

16558
**POPULAARTEADUSLIK
SARI**

A. F. JOFFE

ELEKTRILAENG



RK«TEADUSLIK KIRJANDUS»



AKAD. A. F. JOFFE

ELEKTRILAENG



RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU, 1947

Tõlgitud teose järgi:

Академик А. Ф. Иоффе. Электрический заряд. Государственное Издательство Детской Литературы Наркомпроса РСФСР, Москва/Ленинград 1945.

Tõlkinud P. Kard.

Akadeemik Abram Feodorovič Joffe on Teaduste Akadeemia Füüsikalis-tehnilise Instituudi direktor Leningradis, Stalini preemia laureaat, ülemaailmselt tuntud nimega teadlane-füüsik. Tunnistust on leidnud tema tööd tahkete kehade mehhaaniliste ja elektriliste omaduste valdkonnast, samuti ka tema klassikalised tööd elektronideteooria alalt. Ta on füüsikalis-tehniliste instituutide organiseerija Leningradis, Sverdloovskis, Harkovis ja Dnepropetrovskis. Akadeemik Joffe on autasustatud kahe Lenini ordeniga ja Leningradi kaitse medaliga.



12968
A-16558

I. Elektriliste nähtuste levik looduses ja elektrimeele puudumine.

Elektrinähtused on vahetule tajule kättesaamatud. Meil on olemas nägemismeel ja seepärast võime kõiki optilisi nähtusi vahetult vaadelda. Akustilisi nähtusi me kuuleme. Elektriliste ja magnetiliste nähtuste jaoks aga puudub meil selline meel; me otsustame nende üle kaudsel teel, teiste meeleeelundite abil. Ühed elektri avaldusvormidest tekitavad valgusnähtusi, teised häält, soojust või mehhaanilist toimet. Tarvitseb vaid meenutada välku, mis mõjub nii silmale kui ka kõrvale: me kuuleme müristamist ja näeme välku. Nii üks kui ka teine on atmosfääri läbiva võimsa elektrivoolu avaldus. Me tajume siiski mitte voolu, vaid selle tagajärgi, antud juhul valgus- ja hääleefekte. Kui välg möödub meist lähedalt, tunneme mõnikord ka valusat põrutust.

Elektrilised nähtused ümbritsevad meid kõikjal. Meie ümber on alati olemas nii elektrilised kui ka magnetilised tungid, mida me ometi ei taju. Lagedal väljal on inimese pea ja jalgade vahel olemas potentsiaalide vahe üle 100 volti. See pole väiksem sellest potentsiaalide vahest, mida kasutatakse valgustuseks ja teisteks elutarveteks. Kõikjal ümber Maakera on olemas samuti ka magnetväli, pealegi küllaltki tugev; tema üle võib otsustada hästituntud fakti järgi, et kompassinõel pöörduv põhja—

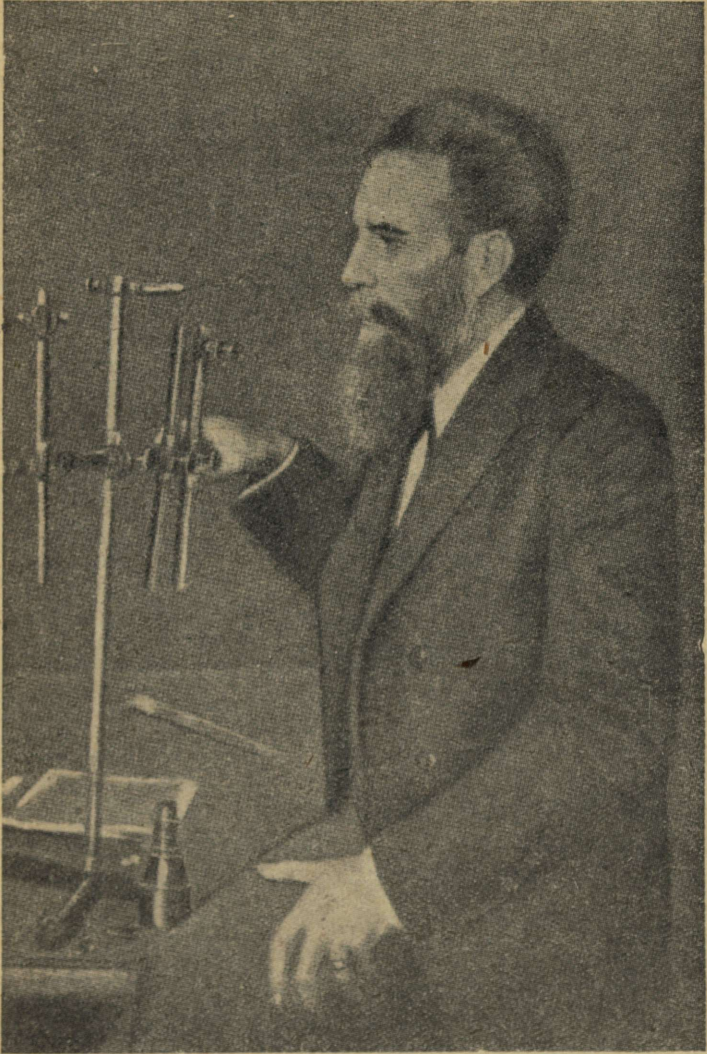
lõuna sihis. Niisiis, me elame keset elektrilisi ja magnetilisi nähtusi.

Looduses esinevad ka palju ilmsemad elektrilised ja magnetilised protsessid. Ma juba mainisin müristamist



Välg.

ja välku kui võimsaid elektrinähtusi, mida te hästi tunnete. Põhjamail ja muuseas ka Leningradis võib näha virmalisi — taeva helendust, mis omandab sageli lainetavate kangaste kuju. See on samuti elektriline nähtus. Päikese poolt väljasaadetud elektrilaengud tekitavad

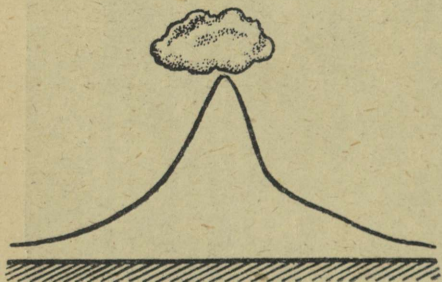


W. K. Röntgen.

Maakera atmosfääri sattudes selle ülemiste kihtide helendust.

Kammides kuivas toas juukseid, võite märgata väikesi sädemeid, mis lähtuvad elektriseeritud kammist. Mul on tulnud viibida P.-Ameerika Ühendriikides, kus tooõhk talvel on tavaliselt kuivem kui meil. Kord, kui võtsin kasukat seljast, osutus see hõõrdumise tõttu vastu villast ülikonda niivõrd elektriseerituks, et temast hüppas mõne sentimeetri pikkune säde.

Pilved ning eriti äikesepilved on tugevasti laetud; see pärast, kui selline äikesepilv meist möödub, muutuvad



Äikesepilv tekitab 1000 ja isegi 10 000 voldi suuruse potentsiaalide vahe.

elektrilised tungid järsult: 100 voldi asemel ühe meetri ulatuses tekib 1000 ja isegi 10 000 voldi suurune potentsiaalide vahe. Kuigi me tavaliselt ei märka õhus leiduvaid pingeid suurusjärguga 100 volti meetri kohta, siis seevastu on kerge märgata elektrilisi pingeid suurusega

mõnikümmend tuhat volti meetri kohta, mis ilmuvad äikesepilve lähedal. Mul on tulnud töötada koos tuntud füüsiku Röntgeniga, kes on nüüd juba surnud ja kes avastas kiired, mis nimetati hiljem tema nimega. Kord Šveitsis sattusime mäetipul äikesepilvesse. Röntgen kandis pikki juukseid ja habet. Äikesepilves tõusid Röntgeni habe ja juuksed püsti ja ta sarnanes Kahupea-Kaarliga. See oli äikesepilve elektritungide mõju tagajärg.

Elektril on meie elus ja tehnikas suur tähtsus. Elektri

abil me kasutame tohutuid energiahulki. Dneproges üksi andis ligi 1 miljon kilovatti. Kõik Nõukogude Liidu elektri- jaamad toodavad tohtul hulgal elektrienergiat, mis läheb mitte ainult valgustuseks. See elektrienergia kindlustab transpordi tööd, masinate tööd tehastes ja vabrikutes. Teiselt poolt põhjenevad sellised side liigid, nagu telegraaf, telefon ja eriti raadio, elektromagnetiliste nähtuste rakendamisel. Võtkem helikino. Võib paista, nagu ei oleks siin üldse elektrit, vaid ainult optika ja akustika: te näete pilti ja kuulete heli. Ent selle heli saamiseks tuleb kasutada elektriaparaate, mis muudavad heli esmalt elektriks ja valguseks, mis annab üleskirjutuse fotolindil. Valgus, mis läbib linti, tekitab elektrivoolu, mis uuesti annab heli valjuhääldajas. Elekter on kõige paindlikum ja peenem vahend mitmesuguste protsesside juhtimiseks. Peaaegu iga mingi protsessi automaatne juhtimine toimub elektri abil. Niisiis etendab elekter tohutut osa kogu meie elus. Võib-olla suureneb elektri osatähtsus ka selletõttu, et me saame kõik oma aistingud samuti elektri abil. Kui me näeme või kuuleme, siis teostub optiliste või akustiliste aistingute edasikandumine silmast ja kõrvast peaju keskustesse, nagu iga teinegi edasiandmine närvide kaudu, samuti elektri abil.

Näete nüüd, milliseid mitmekesiseid funktsioone täidab elekter meie elus. Kuid ma ei saa teile elektrit vahetult näidata ega isegi vastata küsimusele, mis on elekter. Aga ma püüan jutustada tema omadustest.

II. Elektrilaeng ja tema omadused.

Me ei taju elektrit vahetult. Ometi iseloomustab elektrilisi nähtusi ja elektri kindlaksmääramise viise erakordne täpsus. Elektri abil me võime vaadelda ja tähele panna selliseid äärmiselt väikesi nähtusi, mis on kättesaamatud nii meie silmale kui ka kõrvale ja kompimisele.

Spetsiaalsete elektriseadmete abil võib kuulda üksikute elektrilaengute — elektronide — möödumist; iga elektroni mass on tuhandeid kordi väiksem aatomi massist.

