

NOVOVJEKI IZUMI

U NAUCI OBRTU I UMJETNOSTI

IZDAJE

MATICA HRVATSKA.

KNJIGA TREĆA.

SA 107 SLIKA U TEKSTU



ZAGREB

IZDALA „MATICA HRVATSKA“

1910.

NOVIJI ELEKTRIČNI POJAVI I IZUMI.

NAPISALI

Dr. OTON KUČERA, Dr. STANKO PLIVELIĆ
I JURAJ BOŽIČEVIĆ.

SA 107 SLIKA U TEKSTU



ZAGREB
TISAK DIONIČKE TISKARE
1910.

Predgovor.

Nakon duže stanke izlazi treća knjiga „Novovjekih izuma“, što ih je „Matica Hrvatska“ prije mnogo godina zasnovala kao posebnu seriju izdanja u svojoj poučnoj knjižnici. Odbor misli, da se odaziva živo osjećanoj potrebi članova, ako pored redovitih poučnih izdanja „Matice Hrvatske“ o različnim naukama proslijedi izdavanjem „Novovjekih izuma“, u kojima bi se u kraćim člancima prikazivale novije tekovine, navlastito iz prirodne nauke i njezinih primjena. Kako su sada primjene elektricitete u središtu nastojanja, pak se te primjene naglo razvijaju i šire, posvetila je „Matica Hrvatska“ ovu knjigu posve nekim novijim pojavima i izumima na području elektricitete među njima i jednomu izumu mladoga Hrvata. Prema sredstvima i odzivu zaredat će i drugi izumi, koji se u naše dane obilno javljaju u svim područjima

Odbor „Matice Hrvatske“.

I.

Atomi i elektroni.

1. Pristup. U čudnoj smo prilici spram prirodne sile, koju danas sav obrazovani svijet zna uz ime „elektřiciteta“. Još prije 150 godina bila je ona više učena igračka u rukama stručnjaka, nego li prirodna sila, korisna čovjeku. Pojave su električne — tada poznate — bile lijepe i tajanstvene, pak su poradi toga i veoma zanimale najodličnije vrste društva i naučnjaci su često morali sa svojim „elektřičnim strojevima“ izvoditi pokuse u finim salonima svjetske i crkvene aristokracije. Danas je odnošaj te sile spram čovjeka posve drukčiji. Cijelim nizom mučnih istraživanja izvedenih u prošlom 19. stoljeću raširilo se znanje o djelovanju električnosti i o električnim pojavama u tolikoj mjeri, da je u tom kratkom vremenu od učene igračke postala jedna od najkorisnijih prirodnih sila, a u kućanstvu prirode kao da će ju zapasti baš prvo mjesto. Ako naime najnovija istraživanja ne varaju, sva je priroda u vasioni — tek električnosti ! Ona je u tijesnoj svezi gotovo sa svima drugim prirodnim silama, sa svjetlošću, s toplinom, s kemijskim pojavama, pak danas na pr. fizičari i u svjetlosti gledaju — električnu pojavu !

No pored te važnosti za razumijevanje same prirode i vasiona stoji na drugoj strani danas i golemu primjena električnosti u praktičnom životu, tako golemu, da danas nema prava nazivati se općeno naobraženim čovjekom, koji nije dobrano upućen u osnovne pojave, zakone i primjene te sile, iz kojih je danas već sagrađena zaista ponosna zgrada moderne „elektrotehnike“. Po njoj su ušle u svakidani život nove riječi, novi pojmovi, gotovo toliko upotrebljavani, kao pojmovi „metar“, „kilogram“ i sl. Tko danas ne zna, što je električna struja i indukcija, što je „volt“, „amper“ ili „ohm“, što je „voltmetar“ ili „ampermetar“, taj je isto tako općeno ne naobražen, kao

čovjek, koji ne zna, što je „metar“ ili „kilogram“, što je „v a g a“ i kako se s njom radi. A što dalje idemo u dvadeseto stoljeće, to će važnije postajati za općenu obrazovanost dublje poznavanje električnih pojava i primjena.

