolus olevat järgmine asjaolu. Kui inimene kõnnib pikuti paati ettepoole, siis saab ta ometi sellega paati liikuma panna tahapoole? Vaadeldes paati ja inimest sel juhul kui kahte eraldi-keha, ei näe siin mingit vastuolu. Vaadeldes paati ja inimest aga koos, ühe tervikuna, kaob see vastuolu, kui endale selgeks teeme, mis tuleb mõista selle terviku liikumise all. Ühe terviku või süsteemi liikumise määrab tema raskuspunkti liikumine. Kui inimene paadis olles ja paati nõorist tõmmates ei suuda paati (koos endaga) liikuma panna või, õigem ütelda, nende ühist raskuspunkti liikuma panna, siis samuti ei suuda ta ka paadis käies enese ja paadi kui terviku ühist raskuspunkti kohalt ära liigutada: ta ise läheb küll edasi, kuid vastavalt läheb paat tagasi, nii et ühine raskuspunkt jääb paigale. Nii siis ei ole siin mingit vastuolu eelmisega. Samuti ütlesime, et sisemine pinge ei mõjusta keha kui terviku liikumist. Aga mis siis, kui näit. liikuv pomm või šrapnell sisemise pinge tagajärjel lõhkeb. Eks siis paisata tükid igasse suunda laiali? Ka siin tuleb vastata: paisatakse küll, kuid kõigi tükkide kui terviku ühine raskuspunkt jätkab oma liikumist just nii, nagu ta oleks liikunud siis, kui šrapnell ei oleks lõhkenud. Sisemised tungid (või pinged) ainult mõjustavad keha

osade liikumist, mitte keha kui terviku liikumist. Püssist või kahurist laskmisel püss või kahur põrkab tagasi sama suure liikumishulgaga, nagu kuul edasi lendab. Raketi tõusmine oleneb samuti sarnasest tagasipõrkest: raketi kesta sees oleva aine kiirel põlemisel tekkivad gaasid voolavad välja läbi väikese avause või toru suure kiirusega allapoole nii, et raketi ülejäänud ja tähtsam osa tõuseb üles võrdse ja vastupidise liikumishulgaga. Lühidalt, keha kui terviku energia võib muutuda ainult vastastikuse tegevuse mõjul mõne teise kehaga ja tegevus ja vastutegevus on alati võrdsed ja vastupidi suunatud.

### Ei ole mingit tegevust kaugusse.

Pealiskaudselt näib, et üks keha võib mõjuda teisele temaga kokku puutumata. Kuid hoolikalt uurides leiame, et alati on olemas mingi vahepealne lüli ja et tegevus kaugusse ei ole võimalik. Me leiame muidugi, et materia kahe tüki vahel näilises kokkupuutes ikkagi on olemas vahepealne lüli: materia aatomid tõeliselt ei puuduta üksteist. Nad on asetatud ühte pidevasse keskkonda, mis mõlemaid puudutab, ja selle kaudu nad avaldavad mõju teineteisele. Siinjuures, kui asja tähelepanelikult uurida, me leiame, et „keha“ ei tarvitse tingimata tähendada materiaalselt keha. Nool on ühendatud pingul vibuga nööri abil ja selle kaudu energia kandub üle ühelt teisele. Samuti, olgugi et palju vähem silmapaistvalt, kukkuv raske kivi nagu lükatakse Maa külgetõmbejõust pingul eetri poolt ja saab oma energia temalt. Tõeliselt tegevuses olevad kehad ei ole mitte ainult