Maailmaruum on täidetud kiiresti edasiliikuvate elektrilaengute voogudega — need on nn. kosmilised kiired. Sattudes Maa atmosfääri, moodustavad nad oma teel uusi laenguid, nii positiivseid kui ka negatiivseid, samuti ka kiiri, mis ei kannu elektrilaenguid.

Kus me ka viibiksime — isegi kuskil mitmekordse hoone toas —, kosmilised kiired tungivad kõikjale. Neid võib avastada eriliste aparaatide abil.

Üleküllastades anumad õhu veeauruga, võib märgata, kuidas kosmilise osakese teel sadestuvad väikesed veetilgakesed ja teevad iga üksiku osakese tee nähtavaks. Nii-sugust riista nimetatakse «Wilsoni kambriks». Nõukogude füüsik D. V. Skobeltsõn vaatlus esimesena kosmilisi kiiri magnetväljasse paigutatud Wilsoni kambri.

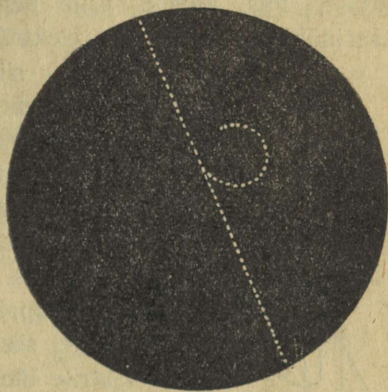
Teine viis kosmiliste kiirte avastamiseks toimub Geigeri lugeja abil. See riist kujutab endast hõrendatud gaasiga täidetud toru. Piki toru telge on tõmmatud metallsilindriga ümbritsetud traat. Traadi ja silindri vahel tekitatakse potentsiaalide vahe, mis on õige natuke madalam sellest, mis kut- suks esile elektrilise läbilöögi hõrendatud gaasist.

Kui lugejat läbib kosmiliste kiirte osake, purustab see gaasi molekulid ja tekitab läbilöögi. Iga niisuguse läbilöögi me registreerime valgus- või helisignaaliga või märgime hammasrat- takeste edasinihkumise abil mehhaanilisel lugejal.

Lugeja löögid toimuvad korrapäratult: kord kolme, kord kümne, kord viie sekundi järel. Ühest löögist teiseni möödub mõni sekund.

Nüüd aga lähendame torule radioaktiivse aine, mis emiteerib suurel hulgal kiiresti liikuvaid laetud osakesi. Lugeja hakkab raadiumi lähendamisele vastavalt üha sagedamini töötama, kuni löögid liituvad pidevaks müraks, milles meie kõrv ei suuda eraldada üksikuid lööke.

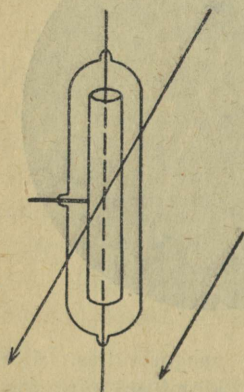
Edaspidi tutvume elektronidega ja teiste laengutega, mis esinevad kosmilistes kiirtes, kuid juba praegu võime märkida, et elektron on oma massilt peaaegu kaks tuhat



Wilsoni kamber magnetväljas. Ülesvõttel on näha kosmilise kiire väga ruttu liikuva osakese sirge jälg, samuti ka õhumolekulist väljalöödud aeglaselt liikuva osakese jälg (paremal).

korda kergem kõige kergemast aatomist — vesiniku aatomist. Sellegipärast märgib lugeja elektriline süsteem iga elektroni läbilendu ja võimaldab üksikute kosmiliste osakeste jälgimist suurele auditooriumile.

Esimesed elektrinähtuste vaatlused kuuluvad kaugesse minevikku, mis on meist lahutatud kahe tuhande aastaga. Põhjust, mis kutsub esile neid, nagu ka üldse kõiki elektrinähtusi, nimetame elektrilaenguks.



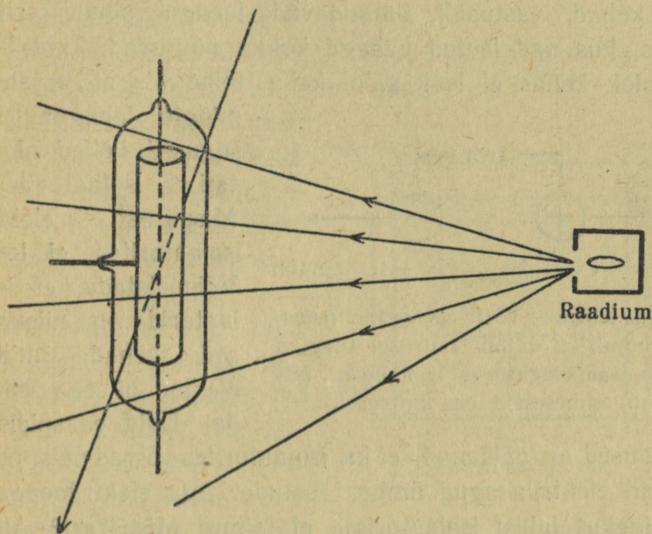
Geigeri lugeja.

Mida siis oleme jõudnud teada saada elektrilaengu kohta selle aja jooksul? Mõned ained, nende hulgas merivaik, omandavad hõõrumisel erilise seisundi, mis avaldub kergete esemete külgetõmbamises või eemal tõukamises. Et sellest nähtusest teati ainult niipalju, et ta on omane merivaigule, siis kanti merivaigu nimetus elektrile üle. «Elektron» on merivaigu kreekakeelne nimetus.

Võiks mõelda, et elektriseerimine on selle töö tagajärg, mis kulutatakse hõõrumisel, ent see pole nii: hõõrumine on vajalik ainult selletõttu, et merivaik on kare. Hõõrumisel puutuvad merivaigu eri kohad kokku selle kehaga, mida me hõõrume, ja seetõttu võtab elektriseerimisnähtusest osa palju suurem kehapind. Hõõrumine on ainult kokkupuutepinna suurendamise ja elektriseerimise tugevdamise vahend. Ka ilma hõõrumiseta elektriseeruvad tavaliselt kaks keha teineteisega kokku puutudes. Üks keha omandab positiivse laengu, teine — negatiivse, ja seda tugevama, mida suurem on kokkupuutepind.

Õiget põhjust, mispärast üks keha saab positiivse laengu ja teine negatiivse, me seni ei teadnud. Mõisted «negatiivne» ja «positiivne» ise on tekkinud selle tähele-

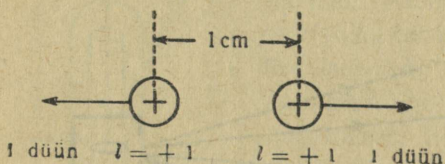
paneku tulemusena, et need mõlemad elektriliigid kutsuvad esile vastupidise mõju. Kui lähendada laetud kehale teine, mis on laetud sama märgiga, siis ta tõukub eemale, vastasmärgiga laetud keha aga tõmbub ligi. Et tungid on vastupidised, siis oli kohane nimetada ühte elektriliiki positiivseks ja teist negatiivseks. Kumba liiki nimetada positiivseks ja kumba negatiivseks, selleks polnud



Radium tugevdab Geigeri lugeja tööd.

õieti mingeid aluseid. Kui hõõruda nahka klaaspulgaga, siis pulk elektriseerub teatud-märgilise elektriga, kui aga hõõruda vaiku kaleviga, siis vaik elektriseerub vastasmärgilise elektriga. See elekter, millega elektriseerub klaas, nimetati positiivseks, vaigu elekter aga negatiivseks. Nagu selgus palju hiljem, oli see valik ebaõnnestunud: parem oleks olnud nimetada positiivseks just see, mis nimetati negatiivseks. Laengute vastasmõjud võis kirjutada kahe erineva elektrilaengu arvele, kuid võis ka, nagu pani

ette Franklin, käsitada ühte liiki elektrit kui elektri liighulka ja teist — kui elektri puudujääki kehas. Kui elektrit on üle normi, siis on see positiivne laeng; kui temast on puudu, siis negatiivne. Edasi selgus, et eri kehad käituvad elektri suhtes erinevalt. Ühed, nende seas metallid, osutuvad juhtideks. Tarvitseb vaid metallkeha ühe otsaga puudutada laetud keha, ja elekter levib üle kogu metalli. Teised kehad, vastupidi, omandavad laengu ainult selles kohas, kus nad laetud kehaga kokku puutuvad, kuid laetud olek kehas ei levi, s. o. keha teine ots ei omanda



Laengu ühikuks võeti niisugune laeng, mis mõjub 1 düüni suuruse tungiga teisesse samasugusesse laengusse, mis on esimesest 1 cm kaugusel.

uurimused on näidanud, et ka isolaatorites võivad neis juba asuvad elektrilaengud ümber asetuda. Aga elektrilaengute üleminekut juhust isolaatorisse ei toimu. Mispärast? Alles viimased kümme aastat tõid sellele nähtusele seletuse seoses kvantidefüüsika seaduste avastamisega.

Meie teadmistes elektri kohta oli see esimene etapp. Ta õpetas meid uurima laenguid. Tung, millega üks laeng mõjub teisesse, võimaldabki otsustada selle laengu, suuruse üle. Mida suurem on laeng antud kehas, seda tugevamini tõukab ta eemale või tõmbab ligi teist elektriseeritud keha. Kui see oli kindlaks tehtud, sai võimalikuks otsustada, mida nimetada laengu ühikuks. Laengu ühikuks võeti niisugune laeng, mis mõjub ühe düüni suuruse

mingit laengut. Niisugused kehad nimetati isolaatoriteks. Mispärast elekter isolaatorites ei levi? Võis oletada, et isolaatorid on niisugused kehad, milles elekter ei saa liikuda. Kuid edaspidised

tungiga teisesse samasugusesse laengusse, mis asub esimesest 1 cm kaugusel.

Kui ühiklaengusse, mis asub 1 cm kaugusel, mõjub tõukumine või tõmbumine n düüni suuruses, siis peame ka keha laengut võrdseks n ühiklaenguga.

Muidugi ei ütle see meile midagi laengu füüsikalisest olemusest, vaid lubab teda ainult kvantitatiivselt hinnata, võrreldes teise laenguga.