Poradi toga možda ne će biti posve zališan posao, ako u ovoj knjizi pokušamo hrvatskoj inteligenciji pokazati i razjasniti neke novije električne pojave i izume općeno razumljivim jezikom bez osobitoga naučnoga aparata ali ipak strogo na osnovi naučnih istraživanja, kako su se žurno nizali jedan za drugim u ovo 18 godina, otkada su izišle u „Matici Hrvatskoj“ „C r t e o m a g n e t i z m u i e l e k t r i c i t e t u“ od O. K u č e r e (Zagreb. 1891. Str. 381 i 196 slika), na koje možemo i danas uputiti početnika u tom području.

Spomenuto se neobično brzo i upravo sjajno razvijanje našega znanja o električnim pojavama i njihovoj primjeni zapravo započinje istom godinom, kao i velika francuska revolucija, godinom 1789. Te je godine naime Talijan profesor G a l v a n i u Bologni izveo na osnovi otkrića svoje žene — ako se smije vjerovati pričanju — svoj glasoviti pokus sa žabjim krakovima.¹ U kemijskim smo procesima time našli novi, veoma jaki izvor elektricitete, koji je i naše znanje o njoj u velike raširio, a otkrivši nove električne pojave, navlastito „e l e k t r i č n u s t r u j u“ i njezine preznamenite učinke. Od toga se doba nauk o elektriciteti neprekidno i upravo sjajno razvija, pak osvaja svaki dan nova područja u teoriji spoznaje prirodne i u primjeni na praktični život. Tu se niže cijela četa sjajnih imena, oštroumnih mislilaca i još vještijih eksperimentatora, koji su velik ures devetnaestomu stoljeću. Među njima sja na prvom mjestu genijalni Englez F a r a d a y,² koji se je od knjigoveškoga šegrtu bez škola dovinuo do osnivača i glavnoga graditelja današnje ponosne zgrade o elektriciteti i elektrotehnici. Zgradu je pored muževa, kao što su A m p è r e, O h m, W e b e r, J o u l e, M a x w e l l, H e l m h o l t z, S t e f a n i drugih u posljednjem desetgodištu 19. stoljeća znatno podigao Nijemac H e i n r i c h H e r t z, profesor fizike u sveučilištu u Bonnu, makar da je mlad umro.

¹ Isporedi: Kučera, Crt e o magn. i elektr. Str. 142 i 143.

² Sl. 81. u »Crtama« na strani 159.

Tekovine ovih muževa znali su za praktični život upotrijebiti genijalni ljudi kao što su Siemens, Edison, Bell, Marconi i drugi, pak se eno pred očima sadanje generacije ljudske rodila i do zamjerne visine podigla posve nova nauka „elektrotehnika“.

Pored svega sjaja tih imena i njihovih sjajnih djela na području elektricitete, ipak smo danas u čudnoj prilici spram elektricitete. Na jednostavno pitanje: pa što je ta svemoćna prirodna sila, kojoj dajemo ime „elektriciteta“? nauka sve do naših dana ne zna pouzdana odgovora! Mi joj pručismo pojave i zakone do zamjerne dubljine, mi danas te pojave i zakone u velike primjenjujemo, ali mi danas još ne znamo: što je elektriciteta!

Mnogo se o tom pitanju raspravljalo u posljednja dva stoljeća: jedno se mišljenje za drugim javljalo, ali ni jedno se nije održalo: napredovanjem se nauke svagda pokazalo, da nije ispravno. Najoštrije su se glave više od 100 godina trudile, da unesu svjetlosti u to osnovno pitanje. Uzalud! Tek su naši dani iznijeli mišljenje, za koje se čini, da će nam razmjerno jednostavno i bez protivurječja cio niz električnih pojava rastumačiti: To je glasovita „teorija elektrona“, koju ćemo i našim čitateljicama i čitateljima kušati da iznesemo u glavnim crtama i u pristalu ruhu.