kivi ja maakera, vaid terve süsteem: kivi, maakera ning pingul eeter. „Kehad“, mis kokku puutuvad ja mis tõeliselt vastastikku tegevad, on eeter ja kivi; eeter tungib kivist läbi ja mõjub igale tema osakesele, kuna kivi iga osakene avaldab vastumõju võrdse tungiga, olles seejuures kiirendatud allapoole. Pinge energia, mis oli eetris, hakkab muutuma liikumisenergiaks kivis; ja need kaks vahenditult teotsevat asja, eeter ja kivi, on kokkupuutes. Et saada Newtoni kolmandast seadusest täielikku kujutelma, peame teda täiendama kaugusse mõjumise eitamisega ning ütleva, et kui kaks „keha“ tegelikult ja tõeliselt mõjustavad teineteist, siis peavad nad olema kokkupuutes. Me kordame, et A tung B-le on võrdne ja vastupidi suunatud B tungiga A-le; ja siis ütleva, et, olles pidevalt kokkupuutes, nad peavad liikuma läbi sama tee. Ent tungi ja läbikäidud tee korrutis on töö; tungid on võrdsed, ka läbikäidud teed on võrdsed igas otseses tegevuses kahe keha vahel, nii et järelikult sama tööhulk tuleb sooritada mõlematel kehal —  $A'l$  ja  $B'l$ ; ainult üks teeb seda positiivselt, teine negatiivselt. Selle tulemus on, et mida B energia poolest võidab, seda A peab kaotama. Sellepärast üheski tegevuses ei ole energia võitu ega kaotust, vaid ainult ülekandumine. Üks keha või üks keha osa võidab seda, mida teine keha või keha osa kaotab. Energia kandub ainult üle ühelt teisele, just nii, kuis ostmise või kinimise tegevuses raha või kaubad ainult üle kantakse ühelt teisele. See ongi energia säilivuse seadus, mis näib püsivat ilma erandita. Me näeme, et ta on tiheidalt seotud Newton'i kolmanda seadusega, mis on üks kõige kokkuvõtlikumaid looduseseadusi, mida tun-

neme, ja mis on juhtinud tähelepanuväärt järelduste.

Kõige silmapaistvam neist järeldustest leiti näiliste erandite vaatlemise puhul neil juhtumitel, kui on tegemist elektri, või magnetismi, või valgusega. Kui leitaks erand kolmandast seadusest, s. t. kui vastutöötav tung oleks natukenegi vähem töötavast tungist, siis üks keha oleks isekiirendatud, energiat võidaks tekitada midagi kulutamata ja tehniline igavene liikumine (*perpetuum mobile*) oleks saavutatud. See isenesest näitab, kui tihedalt kolmas seadus on ühendatud energia säilivusega. Me võime kergesti kujutada ja oletada, et kui magnet tõmbab ligi rauatükki, raud võrdse tungiga tõmbab ligi magnetit. Ei saa väljendada tungi ega kasustada pingutust asja peale, mis ei avalda vastutegevust: köievedamine ilma vastasparteita ei ole mõeldav. Kui üks pool on tugevam, saab teine pool kiirenduse, kuid sealjuures ta ikkagi avaldab veel võrdset vastupanu. Vanker mõjub hobusele sama suure tungiga, nagu hobune mõjub vankrile. Nad on kaks keha ja kummalegi mõjub ühesuurune tung. Vastutegevus pole lihtsalt „vastuseis“, vaid tegevuse paratamatus. Kui vanker ei töötaks vastu, siis hobusel poleks midagi „vedada“. Pingutus on võimatu ilma vastutegevuseta; need kaks on ikka võrdsed. On vaja selget arusaamist sest asjast, et vältida võimalikke paradokse. Inimestel aga ei ole alati kolmanda seaduse mõtte päris selge — nagu see oli Newtonil.

### Valguse rõhumine.

Pole mingit erandit tegevuse ja vastutegevuse võrdsusest härilikkude elektri ja magneti külgetõm-

mete puhul. Ent nüüd võtame vaatlusele valguse. On leitud, et kui valgusekiir langeb mõnele kehale, siis ta avaldab rõhumist sellele kehale, küll väga väikest rõhumist hariliku valguse juures, kuid ometigi sellist, mida saab avastada küllaldase katsetamisosavuse juures. Kus on siin vastutegevus? Valguse rõhumine on kaunis sarnane rõhumisega, mida avaldab veejuga takistusele: tuletõrjepritsi veejuga võib maha paisata mehe. (Sel juhul vastutegevus asub lödvise londil ehk düüsil, mida tuleb kõvasti kinni hoida, — muidu võib kõik laiali paiskuda.) Tuliku valguse kiir avaldab rõhumist kehale, millele ta langeb, nagu veejugagi, kuigi hoopis vähemal määral. On nii, nagu oleks valgus mingi aine juga, mis omab liikumishulga, harilikult väga väikese liikumishulga, vaatamata tema määratule kiirusele (umb. 300 000 km sek.).