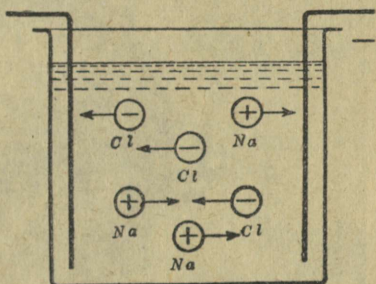
Mis on siis elektrilaeng, millist osa etendab ta aines ja kuidas on ta seotud aine endaga?

Näis, nagu oleks raske anda sellele küsimusele täpset ning selget vastust. Ent vastus leiti elektrolüüsinähtuse uurimisel, mis oli avastatud juba XVIII sajandil ja mille põhiseaduse püstitas XIX sajandi kolmekümnendail aastail Faraday. See seadus kõlab: elektriläbivoolamisega mõnedest vedelikest, peamiselt soolade vesilahuseist, kaasneb aine ülekandumine; seejuures osa aineist, vesinik ja metallid, liigub koos positiivsete laengutega, teine osa aineist aga — koos negatiivsete laengutega.

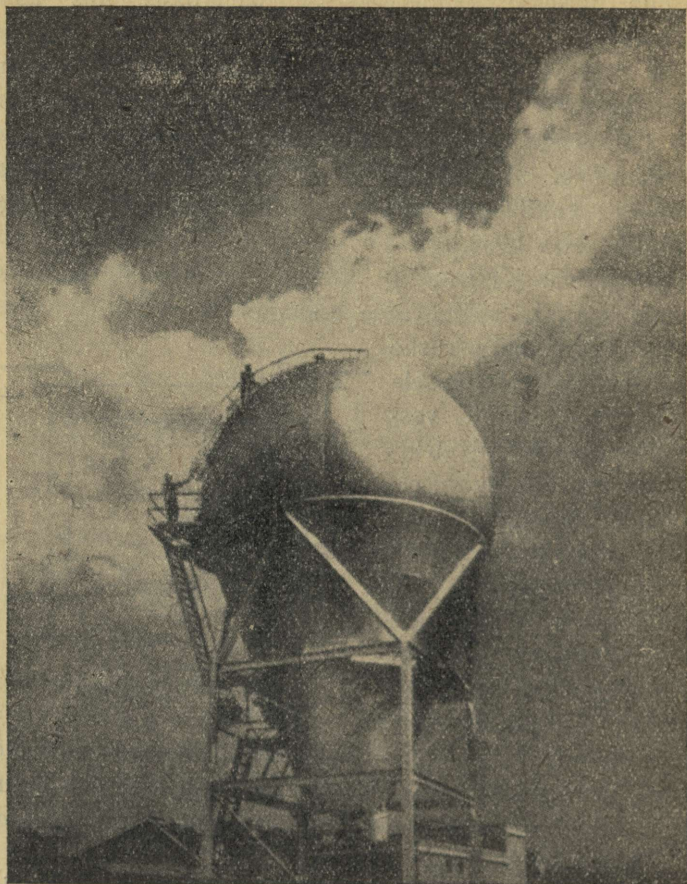
Faraday seadus juhib meid väga lihtsale järeldusele, ja nimelt: aine iga aatom või aatomite rühm kannab alati ühte ja sama, täiesti kindlat laengut.

Aatomit või aatomite rühma positiivse laenguga nimetatakse positiivseks iooniks, aatomit või aatomite rühma negatiivse laenguga — negatiivseks iooniks.

Niisiis on ion täiesti kindel elektrilaeng, mis on vahe-
tult seotud aine aatomitega.



Elektrolüüsinähtus.



Kõrgevoldilise generaatori hoone.

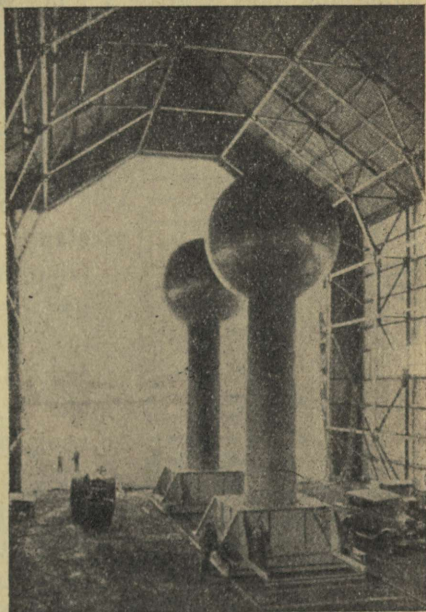
Aga kui see on nii, siis oli loomulik jõuda järeldusele, et elekter on lahutamatult seotud ainega. See järeltus tehtigi. Me näeme hiljem, et ta ei osutu kaugeltki mitte alati õigeks.

Uued teadmised avavad uusi tehnilisi võimalusi, luba-

vad lahendada neid või teisi tehnika ülesandeid. Niipea kui oldi küllaldaselt tutvunud elektrolüüsi toimega, osutus võimalikuks luua uued vooluallikad — galvaani elemendid ning hiljem ka akumulaatorid ehk lühendatult akud, mida me laialdaselt kasutame.

Igas autos leidub akude patarei. Allveelaev liigub vee all akude abil. Kuiv-elemente kasutatakse laialdaselt raadiotehnikas. Elektrivoolu kasutamine liitainete lahutamiseks on samuti leidnud tähtsaid tehnilisi rakendusi. Näiteks saame alumiiniumi ja paljusid teisi värvilisi metalle sellise elektrolüüsi teel. Dneprogesi energiat tarvitab hiiglasuur alumiiniumitehas. Siin lastakse sajad tuhanded amprid läbi tohutute ahjude, mis on täidetud sula boksiidiga, mille tagajärjel eraldub sula alumiinium, voolates kanaleid mööda välja.

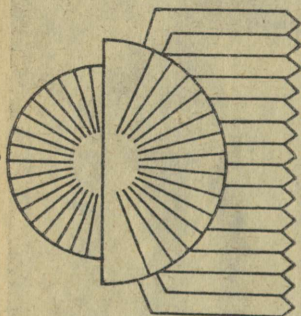
Enne elektrolüüsi avastamist oli elektri saamisel põhiliseks riistaks hõõrumisel põhjenev Holtzi elektrostaatiline masin, mis leidub paljudes füüsikakabinetides. Selline masin annab mõnikümmend tuhat volti, kuid voolutugevus ei ületa sajatuhandikku amprit. Selle masina võimsus



Van de Graaff'i generaator.

on mõni vatt — palju vähem ühe väheldase aku võimsusest. Tänapäeva elektrostaatiline generaator tekitab mõne miljoni voldi suuruse pinge ja annab voolu ampri tuhandikkude suurusjärguga, luues mõnekilovatilise võimsuse.

Selline generaator võtab enda alla viiekordse hoone. Me katsusime teda täiustada ning veendusime, et ratsionaalselt ehitatud generaator kiiresti pöörlevate ketastega ei nõua viiekordset hoonet: 2—3 meetri kõrgune masin võib tekitada tugevamaid voolusid ja anda suuremaid võimsusi.



Meie paljukettalise generaatori mudel ja skeem.

Meie teadmiste järgmine etapp oli rea uute avastuste tulemuseks, mis tehti möödunud sajandi kahekümnendail ja kolmekümnendail aastail. 1820. aastal näitas füüsik Oersted Kopenhaagenis, et elektrivool, mis läbib traati, kallutab kõrvale magnetnõela. Varem näis, et pole midagi ühist elektrilaengu ja magneti vahel; siin

aga osutus, et vool, s. o. liikuv elekter, mõjub magnetnõelasse ja kallutab teda kõrvale. Seejärel, 1822. aastal, avastas teadlane Ampère Pariisis, et magnet kallutab kõrvale elektrivoolu. Edasi näitas ta, et üks voolujuhe kallutab kõrvale teise voolujuhtme. Niisugust voolude vastastikust mõju võis seletada järgmiselt: iga elektrivool tekitab enese ümber magnetvälja, voolude vastastikune mõju on aga ühe voolu magnetvälja mõju tulemus teise voolu magnetväljasse.

Varsti avastas Faraday väga tähtsa nähtuse — elektromagnetilise induktsiooni: magnet iseenesest ei kutsu

enese ümber elektrilisi nähtusi esile, kuid magnetvälja iga muutus tekitab ümbritsevais juhtmeis elektrivoolusid. Elektromagnetilise induksiooni avastamine viis mõne-



H. Hertz.

Exhib. univ. Tart.

kümne aasta pärast tänapäeva elektrotehnika juurde. Tekkisid uued vooluallikad — generaatorid ja elektrimootorid, mis panevad liikuma masinaid. Generaatorid

asendasid galvaani elemente. Nende uute nähtuste avastamine viis teistele kujutlustele elektri kohta. Varem tundsimme ainult elektrilaenguid, mis vastastikku tõmbuvad või tõukuvad. Nüüd osutus, et liikuva laengu ümber on olemas magnetväli, mis kallutab kõrvale temasse asetatud voolujuhtme. Magnetvälja muutused võivad omakorda olla elektrivoolude allikaks.

Seetõttu köitis sealtpeale uurijate tähelepanu mitte laeng ise, vaid see, mis toimub tema ümber. Liikuvaid laenguid ja muutuvaid voolusid ümbritsevas ruumis leiavad aset elektrilised ja magnetilised nähtused. Neid nimetatakse elektromagnetilisteks nähtusteks.

Sellel etapil oli füüsikute kogu tähelepanu suunatud elektri- ja magnetvälja ja nende mitmesuguste vastastikuuste mõjude uurimisele. Ühtlasi muutus ka kogu elektromagnetiliste nähtuste pilt. Senikaua kui meid huvitas laeng, näis, nagu mõjuks üks laeng teisesse vahetult üle vahemaa. Nüüd huvitab meid kõige enam see, mis toimub ruumis laengute vahel, s. o. elektriväljas nende ümber. Faraday ja tema järel Maxwell tõid elektriõpetusse uued mõisted — lähimõju-teooria. Ühe laengu mõju teise laengusse või ühe magneti mõju teise magnetisse toimub nende väljapaistvate teadlaste arvates vahelmise keskkonna vahendusel, milles mõju kandub ühest kohast teise valguse kiirusega. Selle vaate õigsuse tõestas Hertz 1888. a., mil tal õnnestus avastada Maxwelli poolt ennustatud elektromagnetilised lained, mis oma allikaist eraldudes ruumis vabalt levivad. Siin tekitab magnetvälja muutus elektrivälja, selle muutus aga jälle magnetvälja. See elektri- ja magnetvälja vastastikuse muundumise protsess levib igas suunas ja tekitab nn. elektromagnetilisi laineid.