2. Što je elektriciteta? Osnovni pojavi. Osvrnimo se u tu svrhu na neke poznate osnovne pojave električne. Kad se jantar (grčki: „elektron“) tare suknom, dobiva on svojstvo, da privlači laka tjelešca. Jantar je trenjem očito primio neobično stanje, makar da se to na njem ni po čemu ne pozna; to osobito stanje njegovo zovemo „električno stanje“. Jantar je postao „električan“ i to trenjem. I druga tjelesa postaju trenjem električna: staklo, pečatni vosak, kaučuk, ebonit i dr. Odaje se to time, da laka tjelešca lete k njima, ali ne ostaju na njima, nego za čas opet od njih odlete. To je „električno stanje“ jantara i spomenutih tjelesa tim obilježeno, da u njihovoj okolini djeluju neke privlačne i odbojne sile, kojih prije trenja ondje nije bilo. — Bit će i to poznato, da postoje dva električna stanja suprotne naravi, koje u govoru razlikujemo kao „pozitivno“ i „ne-

gativno" električno stanje. Staklen štap, trven suknom, postaje pozitivno električan, a štap od pečatnoga voska ili tvrdoga kaučuka (ebonita), trven krznom, negativno električan. — Znamo dalje i to, da se dva tijela, koja imaju pozitivne naboje, odbijaju, a i dva tijela s negativnim nabojima, dok se opet pozitivno nabito tijelo s negativno nabitim privlači. Ta se činjenica kraće običava ovako reći: „Istomimeno se elektrizirana tjelesa odbijaju, raznoimeno elektrizirana se privlače”.

Riječ je „elektriziran” ovdje naučna kratica za prije opisanu činjenicu, da su tjelesa trenjem ušla u ono osobito stanje, u kojem se odaju oko njih one karakteristične privlačne i odbojne sile. Mjesto „elektrizirano tijelo” nauka često veli, da je tijelo dobilo „električan naboj” pozitivan ili negativan, ili da je „pozitivno ili negativno nabito elektricitetom” ili napokon: tijelo je „pozitivno ili negativno električno”.

Kod nebrojenih pokusa o elektriziranju tjelesa s pomoću trenja osobito udara u oči ova činjenica: ako kod trenja dviju tjelesa jedno od njih dobije električan naboj, dobiva ga i drugo; no oba su naboja svagda suprotne vrste. Staklo na pr. prima kod trenja sa suknom pozitivan naboj, a sukno svagda negativan; ebonit prima kod trenja krznom negativan naboj, krzno svagda pozitivan.

Ta je pojava dovela do mišljenja, da su pozitivni i negativni električni naboji već i prije trenja bili u tjelesima, ali su se nekako izjednačili, a trenjem su se tek rastavili jedan od drugoga. Iz toga se razvila poznata hipoteza „električnih tekućina ili fluida”, koja se dosta dugo držala, ali se nije mogla održati, jer je s drugim pojavama bila u protivurječju. Za tu činjenicu, da oba tijela kod trenja primaju suprotne naboje, načiniše si stručnjaci u razumu ovu „sliku”: elektricitete su dvije vanredno tanke tekućine, koje su suprotne naravi (kao brojevi $+3$ i -3); obih je u svakom prirodnom tijelu u jednakoj množini, pak se međusobno u svom djelovanju na tjelesa u svojoj okolini uništavaju (neutralizuju) baš kao što je na pr. $(+3) + (-3) = 0$. Trenjem se

nekako razluče bar djelomice, pak se jedna sjedne na trvenu tijelu, a druga se u istoj množini sabere u tarivu.

Ali su veoma čudne te „tekućine“ električne ! Staklo, pečat, kaučuk, papir, ebonit i t. d. postaju trenjem l a k o i j a k o električni, ali samo na onom mjestu, gdje ih tareš, i ostaju na tom mjestu dosta dugo u električnom stanju. Posve su drukčije spram elektricitete k o v i n e, mnoge tekućine, vlažno drvo, zemlja, čovjekovo tijelo. Držiš li mjeden štap u r u c i, pa ga tareš ma kako jako, na njem ni traga električnomu naboju ! Što je to ? Zar u njemu nema električnih fluida ? O, ima, ima ! I mjedeni je štap trenjem primio električno stanje, no to se je stanje u tili čas raširilo po čitavom štapu, a kad ga držiš u ruci, prijedje i u nju, a preko nje u Zemlju ; tim se je električno stanje raširilo po tolikoj plohi, da ga na pojedinim mjestima ne možeš ni po čemu da osjetiš : e l e k t r i c i t e t a o d v e d e n a j e u Z e m l j u. Ako dakle hoćeš, da ti mjedeni štap ostane u električnom stanju, treba da ga natakneš na staklen držak, da ga objesiš na svilenu koncu, treba da ga „i z o l i r a š“.