Huvitav möödaminnes tähendada, et Eddington on näidanud, et valguse rõhumine igal juhul pole väike. Tähtede sisemuses ta on väga suur: valguse rõhumine võib tonnide ja miljonite tonnide viisi peallasuvat materiat üleval hoida. Materia rõhumine ja valguse rõhumine (ehk eetrilained) on tähe sisemuses ligikaudses tasakaalus. Siiski on valgus kauni-kesti tugevam neist kahest ja seepärast teatav osa tast tungib tähe pinnale ja valgub laiali (hajub), kuid suurem osa tast tõrjutakse tagasi; selle pinnale kerkinud osa tõttu me näemegi tähte. Kui valgus oma teel pörkab takistuse vastu, ta avaldab oma rõhumise ülejääki; kuid see on maakerale saabumisel äärmiselt nõrk. Ja ometi on alatine päikesevalguse rõhumine kogu maakerale võrdne 75 000-tonnilise raskusega!

## Kolmas seadus ei tunne erandit.

Me teame, et päikesevalguse rõhumine maakerale ei avaldu silmapilkselt. Valgusel kulub aega rändamiseks päikeselt kuni maakerani. Valgusesähvatus, välja saadetud päikeselt, vajab maakerale jõudmiseks 8 minutit aega. Pärast seda, kui valgus on jõudnud juba Maa pinnale, ei ole enam mingit raskust kolmanda seaduse käsitlemisega: tegevus (siin rõhumine) maakerale ja vastutegevus (vasturõhumine) päikesele on võrdsed. Kuid mis juhtus vahepealsel ajaväljal sähvatuse-kiire teel olles? Me võime vaid oletada, et vasturõhumine päikesele oli olemas kõik aeg — ta ei või ometi olneda sellest, kuhu see kiir tulevikus satub — ja seepärast edasi liikuva kiire lainete esirinne peab välja kannatama võrdse vastupidise rõhumise, olles iga silmapilk valmis seda rõhumist üle kandma kohatavale materia-osakesele. Nii arutades õpime tundma mõnda, mis sünnib lainete esirindel. Pole olemas mingit erandit kolmandast liikumise seadusest, kui eeter sellisena on arvesse võetud. Universum oleks mõistatuslikum, kui ta on, sel korral, kui võiks leida mingi erandi tegevuse ja vastutegevuse võrdsusest.

Ometi peame möönma, et universum sisaldab asju, mis on kaunis mõistatuslikud ja on peamurdmist andnud mõttetarkadele juba mäletamata kaugetest aegadest, asju, mis ei ole veel jõudnud füüsika valdkonda ja mille kohta seepärast oleks liiga varajane teha kindlaid otsuseid. Elu ja mõistus näit. võivad mõjuda materiaale, saavutades tagajärgi, mis muidu looduses ei esine, — alates linnupesast ja lõpetades katedraaliga. Me teame seda alalistest kogemustest,

kuid me ei saa aru, kuidas elu ja mõistus nii mõjuvad. Me ei tea, mil viisil need mittefüüsilised asjad on võimelised kasustama füüsikaseadusi ja tootma materiaalseid tagajärgi. Me ei tarvitse oletada, et nad vastu räägivad energia säilivuse seadusele. Elu ei näi olevat üks energia kujudest, ka ei ole ta vastutav energia tagavara eest universumis: ta ainult kasutab ja juhib juba varem olemas olevat energiat. Kui me tõstame raskusi või püstitame ehitisi, siis me peame seda tegema täies kokkukõlas füüsikaseadustega: kõige kasustatud energia hulka võib arvutada. Iga mehhanism töötab kokkukõlas füüsikaseadustega, olgu ta hingestatud mehhanism või mitte. Kuid ometi on siin midagi muud kui ainult füüsika: ehituskivide erilist asetust, arhitektuuri, dekoratsiooni, kunstiteoseid ei saa mitte arvutada. Mingi ehitise või masina kavand või joonis on midagi väljaspool füüsika valdkonda; ja ometi looduse energiad võib juhtida nii, et selle tegevuse tagajärjel joonis või kavand valatakse nii-ütelda mateeriasse ja kehasatakse. Kuidas toimub see juhtimine? Mis on mõte? Kunstniku ajus tekib idee ja selle tagajärg on kunstiteos. Kindlasti on ka sel korral olemas mingisugune tegevus; aga kus on vastutegvus? Kui me oma tahte jõuga otsustame mõnd asja paigast liigutada, siis me ergutame selleks oma lihaseid. See ergutus viiakse täide ajurakukeste poolt närvide kaudu; ent ka ajurakukesed ja närvid on lõpude lõpuks vaid materia. Kuidas me mõjustame neid? Mil viisil me saavutame selle, et materiaalsed kehad meie käskusid täidavad? Kuidas me saadame välja oma tahte impulsi? See on ju tegevus materia kallal, ja seepärast on väga mõistusepärane oletada,