Huvitav on, et Hertz ei näinud ette tema poolt avas-

tatud elektromagnetiliste lainete tähtsust kaugeid vahemaid ühendava sidevahendina ega katsunud neid selleks otstarbeks rakendada. Ta suunas oma laineid peeglite abil, nii nagu helgiheitja suunab valguslaineid, ent ta ei mõelnud, et raadiolaineid võib märgata suurematel kaugustel kui helgiheitja valgust.

Vene füüsik Aleksandr Stepanovič Popov Leningradis (tollal Peterburis) rakendas varsti pärast Hertzi, 1895. aastal, elektromagnetilisi laineid signaalide saatmiseks. Kui ühe meie laevaga juhtus Läänemeres avari, teostas Popov signaalide saatmise raadiolainete abil rannalt sellele laevale. 1945. aastal täitis viiskümmend aastat Füüsikalise-keemilise Seltsi Füüsika-osakonna mälestusväärsest istungist, kus Popov demonstreeris oma raadiolainete vastuvõtjat. Pärast saatis ta signaale 250 meetri kaugusele ja lõpuks teostas signaalide saatmist kümnetele kilomeetritele.



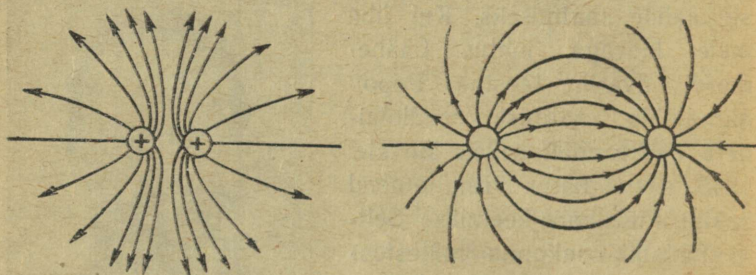
A. S. Popov.

1895. aasta on tähtis kui daatum, mil leiutati raadio ja esmakordselt rakendati elektromagnetilisi laineid signaalide ning hiljem ka kõne ja muusika edasiandmiseks suurtele kaugustele.

Raadio leiutajaks tuleb õigusega pidada füüsikaprofessorit Popovi. Paljude aastate kestel omistati välismaal raadio leiutamise prioriteet ekslikult itaallasele Marconile, ometi pole kahtlust, et vene teadlane Popov teostas raadiolainete saatmist suurele kaugusele esmakordselt üks aasta enne Marconit.

Milline tähtsus on raadiol tänapäeva elus, sellest ei maksa kõneldagi.

Pärast raadio avastamist füüsikud peaaegu unustasid elektrilaengud ja nende huvi koondus ainult elektromagnetiliste väljade, s. o. ruumis ilmnevate elektriliste ja magnetiliste tungide uurimisele. Teadlased kujutlesid, nagu oleks kogu ruum laetud kehade ja magnetite ümber täis tungjooni, laengud ise aga näisid tollal mingi teise-



Elektrilaengud ja nende ümber elektriväljad.

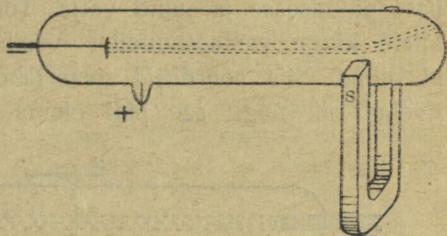
järgulise asjana, ainult kohana, millest lähtuvad need tungjooned. Õigemini öeldes, arvati, et kogu ruum on täis tungjooni, kuid on selliseid kohti, kust lähtub tungjooni enam, kui sinna suubub, — neid kohti nimetati elektrilaenguteks; aga mis seal toimub, selle vastu ei tuntud huvi.

Uued avastused XIX sajandi lõpus ja XX sajandi alguses tõid füüsikud uuesti tagasi küsimuse juurde, laenguist kui kõigi elektriliste ja magnetiliste nähtuste allikaist. Eriti tähtis oli uurida tugevasti hõrendatud gaase läbivat elektrivoolu, millega kaasneb helendus.

Gaasi küllaldase hõrenduse korral võib seejuures vaadelda katoodekiiri. Kui negatiivsele elektroodile — katoode-

dile — lähendada magnet, siis paindub sinakavärviline katoodkiirte kimp nii, nagu oleks seda teinud elektrivool.

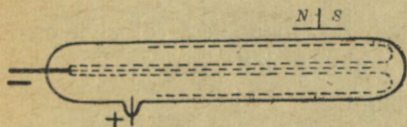
Inglise füüsik Crookes jõudis järeldusele, mis näis tolal täiesti uskumatuna, nimelt, et katoodkiired on laetud osakeste vool, milledest igaüks on aatomist palju väiksem. Crookes nimetas neid aine neljandaks olekuks. Peale tahke, vedela ja gaasilise oleku oletas Crookes ainel ka neljanda, veel enam hõrendatud oleku — katoodosakesed.



Magnet kallutab kõrvale katoodkiirte kimbu.

Hertz, elektromagnetiliste lainete avastaja, ja need, kes huvitusid elektromagnetilistest lainetest ja nendega tegelesid, astusid välja sellise katoodkiirte tõlgenduse vastu.

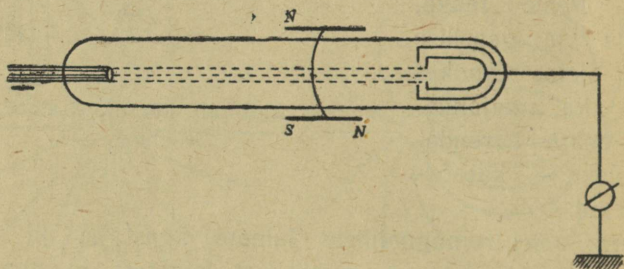
Nad pidasid neid mingiks elektromagnetiliste lainete liigiks. Hertz teostas katse, mis näis kinnitavat mõtet, et kuigi magnet painutab katoodkiiri, ei kalluta kiired ise magnetit kõrvale. Ometi, kui



Katoodkiired satuvad klaastoru seinale, laevad ta ja pöörduvad teda mööda tagasi.

katoodkiired oleksid laetud osakeste vool, siis mitte ainult magnet ei mõjutaks neid, vaid nad peaksid ka ise magnetit mõjutama. Hertz tegi sellest järelduse, et katoodkiired on elektromagnetiline nähtus, millel pole midagi ühist laengutega. Ent Hertzi katsetes leidis viga, mis viis teda ebaõigele järeldusele. Hertzi ja teiste füüsikute

katsetes sattusid katoodkiired klaasseinale ja laadisid seda; siis aga pöördusid laengud seina mööda tagasi. Torus tekkis kaks elektrilaengute voolu — otsesuunas ja vastassuunas. Seepärast me ei näinudki mingit mõju magnetile. Minu katsetes sattus katoodkiirte laeng eriliselt püünisesse ja juhiti välja. Torusse jäi ainult katoodkiirte kimp, vastassuunalist voolu piki toru klaasi aga ei olnud. Siis pöördusid toru lähedale asetatud magnetnõelad nii, nagu see pidi olema. Hertzi poolt näidatud



Katoodkiirte laeng juhatakse torust välja. (Autori katse.)

vastuolu kadus. Katoodkiired on tõepoolest elektrilaengute voolud. Samasuguse püünise abil avastas Perrin juba varem katoodkiirte laengu.

Mis on katoodkiirte laengud? Kõigepealt osutus, et need on alati negatiivsed laengud. Samasugused negatiivsed laengud väljuvad valgustatud kehast. 1888. aastal avastas Hertz fotoefekti. Ta näitas, et (eriti ultravioletsete kiirtega) valgustatud keha saadab välja negatiivseid laenguid. Kui paigutada valgustatud keha tühjusse, siis võib veenduda, et neil laengutel on täpselt samad omadused, mis katoodkiirtelgi. Edison märkas, et ka hõõguv metalltraat annab negatiivseid laenguid. Kõik need laengud on omadustelt täpselt ühesugused.

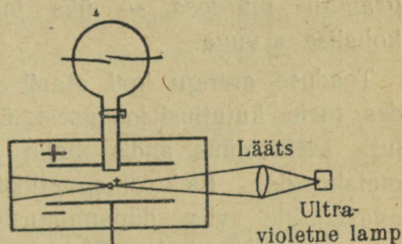
1910. aastal õnnestus veenduda, et laengud ei voola valgustatud kehast mitte nii, nagu voolab vedelik pideva vooluna. Negatiivne vool koosneb üksikuist laenguist, alati ühesuguseist, võrdse massiga ja suurusega, mil- list ainet me ka valgustaksime. Neid laenguid nimeta- takse elektronideks.

Kuidas õnnestus seda kindlaks teha ja üksiku elektroni laengut mõõta? Ma kirjeldan katset, mis ainult natuke erineb ameerika füüsiku Millikani katsetest, sel kujul, nagu mina selle teostasin 1912. aastal. Kambris A tekitati väikesi tsingikübemekeksi, mis langesid läbi kitsa ava kahe laetud plaadi

vahelisse ruumi. Lae- tud kübemeke langeb raskustungi mõjul alla, nagu iga keha. Aga kui ta on laetud, siis mõju- vad temasse ka elektri- tungid, olenevalt laengu märgist, kas alt üles või ülalt alla. Reguleerides

plaatide elektrilaengut võis peatada iga langevat kübet, nii et see jäi liikumatult õhku rippuma. Mul õnnestus vahel terve päeva jooksul kübet selles seisus hoida. Kui aga talle langes ultravioletse valguse kimp, vähendas see laengut. Seda võis kohe märgata, sest laengu muutmi- sega vähenes elektritung, raskustung aga jäi muutuma- tuks: tasakaal kadus, kübemeke hakkas langema. Oli tar- vis valida uus plaatide laeng, et tsingikübemekest uuesti peatada. Ja iga kord oli võimalik mõõta tema laengut.