Izbija dakle znatna razlika izmedju prirodnih tjelesa spram elektricitete : Staklo, krzno, pečat, suh papir i t. d. su „i z o l a t o r i“, jer električan naboj čuvaju, izoliraju, kad se je na njima pojavio. Kovine su pak „v o d i č i“ ili „k o n d u k t o r i“ elektricitete, jer elektricitetu s mjesta dalje vode i predaju drugim konduktorima, navlastito Zemlji. Poradi toga ne možeš na „konduktoru“ ni na koji način izvesti električnoga naboja, ako on nije „i z o l i r a n“. No čim je izoliran, možeš i njega veoma lako prenijeti u električno stanje ili trenjem ili pače već dodiro m s električnim tijelom na pr. električnim staklenim štapom.

Izučavajmo časak električan naboj na takovu „izoliranu vodiču“ ili „i z o l i r a n u k o n d u k t o r u“ !

Taknimo se na pr. izolirana konduktora pozitivno (+) električnim staklenim štapom. On prima pozitivne elektricitete, ali ta ne ostaje na onom mjestu, nego se u tren oka razastrla po čitavu vodiču : s v a g d j e se oko njega javljaju one privlačne i odbojne sile ! Ponoviš li to prenošenje pozitivne elektricitete sa stakla na izolirani vodič n e k o l i k o puta, privlačne su i odbojne sile svagdje u njegovoj okolini sve t o j a č e ; u slici našoj

govorimo: elektriciteta se s mjesta razlila po čitavu vodiču i njegov naboj postaje sve veći ili on je sve jače „nabit“. Govoreći dalje u odabranoj slici o električnoj tekućini, smijemo reći, da se je na njem skupljala sve veća „množina elektricitete“ ili sve veći „električni naboj“. Duševna nas slika o električnoj tekućini nekako sama zavodi na taj govor, premda moramo priznati, da je to samo slika u govoru i ništa više! Ta mi vidimo samo, da naš konduktor u svojoj okolini izvršuje neke privlačne i odbojne sile, čas jače, čas slabije — i ništa više! Tek po „jačini“ tih sila zaključujemo na tobožnju „množinu elektricitete“ na njem. Kad naime vidimo, da dva jednaka električna tijela na istu kuglicu bazgine srčike izvršuju jednake privlačne sile, velimo, da su na tim tjelesima jednake „množine elektricitete“. Ako je ta privlačna sila tri put jača, govorimo o trostrukoj „množini elektricitete“ na tom tijelu. Mi možemo dakle te nevidjene množine elektricitete, nabrane na kojem tijelu, čak i mjeriti! No o tom kasnije.

Proučavajmo još dalje električni naboj, koji prenesemo na izoliran konduktor! Na jednom ga mjestu taknemo električnim tijelom. U tren oka u čitavoj okolini oko njega opažamo privlačnu silu, dakle se je naboj po čitavom tijelu razdjelio, moralo je dakle biti nekakvo pomicanje elektricitete, nekakvo gibanje elektricitete po tijelu, dok se je napokon razmjestila i „primirila“ ili „u neku ravnotežu“ dospjela. Pa kako se je razmjestila? Je li naboj ispunio čitavo tijelo kao na pr. voda spužvu ili se je razmjestio samo po njegovoj površini? Faraday je velikim pokusom dokazao: kad se je elektriciteta na vodiču primirila, ona je samo na njegovoj površini. Nutrinja je tijela posve neelektrična!

Čudna tekućina, zar ne? Podsjeća nekako na ulje na vodi! Sto je taj čudni „električni naboj“?

3. Atomistična razmatranja o materiji. Nakon mnogih kolebanja u naše je dane prodrlo mišljenje, da su obje elektricitete zaista dvije tanke osobite tvari. Kemija nam kaže, da ima oko 80 različitih tvari, od kojih su gradjena

prirodna tjelesa, to su „kemijski elementi“, na pr. kisik, vodik, dušik, bakar, zlato, željezo i t. d.