et peab olema kuski ka mingi vastutegevus. Mina ei ütle, et see probleem on lahendamatu, kuid ütlen, et me pole seda veel suutnud lahendada. Väga võimalik, et elu ja mõistus asuvad eetris. Kuid me teame, et füüsikaseadused leiavad rakendust ka eetri juures; aga kuidas või mil viisil mõistus mõjustab füüsilist maailma ja isegi eetrit, sellest ei ole meil veel aimugi. <sup>1)</sup>

Lõpuks see võib-olla on ainult üks paljudest salapärasustest universumis, millest täielisele arusaamisele me ei või veel nõueldagi (pretendeerida). Me ei tea sellest praeguse ajani midagi põhjanevat. Iga seletus koosneb vaid mõne suhteliselt tundmatu asja taandamisest või lihtsustamisest nii, et see vastaks ja oleks võrreldav millegagi, mis on meile rohkem igapäevane ja harilik. Kuid sel kombel me ei pääse välja saladustest; ka kõige harilikumais asjus jääb püsima põhjanev salapärasus. Mõeldes sügavamini, jõuame äratundmisele, et see, mis me teame, on vaid üks täpe võrreldes sellega, millest me veel aru ei saa. Kõik, mis me võime teha, on kord-korralt suurendada oma teadmisi, veendumusega, et me läheneme tõele.

---

<sup>1)</sup> Paljud nüüdisaja bioloogid ja psühholoogid ometi ei jaga seda Lodge'i (kelle eriala juuiski on ainult füüsika) pessimismi sel määral. Sellest ligemalt loodetavasti mõnes E. Teaduse järgmises numbris. Toim. t.

## Uuemaid uurimusi energiast ja materiasst.

E. K i l k s o n.

Mitmesugused nähtused sunnivad oletama, et aatom, materia väiksem osake, koosneb positiivselt laetud aatomituumast ja selle ümber tiirlevaist negatiivse elektrilaenguga elektronidest. Normaalsel tingimustel on aatomituumast ümber tiirlevate elektronide negatiivne laeng võrdne tuuma positiivse laenguga, mistõttu aatomi väline elektriline mõju on null, s. o. aatom on elektriliselt neutraalne. Aatomituumast koosneb protonidest. Proton on positiivse elektrilaengu algosa, ta mass on võrdne vesinikuaatomi massiga, seevastu elektroni mass on aga ligi 2000 korda väiksem vesinikuaatomi massist. Taani füüsiku N. Bohr'i järgi kiirgab aatom energiat (valgust) siis, kui ta väliselektron langeb tuumale kaugemalt teerajalt lähemale teerajale.

Selle õpetuse üheks puuduseks on see, et jääb selgusetuks, miks elektronid võivad liikuda ainult teatud valitud teedel ümber aatomituumast ja miks valguse väljaheitmine ehk kiirgamine toimub ainult siis, kui elektron ühelt teelt langeb teisele, kuid mitte vahetpidamata niikaua, kui ta aatomituumast ümber tiirleb, nagu seda nõuab teooria. Neid puudusi taha-

vad kõrvaldada füüsikute Einstein'i, Broglie, Schrödinger'i, Dirac'i ja teiste tööd. Nende järgi ei saa mikrokosmose, s. o. aatomites esinevaid nähtusi seletada massitäppide liikumisega, nagu N. Bohr katsus teha. Neid nähtusi võib seletada ainult lainetusnähtusega. Seega ka massidele, elektronidele ja protoonidele on omane lainetuse iseloom nagu valgusekiirgusele.