Võis maha võtta 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, ... kuni 50 laen- gut, kuid alati oli see täisarv elektrone. Selgus, et missuguse aine me ka iganes võtaksime, olgu see tsink,



Plaatide elektrilaeng peatab lan- geva kübeme. (Autori katse.)

õli, elavhõbe, olgu see valguse toime, soojendamine või mõni teissugune mõjutus, — iga kord, kui keha kaotab laengu, kaotab ta selle tervete elektronide kaupa. Tähendab, võis järeldada, et looduses esinevad ainult terved elektronid. See oli tähtis samm edasi. Looduses esinevad laengud on negatiivsed elektronid. Meenutan, et oli kokku lepitud nimetada positiivseks seda elektrit, mis tekib hõõrumisel klaasil, ja negatiivseks seda, mis tekib hõõrumisel vaigul. Elektroni laeng ja mass on äärmiselt väikesed. Tema laengut mõõdetakse ühiklaengu kümnemiljardikes: $4,8 \times 10^{-10}$, kuna massi väljendab grammi murdosa — üks jagatud kahekümneseitsmekohalise arvuga.

Teaduse arengu igal etapil avab uus avastus, süvendades meie kujutlusi loodusest, ühtlasi uusi tehnilisi võimalusi. Elektrolüüs andis meile akud ja paljude metallide metallurgia. Elektromagnetiliste vastastikuste mõjude avastamine viis dünamomasinate, elektrimootorite ja trammi leiutamisele. Elektromagnetiliste lainete avastamine sai raadiotehnika alguseks. Elektronid löid vaakuumtehnika.

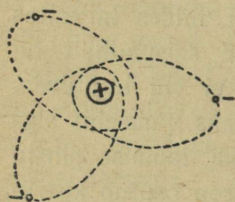
Meie esimesed kujutlused elektrist, tollal kui me tundsimine ainult laenguid ega pööranud üldse tähelepanu sellele, mis toimub nende ümber, olid väga ühekülgsed. Kui kogu tähelepanu pöördus elektromagnetilistele väljadele, unustati laengud. Ka siin osutusid kujutlused elektrinähtustest niisama ühekülgsesks. Elektronide avastamine viis hollandi füüsiku Lorentzi elektronideteooriale, mis arvestab nii üksiklaenguid kui ka neid ümbritsevat elektrivälja. Kui laeng on liikumatu, siis tekitab ta enese ümber elektrivälja. Tema liikumine tekitab magnetvälja. Elektronideteooria ühendab endas elektrinähtuste mõlemad küljed ja haarab suure kogumi meile tuntud fakte. Näis, nagu

leiduks looduses ainult üks liik elektrilaenguid — elektronid, mille mass on umbes kaks tuhat korda väiksem kõigekergema aatomi massist. Paljudele näis, et elektroni avastamisega olime jõudnud looduses piirini, et elektron on kõige väiksem ja kõige lihtsam aine koostusosa. See oli umbes kolmkümmend kaheksa aastat tagasi. Sel ajal avaldas Vladimir Iljitš Lenin oma silmapaistva teose «Materialism ja empiriokrititsism» (1909), milles ta esitas järgmise mõtte: dialektilise materialismi seisukohalt on looduse mitmekesisus ammendamatu ja ei või kujutleda, et isegi elektron oma lihtsuse poolest oleks väikseim algosa, millest on ehitatud maailm. Vastupidi, looduse piiritu mitmekesisus sunnib arvama, et ka elektron osutub keerukamaks, kui me mõtleme.

Seda Vladimir Iljitš Lenini oletust, nagu ka kõiki dialektilise metodoloogia järeldusi, õigustas teaduse kõgu arenemiskäik. Tollal kui Lenin kirjutas oma raamatu, näis meile füüsikuile, et me juba tunneme elektrilaengu ainukest kaju — elektroni. Tõeliselt aga osutus elektron vaid alguseks elektrilaengute tundmaõppimise protsessis.

Elektronid esinevad iga aatomi koosseisus. Kuid aatomid tervikuna on ilma laenguta. Tähendab, kuskil peab olema ka positiivne laeng. Milline see on? Inglise teadlane Thomson avaldas oletuse, et positiivne laeng on midagi pilvetalolist, mis täidab aatomit, positiivsest elektrist kera, mille sees asuvad negatiivsed laengud — elektronid. See mõte osutus ekslikuks. Teine inglise teadlane, hiljuti surnud Rutherford, näitas, et aatom, mille suurus on sajamiljondik sentimeetrit, sisaldab tuuma, mis on 100 000 korda aatomist väiksem. Aatomi tuuma on koondatud pea-aegu kogu aatomi mass ja tema positiivne laeng. Nii-siis, aatomis on väike, kuid suhteliselt raske positiivsel laetud tuum, selle ümber aga negatiivsed elektronid.

Nende elektronide arv pole suur. Vesiniku aatomis on kõigest 1 elektron, heeliumi aatomis — 2 jne. Kõige raskemas ning keerukamas aatomis — uraani aatomis — on 92 elektroni ja niisama palju positiivseid laenguid tuumas. Mispärast siis elektronid, kuigi tuum tõmbab neid külge, ei lange sellele tuumale? Vastuse andis seesama Rutherford, kes otsustas analoogia põhjal päikesesüsteemi ehitusega.



Väike, kuid suhteliselt raske positiivne laeng, selle ümber aga negatiivsed elektronid.

Maakera tõmbub Päikese poole, kuid siiski ei lange Päikesele, vaid tiirleb tema ümber. Tsentrifugaaltung tasakaalustab külgetõmbetungi. Nii on ka aatomis. Elektronid tiirlevad ümber tuuma sellise kiirusega, et nad ei lange temale.

Päikesesüsteem koosneb raskest Päikesest, mille ümber tiirleb planeetide süsteem. Samuti on ka aatomis raske positiivselt laetud tuum, selle ümber aga tiirlevad elektronid. Siiski ei suut-

nud analoogia aatomi ja päikesesüsteemi vahel seletada, mispärast antud aine kõigis aatomeis elektronid tiirlevad ühte viisi, ühesugustel orbiitidel. Vastus sellele küsimusele tulenes täiesti uutest kujutlustest, mis XIX sajandi füüsikas polnud veel põhjendust leidnud ja olid talle võõrad.

Aatomis toimuvate nähtuste uurimine selgitas uusi aine omadusi. Selgus, et peale nende seaduste, mida me tundsiime suurte kehade uurimise tulemusena, ilmnevad selliseis äärmiselt väikestes osakestes, nagu aatom, uued, s. o. meile senitundmatud loodusseadused. Dialektiline materialism võimaldab ette näha, et sentimeetri miljondikku-dega mõõdetavas nähtuste maailmas võivad ilmneda omadused, mida me ei aimanudki, seni kui nad olid

kättesaamatud meie katselisele kogemusele, mis on kõigi meie teadmiste ja ideede aluseks. Uus teooria nimetati kvantideteooriaks. Kvantideteooria tõi rea uusi kujutlusi, mis omandasid edaspidi uue mehhaanika, lainemehhaanika kuju.

Erinevalt planeetide liikumisseadustest ning ka mehhaanika ja elektrodünaamika seadustest, mis on tuletatud suurte kehade liikumise uurimisest laboratooriumides ja tehastes, lubab kvantideteooria elektronidel liikuda aine piirides ainult täpselt kindlaksmääratud orbiitidel, mida me nimetame kvantitud orbiitideks.

Sellal kui elektrodünaamika seadused viivad järeldusele, et kinnisel kõveral orbiidil liikuv laeng kiirgab elektromagnetilisi laineid ja seepärast kaotab aegamööda oma kineetilise energia varu, väidab kvantideteooria, et liikudes kvantitud orbiidil elektron ei kaota energiat ega kiirga teda.

Lainemehhaanika läheb veel palju kaugemalegi, muutes meie kujutlusi kehade liikumisest ja sidudes neid lainete levimise seadustega. Kõik lainemehhaanika väited on paljude katsete abil leidnud täielikku kinnitust.

Isegi suurimad vaimud, nagu näiteks elektronideteooria looja Lorentz, pidasid neid vastuolusid lahendamatuks, teadusliku tunnetuse aluseid õõnestavaks.

Lorentz avaldas vestluses minuga isegi kahetsust, et ta ei surnud enne, kui ilmnasid need vastuolud.

Dialektiliselt mõtlevale füüsikule aga näivad uued seadused täiesti loomuliku nähtusena uues nähtuste vallas. Pole midagi imestusväärset selles, et tungides meile varem kättesaamatuise atomaarseisse protsessidesse me leidsime ka uued seadused nende nähtuste jaoks. Mingit vastuolu vanade ja uute seaduste vahel pole olemas.

Tõepoolest, kvantideseaduste omapära käib niivõrd väi-

keste suuruste kohta, et nende seaduste rakendamisel harilikele suurtele kehadele me ei märka mingeid kõrvalekaldu-misi varem püstitatud seadustest.

Seepärast pole asi mitte nii, et aatomis on kehtivad ühed seadused ja suures kehas neile vastukäivad teised seadused. Kvantideseadused avavad nende rakendamise puhul aatomitele ja elektronidele täiesti uued omadused neil osakestel, kuid rakendamisel tavalistele kehadele annavad nad varem püstitatud ja kontrollitud seadused. Ei tohi vaid üle kanda seadusi, mis on tuletatud suurte kehade uurimisest, üksikule aatomile või üksikute aatomite vastastikustele mõjudele, enne kui me pole neid katseliselt läbi uurinud.

XIX sajandi füüsika seadused on kvantideseaduste ligi-kaudsed väljendused, osutudes täiesti õigeks rakendamisel suurtele esemetele, aga kõlbmatuks atomaarsete protsesside uurimisel.

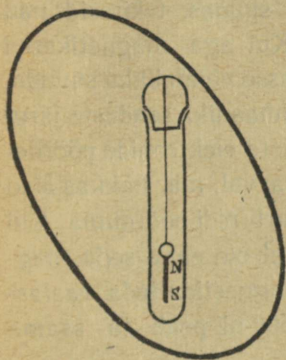
Kvantideseadused süvendavad mehhaanika ja elektro-dünaamika seadusi, laiendades neid ka aatomite maailmale, kuid ei heida neid mitte kõrvale.