Et valgusel on lainetamise iseloom, näitab muuseas valguse diffraktsioon. Diffraktsiooniks nimetame nähtust, et kehad, mis asetatud laine liikumise teele, ei anna teravat varju. Kui asetada veelainete liikumise teele mingi takistus (müür), milles avaus, siis levivad veelained avause taga poolringis laiali. Nagu teooria näitab, esineb diffraktsioon ikka siis, kui kehade suurused on ligikaudselt võrdsed lainepikkusega. Valguse diffraktsioon esineb näit. siis, kui valgus langeb kitsale pilule, mille laius palju ei erine valguse lainepikkusest. Niisugusel puhul p a i n d u b valgus pilu läbides. Pilu taha asetatud ekraanil tekib kogu heledaid ja tumedaid jooni. Tumedad jooned tekivad seal, kus valguselained nii liituvad, et ühe laine „hari“ liitub teise laine „põhjaga“, sest niisugusel puhul hävitavad nad teineteist. Kui liitub ühe laine hari teise laine harjaga, siis muidugi liitmisel tekkinud laine on tugevam. Samuti esineb valguse diffraktsioon, kui asetada valguselainete teele peenike traat või nõel. Terava varju asemel näeme siis nõela taha asetatud ekraanil kogu heledaid ja tumedaid jooni (vt. joon. 2).

Valgus on üks meile tuntud kiirguse-energia kujudest. Kuid peale valguse on veel energiarikkamaid kiirguse-energia kujusid. Näit. röntgenikiired. Ka

röntgenikiired annavad diffraktsiooni. Et röntgenikiirte lainepikkus on väike, siis seetõttu ei ole võimalik näidata nende diffraktsiooni kitsa pilu või nõela juures. Küll aga võime näha nende diffraktsiooni, kui asetame kiirte teele kristalli. Kristallis on aatomite paigutus korrapärane, seetõttu annab röntgenikiirte teele asetatud kristall „varju“, mida kujutab juurdelisatud joonis (magneesiumikristalli puhul).

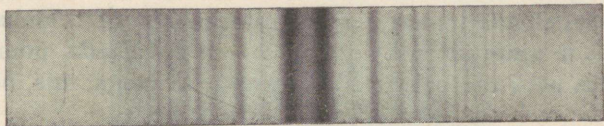
Teisest küljest kiirgused, mille lainepikkus väga väike, esinevad nii, nagu koosneksid nad üksikuist liikuvaist osakesist (korpuskulaarne kiirgus). Seega on valgusel ja teistel elektromagnetilistel lainetel dualistlik (kaksik-) iseloom: kord esinevad nad lainetusena, kord korpuskulaarse kiirgusena.

Niisugune dualistlik iseloom on ka materjal. Ameeriklaste Davison'i, Germes'i ja sakslase Rupp'i katsed näitavad, et elektronide kiirgused (kiirgused, mis koosnevad liikuvaist elektronidest) samuti ka aatomikiirgused (kiirgused, mis koosnevad liikuvaist aatomeist) annavad peegeldudes kristallil või läbides kristalli samasuguse diffraktsiooni nähtuse, nagu oleksid nad lainetused.

Juurdelisatud joonised kujutavad diffraktsiooninähtusi, mida tekitavad fluornaatriumi-kristalli pinnal peegeldudes ja kuldplekist läbides elektronide kiired. Nagu joonistest näha, ei erine need pildid põhi-joontes millegi poolest röntgenikiirte puhul saadud diffraktsiooninähtustest. Samasuguseid diffraktsiooninähtusi annavad, nagu uuemad uurimused näitavad, ka aatomikiired, s. o. kiired, mis moodustatud kiiresti liikuvaist aatomitest.

Et kiirguse-energia teatud tingimustel esineb massina, seega sarnaneb materiaga, sellele otsusele

on jõutud juba mõnekümne aasta eest. Seda väidet tõestavad ka vastavad katsed. Kui peeglile langeb valgus, siis avaldab see peeglile rõhumist, just nagu



Joon. 2. Nõela vari suurendatult.