Aatomis iseloomustavad elektroni iga kvanditud orbiiti kolm suurust: esiteks tema mõõtmed, millest oleneb põhi-liselt elektroni energia; teiseks tema kuju, piklikum või ümmargusem ellips, millel elektron tiirleb; ja kolmandaks, orbiidi tasapinna kaldenurk aatomi telje suhtes. Näib, nagu määraksid need kolm suurust täielikult kindlaks elektroni liikumise tema orbiidil. Tõepoolest, ruumil on kolm mõõ-det: pikkus, laius ja kõrgus. Kui me teame punkti kaugust neis kolmes suunas teisest antud punktist, siis võime täp-selt näidata, kus punkt asub. Kauguse asemele pikkuse, laiuse ja kõrguse suunas me võime valida teised kolm väärtust, kuid alati ainult kolm.

Ometigi näitas katse, et elektroni liikumise määrami-

seks tema orbiidil on vaja neli suurust. Liikumised, millel on samad orbiidi mõõtmed, kuju ja kalle, erinevad veel millegi neljanda poolest. See oli arusaamatu.

Esimese oletuse esitasid hollandi teadlased Goudsmit ja Uhlenbeck. Meenutage Maakera tiirlemist ümber Päikese.



Kvartstorus, millest õhk on välja pumbatud, ripub nikkelarvake, mille küljes on peeglike. Kui arvake magneeditakse, hakkavad kõik elektronid pöörlema ühesuunaliselt ja moodustavad koos suure magneti. (Autori ja P. L. Kapitza ühine katse.)

kvartstorus, millest õhk oli välja pumbatud, ripub peenikese kvartsniiidi otsas nikkelarvake, mille küljes on peeglike. Kui nikkelarvake magneeditakse (seda võib teha väljastpoolt), siis põhjustab see, et kõik elektronid hakkavad pöörlema ühesuunaliselt ja moodustavad koos suure magneti. Kui arvake demagneetida, siis paisatakse aatommag-

Maakera tiirleb teatud orbiidil, kuid peale selle pöörleb ta ka ümber oma telje. Võib-olla pöörleb ka elektron ümber oma telje? Tõepoolest osutus, et see ongi nii. Kui aga laeng pöörleb ümber oma telje, siis kujutab niisugune pöörlev laeng endast vooluringi; elektrivool aga tekitab alati magnetvälja. Kui elektron pöörleb ümber oma telje, siis peavad tal olema ka magneti omadused. Pöörlev elektrilaeng on magnet, millel on põhja- ja lõunapoolus. Ma jutustan katse, mis tõestas selle väite. Esmakordselt tegid selle katse teisel kujul Einstein ja hollandi teadlane de Haas ja see näitas veenvalt pöörlevate elektronide magnetilisi omadusi raua aatomeis. Koos akadeemik P. L. Kapitza'ga korraldasime 1918. a. järgmise katse: pikas

netid igasse suunda. Magneeditud nikli magnetilisus kaob täiesti tema soojendamisel 360^o-ni. Niisiis, kõik magnetikesed, mis madalal temperatuuril olid suunatud ühele poole, paisatakse nüüd igasse suunda. Suur gaasipõleti soojendas ruttu väljastpoolt nikkelarva ja demagneetis tema. Seni kui kõik elektronid pöörlesid samas suunas, tekitasid nad nikkelarva sees pöördemomendi. Kui aga magnetikesed 360^o ületaval temperatuuril paisati igasse võimalikku suunda, kadus pöördemoment varva sees. Mehhaanika seaduste järgi ei või pöördemoment muutuda. Sisemiste elektronide pöördemomentide asemele tekkis moment varval, mis hakkas äkki pöörlema. Võis arvutada, kui palju varb pidi pöörduma. Kui samal kombel soojendada varba, mis ei ole enne seda magneeditud, siis ei juhtu midagi. Kui magneetida teda vastasuunas, siis varva soojendamisel 360^o-ni peab ta saama tõuke vastassuunas.

Meid ümbritseb Maakera magnetväli. Järelikult võis nikkelarvakesele mõju avaldada see magnetväli. Et seda mõju vältida, oli meie konstruktsioon tehtud ovaalikujuuline ja mähitud ümber traadiga; selle traadi jaoks me valisime niisuguse voolu, mis hävitas Maa magnetvälja. Mingeid magnetilisi mõjusid varvakesele enam ei avaldunud, olenemata sellest, kas ta oli magneeditud või mitte. Katse tulemused näitasid, et magneeditud varvake sisaldab suure hulga pöörlevaid elektrone. Kui nende pöördemoment kaob, siis saab kogu varvake sama pöörlemishulga, mis oli enne üksikuil osadel. Analoogiline nähtus leiab aset järgmises katses: paneme vurri niidi otsas rippuvasse karp. Me ei tea, kas vurr karbis pöörleb või mitte. Kui aga meil õnnestub pidurdada vurri pöörlemist karbis, siis näete, et kogu karp tervikuna hakkab pöörlema; järelikult vurr enne pöörles.

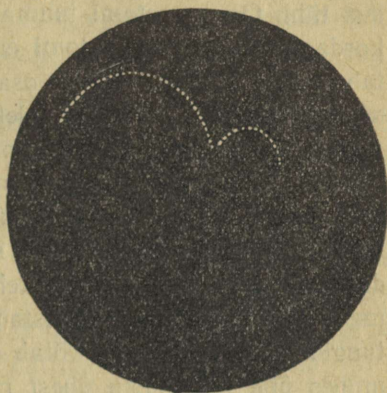
See katse, nagu ka analoogiline enne meid teostatud Einsteini ja de Haasi katse, näitas, et elektronide pöörlemine oma telje ümber on tõesti olemas. Elektron osutus mitte just eriti lihtsaks. Ta pole mitte ainult laeng, vaid ka magnet, ja ta omab pöördemomenti, mida nimetatakse «spin'iks», mis inglise keeles tähendab pöörlemine.

III. Elektron, positron ja neutron.

Mõni aeg hiljem avastati nähtus, mida oli ennustanud inglise füüsik Dirac. See füüsik väitis, et võivad eksisteerida mitte ainult negatiivsed elektronid, vaid ka positiivsed laengud sama massiga nagu elektronil. Need laengud nimetati positronideks. Positron on positiivne elektron. Et aga keegi polnud positrone täheldanud, heideti Dirac'i teooria algul kõrvale. Hiljem aga märkasid teadlased Blacket ja Anderson, uurides kosmilisi kiiri, mitte ainult negatiivseid, vaid ka positiivseid elektrone, mida Dirac oli ennustanud. Aga kuidas võis teada, et kosmilistes kiirtes leidub nii positiivseid kui ka negatiivseid laenguid? Peale kosmiliste kiirte vaatlusviisi erilise lugeja abil, mis märgib iga osakese möödumist, ning peale vaatlusviisi elektrivoolu järgi, mis tekib lahendustorus iga kord, kui seda läbib osake suure kiirusega, on olemas ka teisi meetodeid, mis lubavad kindlaks teha kiirete osakeste möödumist.

Kui laetud osake lendab läbi õhu, mis on veeauruga üleüllastatud, siis tekivad piki osakese poolt käidud teed udutilgakased. Sel viisil on võimalik vaadelda ja pildistada kogu teed, mida mööda osake liikus. Akadeemik Kapitsa ja hiljem Teaduste Akadeemia korrespondeeriv liige D. V. Skobeltsõn paigutasid Wilsoni kambri, milles seda nähtust vaadeldakse, esmakordselt magnetväljasse. Selles väljas osakeste teed kalduvad kõrvale, ja seda tugeva-

mini, mida aeglasemalt osakesed liiguvad. Kui need on negatiivsed elektronid, siis kalduvad nad magnetväljas kõrvale ühele poole, kui aga positiivsed positronid, siis teisele poole. Selgus, et kosmiliste kiirte koosseisus leidub nii negatiivseid kui ka positiivseid osakesi. Osakese kiiruse üle võib otsustada tema trajektorkuju järgi, selle kõverusraadiuse järgi. Päävapidil võib näha kahte kiirt, mis lähtuvad ühest kohast, üks paremale ja teine vasakule. Ühte neist tekitab elektron, teist — positron. Nagu Dirac'i teooriast järgnes, tuli positronide saamiseks kasutada väga kõrget pinget. Et lahutada elektroni ja positroni, tuleb kulutada sää-



Wilsoni kambri magnetväljas. Positroni tee läheb vasakule, elektroni tee — paremale.

rane hulk energiat, mille elektron jõuab koguda, kui ta läbib potentsiaalide vahe 1 miljon volti. Me nimetame seda energiat 1 miljoniks elektronvoldiks. Alles siis, kui õpiti ehitama kuni 1 miljon volti andvaid generaatoreid, sai võimalikuks tekitada positrone kunstlikult. Algul aga märkasime neid looduslikes kosmilistes kiirtes.

Niisiis esinevad looduses negatiivsed elektronid, kuid peale selle on võimalik kunstlikult luua ka positiivseid elektrone. Teisi laenguid füüsikud tol ajal ei tundnud. Tekkis järgmine kujutlus: aatom koosneb positiivsest tuumast ja negatiivselt laetud elektronidest, mis liiguvad selle ümber. Oleks kerge järeldusele tulla, et lõppkokku-

võttes koosneb iga aatom ainult elektrilaenguist, et aga kõik kehad koosnevad aatomeist, siis kogu maailm koosneb ainult elektrilaenguist, ja kõik on seletatav elektriliste tungide ja nende vastastikuste mõjudega.

Ent kui nõustuda selle järeldusega, siis tuleneb, et peaaegu kogu ruum, mille keha enda alla võtab, on õigupoolest tühi. On ju aatomi tuuma ja elektroni suurus 100 000 korda väiksem kui aatomi enese suurus. Järelikult kujutab tuum endast väikest osakest, mille ümber liiguvad mõned niisama väikesed elektronid. Kui suurendaksime aatomi suure saali mõõtmeteni, siis näeksime selle keskel väikest tolmukübet ja veel mõnda samasugust tiirlevat tolmukübet. Looduses on kõik ehitatud niisuguseist aatomeist, tähendab, kõikjal on samasugune tühjus — laudades, seintes. Me aistime kehi tihedate massidena, mida meie sõrm ei suuda läbistada, ainult tänu elektrilistele tungidele, aine ise aga võtab enda alla tühise ruumala — umbes ühe miljondiku ühest miljardikust kogu ruumalast, mille keha enda alla võtab. Ent see rabav pilt osutus edaspidi mitte päris õigeks.

Algul huvitasid meid ainult elektronid, hiljem avastati tuum, tuumast aga teati vaid niipalju, et tal on positiivne laeng. Viimase seitsmeteistkümne aasta jooksul on füüsikute huvi keskuses olnud aatomituum ise. Kõige lihtsam ja kergem tuum on positiivselt laetud vesinikutuum, mis nimetati prootoniks. Prootoni mass ($1,6 \cdot 10^{-24}$ grammi) on 1800 korda suurem elektroni massist ($0,9 \cdot 10^{-27}$ grammi), prootoni laeng aga ($4,8 \cdot 10^{-10}$ absoluutset ühikut) on võrdne suuruselt ja vastupidine märgilt elektroni laenguga ($-4,8 \cdot 10^{-10}$ ühikut). Võis oletada, et kõigis tuumades leiduvad ainult prootonid ja elektronid. Edaspidi selgus, et see pole õige. Kvantideteooria järgi ei või tuumas leida selliseid kergeid osakesi, nagu elektronid. Ometigi paiskavad radioaktiivsed tuumad välja kiireid elektrone,

nn. beeta-kiiri. Oli ka teisi vastuolusid. Me teame näiteks, et vesiniku tuumas on üks prooton. Järgmine element on heelium. Heeliumi aatomkaal vesiniku suhtes on 4, heeliumi tuuma laeng aga on kõigest kaks korda suurem vesiniku tuuma laengust. Seda võis seletada oletusega, et heeliumi tuumas on 4 positiivset prootonit ja 2 negatiivset elektroni. Kuid tuumas ei või olla negatiivseid elektrone. See oli mõistatus, mille ees seisime mõnda aega täiesti nõutult.

Selle mõistatuse lahenduse andsid uued faktid, mille avastasid prantsuse füüsikud Joliot ja Irène Curie (raadiumi avastaja Marie Curie' tütar). Nad leidsid uue kiirte liigi, mille koosseisu selgitas varsti inglise füüsik Chadwick. Need on osakesed, mis läbivad tohutuid kaugusi ilma suurema tõkestuseta ja millel pole positiivset ega negatiivset laengut. Nende mass on aga sama, mis prootoni mass. Nad nimetati neutroniteks. Prootonil on positiivne laeng, elektronil negatiivne, neutronil aga pole mingit laengut. Selgub, et on olemas nii laetud kui ka laadimata osakesi prootoni massiga. Laadimata prooton on neutron. Heeliumi tuum koosneb kahest prootonist ja kahest neutronist. Süsinikul on kuus laengut, kuna ta aatomkaal on 12. Täheandab, süsiniku tuum koosneb 6 prootonist ja 6 neutronist. Lämmastiku tuum koosneb 7 prootonist ja 7 neutronist. Umbes võrdne arv üksteisega ühendatud prootoneid ja neutroneid moodustabki mitmesuguseis aineis tuumad. Niisuguse seletuse esitas esmakordselt professor D. D. Ivanenko. Prootonid tõukuvad üksteisest, kuid nad ei lenda igale poole laiali. Täheandab, neid hoiavad koos mingisugused mitte-elektrilist päritolu tunnused, mis on välja kutsutud neutronite poolt. Niisiis osutus puhtelektriline maailmapilt rikutuks. Nähtavasti ei saa tuumasiseseid tunde pidada tavalisteks elektrilisteks vastastikuteks mõjudeks.

IV. Elektrilised ja neutraalsed osakesed.

Radioaktiivsed ained emiteerivad pidevalt mitmesuguseid osakesi, nende seas alfa-kiiri (heeliumi tuumi) ja beeta-kiiri (elektrone).

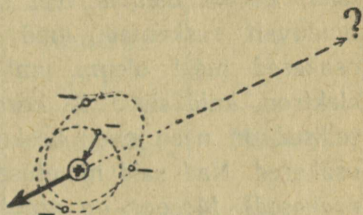
Nende kiirte energia uurimisel selgus uus vastuolu. Ühelt poolt võis mõõta, kui palju energiat kaotab aatom, emiteerides elektroni. Teiselt poolt võis mõõta energiat, mille elektron kaasa viib. Seejuures selgus, et elektronid viivad kaasa ainult osa energiast, mille aatom kaotab, ülejäänud osa aga kaob jäljetult. Elektron ei ole mitte ainult liikuv laeng, vaid ka «spin» — osake, millel on pöördemoment. Ka selles punktis bilanss ei klapi, sest elektron viib ära teatud pöördemomendi, tuum aga kaotab kaks korda suurema momendi. Leidus selliseid ennatlikke füüsikuid, kes otsustasid: kui energia ja pöördemomendi bilanss ei klapi, siis, tähendab, pole õiged energia ja pöördemomendi jäävuse seadused ise. Ometigi on energia jäävuse seadus aluseks, millel põhjenevad meie teadmised looduse kohta.

Teised füüsikud, nende seas ka Pauli, oletasid, et tuumast lendab välja mitte ainult elektron, vaid veel midagi, mis viib kaasa ülejäänud osa energiat ja pöördemomenti. Mis see siis on?

Kui see «midagi» oleks elektriliselt laetud, siis oleks teda otsekohe märgatud. Kui teda ei märgata, siis on ta ilmselt neutraalne osake. Kui see oleks suhteliselt raske

neutron, siis, kokku põrgates aatomite tuumadega, lööks ta neist välja teisi neutroneid ja prootoneid, mida oleks võinud avastada. Kuid ei ühte ega teist nähtust ei suudeta täheldada. Järelikult on see osake esiteks ilma laenguta ja teiseks palju kergem neutronist.

Pauli oletas väikeste neutronite emiteerimist (nende väikeste neutronite nimetamiseks tarvitatakse itaaliakeelset sõnakuju «neutrino» — neutronike). Selline oli hüpotees, kuid oli veel tarvis kindlaks teha, kas neutrinod on tõeliselt olemas. Selle küsimuse otsustamiseks tegi ettepaneku alguses füüsik Leipunski ja hiljem korraldas otsustava katse akadeemik Alihhanov. See katse, mis tõestab neutrino olemasolu, põhjeneb alljärgneval. Kui mürsk lendab kahurist



Elektroni haare tuuma poolt, mille puhul aatomist peab välja lendama neutrino. Haardeprotsessiga kaasneb aatomi tagasipõrge.

välja, siis kahur põrkab tagasi. Kui mürsk lendab ühes suunas, siis kahur põrkab tagasi vastassuunas. Kui te näete, et kahur põrkab tagasi, siis, tähendab, lendas temast midagi välja ettepoole. Kui te ka ei näe mürsu väljalendu, olete siiski veendunud, et kahurist lendas midagi välja. Katseks valiti elektroni haarde nähtus tuuma poolt, mille tulemusena peab aatomist välja lendama ainult neutrino (muidugi üksnes sel juhul, kui ta on reaalselt olemas). Kui aga tuumast tõepoolest lendab ühes suunas teatud kiirusega välja neutrino, siis peab tuum põrkama vastassuunas tagasi täiesti kindla kauguse võrra. Nii oligi: haardeprotsessiga kaasnes aatomi tagasipõrge. Seepärast, kuigi me ei näe väljalendavat osakest, näeme siiski efekti,

mille ta tekitab, — tagasipõrget. Neutrino sai reaalsuseks. Nii avastati veel üks elementaarosake — neutrino.

Kuid jällegi ei piirdunud asi sellega. Uraani tuumas on 92 positiivset osakest, mis üksteisest eemale tõukuvad. Peale selle leidub samas tuumas kaunike hulk neutroneid. Tähendab, on olemas mingisugused tungid, mis neid koos hoiavad. Need ei ole mitte elektrilised, vaid tuumatingid. Et nende tungide päritolu seletada, oli vajalik oletada, et on olemas veel erilised osakesed, elektronidest tunduvalt raskemad, kuid prootoneist kergemad. Need osakesed pidid olema umbes 150 korda raskemad kui elektron, kuid siiski 12 korda kergemad kui prooton, — sellised on need uued keskmise kaalu, keskmise massiga osakesed. Nad said nimetuse mesoonid (keskmise kaaluga osakesed). Mesoon on prootonist kergem, elektronist aga raskem. kusjuures nad võivad olla nii positiivsed kui ka negatiivsed. Selle järelduse tegi esmakordselt jaapani füüsik Yukawa.

Niisugused osakesed leiti hiljem tõepoolest kosmilistes kiirtes. Kosmiliste kiirte osakeste hulgas täheldatavad energiad on tohutult suured. Tavaliselt väljenduvad nende osakeste energiad sadades miljonites elektronvoltides, aga leidub osakesi ka mitme miljardi elektronvoldi suuruse energiaga. Hiljem avastati (nüüd aga on juba hoolikalt uuritud) osakeste voolud, millel on veelgi suurem energia. Neid nimetatakse prantsuse füüsiku Auger' järgi. Vennad Alihhanovid tegid oma ekspeditsioonil Alagösele kindlaks, et leidub osakesi, mille energia väljendub seitsmeteistkümnekohalise elektronvoltide arvuga. Need tulemused leidsid kinnitust Teaduste Akadeemia füüsikute teise rühma poolt, kes toimetasid vaatlusi Pamiiril.

Kosmilistes kiirtes täheldati esmakordselt positrone, hiljem ka mesoone, mille laeng võib olla nii positiivne kui ka negatiivne.

Milliseid osakesi me tunneme praegu looduses? Need on: prooton ja neutron, positiivne ja negatiivne mesoon, elektron, positron ja neutrino. Terve komplekt osakesi, nii laetuid kui ka neutraalseid.

Nüüd näete, kuidas sai tõeks V. I. Lenini ettenägemine, et elektron ei või olla ainuke algosake, millest on ehitatud kogu maailm. Elektron, nagu selgub, ei oma mitte ainult laengut, vaid pöörleb peale selle ka ümber

Rasked $m = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ g} =$ $= 10^9 \text{ eV}$	Prooton +	Neutron ○	?
Keskmiised $m = 1,8 \cdot 10^{-25} \text{ g} =$ $= 10^8 \text{ eV}$	Mesoon +	Neutretto ?	Mesoon —
Kerged $m = 9 \cdot 10^{-28} \text{ g} =$ $= 5 \cdot 10^6 \text{ eV}$	Positron +	Neutrino	Elektron —

oma telje ja tal on magnetiline moment. Uus laetud osake — mesoon — elab lühikest aega, kõigest kaks miljondikku sekundit. Seejärel laguneb ta, kusjuures tekib positron või elektron ja arvatavasti neutrino. Niisiis võivad eksisteerida kerge ja raske elektron, mis, andes ära liigse energia, muutub harilikuks elektroniks. On selge, et ka siin me pole veel kaugeltki jõudnud oma teadmiste piirini, et tänapäeva kujutlused veel kaugeltki ei peegelda reaalsel loodust kogu tema mitmekesisuses ja teravikluses.