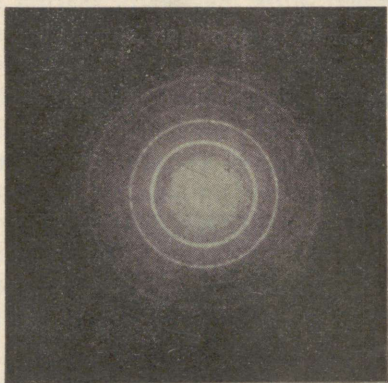
koosneks valgus materia pisiosakesist, aatomeist. Kuigi see rõhk on äärmiselt väike, ometi võib seda mõõta. Nii näib olevat tõenäoline, et kiirguse-



Joon. 3. Röntgenikiirte diffraktsioon.

energia tekib massi kulul ja ümberpööratult. Pealegi näitavad katsed, et ka kiirgusel on atomistlik ehitus nagu massilgi (kiirguseaatom — valguse kvant).

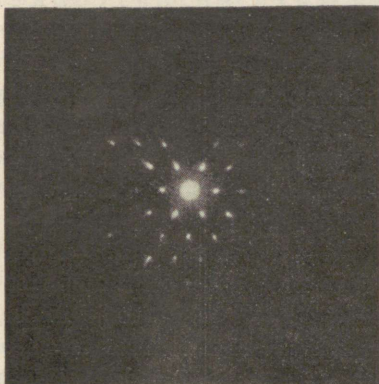
Viimasel ajal tehtud uurimised on näidanud, et kunstlikult esiletoodud aatomite muundumise puhul peab aset leidma mehaanilise energia (töö ja liikumisenergia) tekkimine keha massi kulul. On üldiselt teada, et mõningate kergete elementide, näit. lämmastiku ja alumiiniumi, aatomeid võib purustada, pommitades neid radioaktiivsete ainete  $\alpha$ -kiirtega, mis, nagu



Joon. 4. I. Diffraktsioonipilt elektronide kiirguse puhul.

uurimised näitavad, koosnevad positiivselt laetud heeliumiaatomeist. Selle toimingu puhul  $\alpha$ -kiired, tabades lämmastiku- või alumiiniumiaatomeid, löövad neist välja väga kiiresti liikuvaid vesinikuosakesi, n. n. H-kiiri. H-kiired koosnevad seega protonidest. Kui  $\alpha$ -kiired näit. alumiiniumist löövad välja vesinikuosakeste ehk H-kiiri, siis selgub, et vähemalt osal H-kiirtest on tunduvalt rohkem energiat kui purustavail  $\alpha$ -kiirtel. Nii  $\alpha$ -kiirte kui ka H-kiirte energia hulgast annab meile kujutelma selle õhukihi

paksus, millest nii ühed kui teised jõuavad läbi tungida enne nende kiiruse kadumist (nulliks muutmist). Kui nüüd alumiiniumist väljalöödud protoone lasta tungida läbi kord-korralt ikka paksema ja pak-



Joon 5. II. Diffraktsioonipilt aatomite kiirguse puhul.

sema õhukihi ning sealjuures kindlaks teha, kas ja kuidas nende arv muutub, siis on kerge ära määrata kõige suurem õhukihi paksus, millest protoonkiired veel jõuavad läbi tungida, ja neil andmeil arvutada nende energia.

Kui keskmiselt õhukihi paksuseks, millest H-kiired läbi tungivad, võtta 65 cm, siis arvutades leiame, et juba sel korral nende energia hulk on  $\frac{1}{4}$  osa võrra suurem  $\alpha$ -kiirte omast, mis alumiiniumi purunemise esile kutsusid.