Kogu teel, mille käis teadus ja millest ma siin kõnelesin, leidsid teadlased üha uusi fakte, ja need viisid meid teooriatele, mis peegeldavad järjest paremini ning täielikumalt reaalse maailma omadusi. Iga edusamm loodusnähtuste tunnetamises annab meile ka uusi tehnilise

progressi vahendeid. Muuseas, elektroni kvantomaduste avastamine viis uutele vallutustele raadioside ja kaugnägemise tehnikas. Me ei jõua meid ümbritseva maailma täielikule tundmisele, kuid läheneme sellele üha enam ja enam.

Te võisite minu jutustusest samuti näha, et uued teadmised ei tõuka kõrvale vanu, vaid ainult täiendavad neid ja tõstavad nad kõrgemale tasemele. Alguses õpime tundma nähtuste ühte külge, hiljem teist, ning lõpuks saabub hetk, mil õnnestub liita need mõlemad vastasküljed üheks ühiseks pildiks. See tõstab korraga meie teadmised uuele tasemele ja avab palju laiemat vaatevälja. Äärmiselt kaasakiskuv on uurimise tee, mis leiab visade otsingute järel lõppeks väljapääsu näiliselt lahendamatuist vastuoludest ja viib uutele avastustele. Iga etapp meie teadmistes on alati ka uueks tehnika edusammuks, inimkonna elu uueks kergenduseks.

Selles meie teadmiste arenemiskäigus ja temaga seotud tehnika arengus etendavad elektrinähtused järjest tähtsamat osa. Kui XIX sajandit võis nimetada auruajastuks, soojusmasinate ajastuks, siis XIX sajandi lõpp ja XX sajand on esmajoonel elektriajastu. Elektrinähtused kogu oma mitmekesisuses andsid meile sügavaima loodusetunnetuse ja täpseima oskuse valitseda loodust inimkonna kasuks.

V. Aatomituuma energia.

Kõigi loodusseaduste hulgas, mida me tänapäevani oleme tundma õppinud, on kaks seadust, mis ei tunne ühtegi erandit ja mida me peame looduses kõige põhilisemaiks: energia jäävuse seadus ja elektri hulga jäävuse seadus.

Nagu teate, võib energia omandada mitmesuguseid kujusid: me kohtame teda soojusena, elektrina, mehhaanilise tööna ja keemilistes reaktsioonides, kuid iga energia avaldub kehade massina. Teades keha kaalu, võime öelda, kui suur energiavaru temas sisaldub. Iga gramm ainet on $9 \cdot 10^{20}$ ergi energiat (s. o. ligikaudu üks 21 nulliga). See energia sisaldub peamiselt aatomituumas. Just seepärast pakub aatomituum erakordset huvi. Temas peituvad aine ehituse saladused ja temas on samuti tohutu suured tulevikuvõimalused. Energia, mis sisaldub mistahes keha 100 grammis, oleks, kui osutuks võimalikuks teda vabastada, niisama suur kui see, mille võivad anda 100 rongitäit naftat ja sütt. Meie ei oska veel seda energiat välja tuua, kuid mõnikord võime vaadelda, kuidas ta vabaneb. On tehtud ainult esimene samm, mis avab kõige laiemad väljavaated. Me ei oska veel seda energiat tehniliselt kasutada, kuid oleme kindlad, et õpime seda hiljem. Alguses me tunnetame ning hiljem õpime oma teadmisi kasutama. Seepärast püüame praegu aatomituuma tundma õppida.

Tema energia kasutamine on tuleviku asi. Aga kui me endalt küsime, kas me kasutame juba praegu elus tuumaenergiat, siis tuleb sellele vastata: jah. Kogu see energia, mida me kasutame, saadakse tuumaenergia arvel.

Te teate, et kogu Maakeral leiduva energia allikas on Päike. Päike aurustab vett, tekivad pilved, vesi sajab vihmana mägedest alla ja siis moodustuvad jõed, need jõed aga annavad hüdroenergiat.

Süsi ja nafta pole muud kui omal ajal elusolendite või taimede poolt varutud päikeseenergia. Ühe sõnaga, kogu energia on nii või teisiti saadud päikesekiirtelt.

Mispärast siis Päike, kiirates pidevalt energiat, ei ole jahtunud? Kus on tema energia allikas? Sellele võib vastata järgmiselt. Nii Päikese kui ka teiste tähtede keskosades valitseb hiiglasuur rõhk. Temperatuur ulatub seal 100 miljoni kraadini. Seal toimub liituumade tekkimine prootonitest ja neutronitest. Näiteks muundub vesinik seal positrone eraldades aegamööda heeliumiks. Et aga 4 prootonit on veidi raskemad kui heeliumi tuum, siis vabastab see muundumine tohutul hulgal soojust, mis võimaldab Päikesel kiirata valgust. Niisiis on kogu energia, mida me kasutame, saadud aatomituumade ümberehituse protsessidest. Kui me õpiksime kasutama aatomituumade energiat, siis muutuks kogu meie elu. Praegu võib aeroplaan lennata mõne tunni, seni kui lõpeb bensiinitagavara. Kui bensiini asemel oleks võimalik kasutada tuumaenergiat, siis võiks inimene aeroplaanil kogu eluaja ilma maandumata lennata, ja energiat jätkuks küllaldaselt.

See on fantastiline näide, kuid ta annab kujutluse sellest, et kui me õpime valitsema aatomituumades peidetud võimalusi, siis avab see Maakeral hoopis uue elujärgu. Tee selleni viib aatomituumade visa uurimise kaudu. Algu

uurimine, hiljem aga uute teadmiste omandamine ja kasutamine inimkonna tarbeiks¹.

Meie põhiline varustus aatomituuma uurimiseks on elektrilised ja elektromagnetilised seadmed. Aatomituuma mõjutamiseks, tema purustamiseks või muundamiseks on vajalikud tohutu energiaga osakeste voolud.

Prootonite või teiste tuumade voolusid energiaga 10—50 miljonit elektronvolti annavad nn. tsüklotronid — seadmed, kus laengukandjad, liikudes tugevates magnetväljades, saavad paljukordset kiirendust kõrgesageduse elektrivälja poolt. Tänapäeva tsüklotronide magnetid kaaluvad 100 kuni 5000 tonni, kõrgesagedusgeneraatorid aga tarvitavad sadu kilovatte elektrienergiat.

Elektrone ja mõnikord ka prootoneid energiaga kuni 5 miljonit elektronvolti tekitavad Van de Graaffi generaatorid (joonis lk. 15). Betatronideks nimetatavais masinasis omandavad elektronid energiat 20—100 miljonit elektronvolti, tiirelde suure, järjest kasvava tugevusega magnetväljas.

Niisugused on tänapäeva seadmed, mis tekitavad võimsaid elektrilaengute voolusid.

Teisest küljest teostub tuumaprotsesside uurimine peamiselt ka lugejate- (joonis lk. 10) sarnaste elektriseadmete abil, kus kiire osake või aatomituuma tükki, lennates läbi traadi ja silindri vahelise elektrivälja, tekitab elektrilise lahenduse nende vahel.

Tähtsaimad teaduslikud probleemid ja tähtsaimad tehnilised ülesanded lahendatakse üha sagedamini elektrilaen-

¹ Liitlaste poolt Jaapani linnadele heidetud aatomipommid näitavad selgesti, kui võrd tohutul, mitte millegagi võrreldaval hulgal eraldub energiat aatomituumade lagunemise ja muundamise protsesside puhul. Eesrindliku inimkonna teaduse ja tehnika ees seisab õilis ülesanne kasutada neid energiaallikaid inimese heaks.

gute ja elektrinähtuste abil. See protsess kestab ka tänapäeval, tõstes pidevalt elektri tähtsust.

Kuni viimaste aastateni võimaldas meile optiline mikroskoop uurida kõige väiksemaid esemeid ja viis paljale silmale nähtamatute pisikute maailma avastamisele. Mikroskoop lubab vaadelda asju, mille suurus on mõni sajatuhandik sentimeetrit, kuid mitte vähem.

Praegusel ajal avasid elektronide voolud elektronmikroskoobis meie ees esemete maailma, mille suurus on kuni kümnemiljondik sentimeetrit, tehes nähtavaks optilise mikroskoobi abil nähtamatud viirused — tavalistest pisikutest veel väiksemad olendid. Elektronmikroskoobi abil võib vaadelda isegi üksikuid suuri molekule.

Nii tungivad elektronid ja elektrilaengud kõigisse meie teaduse valdkondadesse, täiendades ja süvendades neid uurimisvahendeid, mida annavad optilised, mehhaanilised, soojus- ja helinähtused. Kuid ka neid nähtusi me tekitame tavaliselt elektri abil.

Sisukord.

	Lk.
I. Elektriliste nähtuste levik looduses ja elektrimeele puudumine	3
II. Elektrilaeng ja tema omadused	8
III. Elektron, positron ja neutron	32
IV. Elektrilised ja neutraalsed osakesed	56
V. Aatomituumade energia	41

1. trükk.

Vastutav toimetaja
A. Mitt.

Tehniline toimetaja
H. Seletus.

Ladumisele antud 14. III 47. Trükkimisele antud 16. V 47. Paberi kaust 56×79. Trükipoognaid 3. Autoripoognaid 1,44. Arvestuspoognaid 1,94. MB 03558. Laotihedus trpg. 32500. Tiraaz 5200. Trüki-koja tellimus nr. 231. Trükikoda „Noor-Eesti“, Tartu, Kastani 38.

Hind rbl. 2.—

А. Ф. Иоффе, Электрический заряд.

На эстонском языке.

Эгосиздат „Научная Литература“,
Тарту.

Rbl. 2.—

A-16558

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00497836 9