Ent tuleb arvestada, et protoon sai mitte ainult selle liikumisenergia, mis võimaldas tal läbi tungida 65 cm paksusest õhukihist, vaid veel oli tarvis teatud

hulk tööd ja energiat, et teda välja lüüa alumiiniumiaatomist, kus ta kõvasti oli seotud. Seda asjaolu arvestades selgub, et protooni väljalöömiseks alumiiniumiaatomist ja temale veel kiiruse andmiseks on tarvis peaaegu kaks korda rohkem energiat, kui purustavas  $\alpha$ -kiires liikumisenergiat üldse on. Nagu näha, peab olema veel teine energia allikas, ja ainus, mida selleks võib pidada, on  $\alpha$ -kiire mass, kuna  $\alpha$ -kiir koosneb kiiresti liikuvaist heeliumiosakestest. Nii et heeliumiosakeste massist kulub teatud osa selleks ära, et ülalkirjeldatud toimuks energiat hankida.

Nagu nägime, materia on üles ehitatud elektronidest ja protonidest ehk vesinikuosakestest. Lihtsaim moodustis ühest elektronist ja ühest protonist on vesinikuaatom ise. Kõik raskemad aatomid on niiütelda vesinikuaatomite ühendid, kusjuures sõna „ühend“ ei ole samaväärne mõistega „keemiline ühend“. Heeliumiaatom on nelja vesinikuaatomi ühend, hapnikuaatom on 16 vesinikuaatomi ühend jne. Kuid raskemate aatomite mass on alati väiksem, kui ta nendes sisalduvate vesinikuaatomite arvu põhjal peaks olema. Hapnikuaatom ei ole just 16 korda raskem vesinikuaatomist, vaid tema mass on pisut väiksem. See asjaolu on seletatav sellega, et osa massi võib muutuda energiaks. Kui näit. üks süsinikuaatom ja kaks hapnikuaatomit keemiliselt ühinevad süsihappeosakeseks ehk molekuliks, siis selle ühinemise juures tekib palju soojuse-energiat; see asjaolu teebki söe väärtuslikuks kütteaineks. Selle ühinemise puhul energia ilmub soojuse näol ja kui meie mõõtmis- ja kaalumisviisid ja -riistad oleksid märksa peenemad ja täpsamad tänapäevastest, siis

võiksime katseliselt tõestada, et süsihappemolekuli mass on pisut väiksem kui teda moodustavate süsiniku- ja hapnikuaatomite massid kokku enne ühinemist, s. o. söe ärapõlemist. Kuid sääraste keemiliste protsesside juures vabaneva energia hulk on liiga väike selleks, et t u n d u v a i d massi muutusi esile tuua.

Sellevastu me teame, et energia hulgad, mis esinevad ainete radioaktiivses purunemisprotsessis ja ka kunstlikus aatomite muundumises, on miljoneid kordi suuremad keemilise energia hulgast, s. t. aatomite purunemisel või ka tekkimisel vabaneb niivõrt suur hulk energiat mõnesuguste kiirgamiste näol, et sellest põhjustatud massi vähenemist kaalude abil saab kindlaks teha.

Kunagi kauges minevikus toimunud raskemate aatomite ülesehitamisel vesinikuaatomitest on osa vesinikuaatomi massist energiana välja kiiranud ja seepärast ei ole siis näit. hapnikuaatomi mass 16 korda ega heeliumiaatomi mass 4 korda suurem vaba vesiniku aatomi massist, olgugi et hapniku- ja heeliumiaatomid koosnevad vastavalt 16 või 4 vesinikuaatomist.

Kuid pöördume tagasi alumiiniumi purunemise juurde  $\alpha$ -kiirte, s. o. kiiresti liikuvate heeliumiosakeste toimel. Heeliumiosake langeb alumiiniumiaatomi tuuma sisse ja jääb sinna vähenenud massiga peatuma.

Sellest massi vähenemisest tekkinud energia koos alguses olnud heeliumiosakese liikumisenergiaga tarvitatakse ära selleks, et vabastada üks vesinikuosake alumiiniumiaatomist ja anda temale suur kiirus. See toiming ei ole lähemal vaatlemisel mitte purustamine, vaid ülesehitamine, sest heeliumiosake, mis alumiiniumiaatomisse peatuma jäi, sisaldas ju 4 protooni, kuna ainult üks vesinikuosake lendas alumiiniumi-

aatomist välja. Seega on siis alumiiniumi-  
aatom kolm vesinikuosakest „võitnud“  
ja ühtlasi on taast saanud üks uus raskem aatom:  
alumiiniumiaatom on muutunud siliit-  
siumiaatomiks.

Alumiiniumi kunstlikul muundumisel  $\alpha$ -kiirte  
osakeste kinnijäämist alumiiniumiaatomisse saab vaid  
järeldades kasustada oleva energiahulga arvutamise  
põhjal.

Kuid lämmastiku muundumisel  $\alpha$ -kiirte toimel on  
see nähtus vahenditult tõestatud katselisel teel. Kui  
lasta  $\alpha$ -kiiri lämmastikust läbi tungida, siis seal, kus  
 $\alpha$ -kiir lööb lämmastikuaatomist välja kiirestiliikuva  
vesinikuosakese, katkeb  $\alpha$ -kiire liikumise tee ja samast  
kohast edasi on juba selgesti näha väljalöödud  
vesinikuosakese liikumise tee. Ei ole kahtlust, et  
 $\alpha$ -osake jäi peatuma lämmastikuaatomisse tema koos-  
seisu uue osana ja sellele vastavalt on lämmas-  
tikuaatom muutunud hapnikuaato-  
miks.

Niisugused kunstlikult tehtud aatomite muundu-  
mised on protsessid, kus energia tekib massi kulul.  
Igatahes on neis esiletulev massi vähenemine väga  
väike, sest iga kaalutav mass kujutab enesest määratu  
suurt energia hulka, nii et tähtsusetu massi vähene-  
mine annab juba suure hulga energiat. Kui näit.  
saaks massi, mis kaalub vaid üks miljondik grammi,  
muuta energiaks, siis saadud energia oleks võrdne  
20 miljoni kaloriga (kalor — soojusehulk, mida tarvi-  
tab 1 gramm vett soojendamisel  $1^{\circ}$  C. võrra).

On juba tähendatud, et raskemate aatomite moo-  
dustumisel vesinikuaatomitest (mis kunagi kauges  
minevikus meie päikesesüsteemis ja ka teistes tähtedes

aset on leidnud) sellega seotud massi vähenemise tõttu on vabanenud ilmatu hulk energiat. Ja kui see toiming veel tänapäev leiab aset tähtede sisemuses, siis on ta küllalt võimeline asendama seda soojuse-energia hulka, mida tähed pidevalt maailmaruumi laiali kiirgavad. Säärast laadi protsesside toimumist tähtedes peab oletama, — muidu nad juba ammu peaksid kaotanud olema oma kiirgamisvõime. Me tänapäev kindlasti teame, et Maa on mitte vähem kui 3000 miljonit aastat vana, ja et Päike on vähemalt niisama vana kui Maa. Kuid kõik tuntud energiaprotsessid, kaasa arvatud ka uraaniumi ja tooriumi radioaktiivne purunemine, ei ole küllaldased selleks, et hinnata Päikese vanust üle 20 miljoni aasta. Seega peab siis Päikeses ja tähtedes olema rikkalikum energiaallikas kui need, mida meie maakeral tunneme, ja seesugune allikas peitub massi muutumises kiirgamiseks. Kas seal aset leiab otsene materia „ärakiirgamine“ või jälle raskemate aatomite moodustumine kergematest, kusjuures ka osa energiat vabaneb, selle kohta ei ole meil veel täielist selgust. Igatahes n. n. läbitungiv kõrguskiirgus ehk kosmiline kiirgus, mis on palju energiaküllasem ja seepärast palju läbitungivam kui kõige läbitungivamad raadiumikiired, n. n.  $\gamma$ -kiired, see kõrguskiirgus tõestab, et maailmaruumis toimuvad algprotsessid, milles vabaneva energia hulk on samaväärne energia hulgaga, mis vabaneb vesiniku-aatomi hävimisel või ärakiirgamisel.

---

**Kirjandust.** *A. Wood*: Joule and the study of energy  
*W. S. Franklin and B. Mac Nutt*: Heat. *M. Planck*: Das Prinzip der Erhaltung der Energie. *E. Mach*: Die Prinzipien der Wärmelehre. *A. S. Eddington*: Stars and Atoms. *J. Lang*: Energia jäädavuse ja hajumise seadus. Ajakiri „XXXXXXXXXX“ Tartus.

**HIND 1 KROON**