Uzmimo komad bakrene žice u ruku. Kliještima ju lako razrežemo u dva komada : tvar ili materija žice je „djeljiva“. Svaki komad možemo ponovno razdijeliti i sve manje komadiće bakra dobiti. Kovanjem ju napokon možemo toliko razdijeliti, da od jednoga kubičnog milimetra (!) bakra dobijemo tanku bakrenu kožicu od 10000 kvadratnih milimetara (od prilike kao dlan ruke). No ta je kožica još uvijek suvisla ! Kod ovoga se mehaničnoga dijeljenja bakra ništa ne mijenja o b u j a m bakra, dakle po laku računu ona tanka bakrena kožica ne može da ima veću debljinu od $1/10000$ milimetra (!), pa ipak je svaka drobnica te kožice, na pr. kockica sa stranicom od $1/10000$ milimetra još uvijek b a k a r. Ta je kockica već tako malena, da je baš na granici, do koje vidimo oblike česticâ u mikroskopu. Iz te činjenice izlazi, da se materija dađe dijeliti, ona je djeljiva, naš komad bakra nije jedna neprekidna cjelina, nego je „hrpa, složena od manjih istovrsnih drobnicâ“, koje se mogu rastaviti jedna od druge : materija ima „zrnatu strukturu“.

Iz gore spomenute su činjenice prije izvodili, da su tjelesa uopće djeljiva u neizmjernost t. j. tako daleko, dokle sežu tehnička sredstva za dijeljenje materije. Kasnija će pokoljenja, mislilo se, s pomoću savršenijih tehničkih sredstava moći svaku materiju neograničeno sve dalje i dalje dijeliti.

To je mišljenje neosnovano. Današnja nauka raspolaže obiljem savršenih tehničkih sredstava, pak se pokazuje, da djeljivost materije ima granicu : ponovnim dijeljenjem drobnica dolazimo do česticâ, koje više ne p o k a z u j u svojstava one materije, iz koje su postale dijeljenjem. Komad našega bakra isporedit ćemo dakle zgodno s pećinom pješčenjaka, koja nam kao cjelina pokazuje druga fizikalna svojstva, nego pojedina od nebrojenih zrnaca pijeska, od kojih je sagradjena. I tekućine se mogu daleko dijeliti. Kaplja ulja od uljike u tren se oka na površini vode razdijeli u tanku okruglu kožicu, koja se napokon raskine u krpe. Kako je debela kožica u tom času ? S o h n c k e je išao mjeriti, pak je našao, da je 1 milimetar daleko prevelika mjera za take debljine. Nauka je poradi toga

uvela manje jedinice: jednu tisućinu milimetra ($1/1000 = 0.001$ mm) zove ona „1 mikron“ i bilježi znakom 1μ . Kolišan li je taj mikron, možda ćeš ovako uočiti: uzmi metrički štapa razdijeljen sav u milimetre, pak pomisli, da se on stisne na dužinu 1 milimetra; on je sada razdijeljen u „mikrone“. No i mikron je u ovim područjima fizike prevelika jedinica, pak su i njega razdijelili na 1000 jednakih česti i tako dobili jednu milijuntinu milimetra ($= 1/1,000.000 = 0.000001 = 10^{-6}$ mm). Zovu tu dužinu „1 milimikron“ i bilježe znakom „ $1 \mu\mu$ “. Dakle je:

$$1 \text{ mm} = 1000 \mu = 1,000.000 \mu\mu$$

$$1 \mu = 1000 \mu\mu.$$

U mikroskopu vidimo još tjelešca, ako su im dužina, širina i debljina bar 200 milimikrona ili 0.2 mikrona ($200 \mu\mu = 0.2 \mu$). Ako su manja, ili se ne vide jasno ili se uopće ne vide.

Gore spomenuta je kožica ulja po Sohnekeovu mjerenju u času, kada se raskine u krpe, debela 100 milimikrona ili 0.1μ mikrona ($100 \mu\mu = 0.1 \mu$). Do te se tančine može kovati zlato i neke druge kovine.

No ni ona mjesta, gdje se kožica ulja na oko raskinula, nisu bez ulja! Mi doduše tamo ulja ne vidimo, ali ga ipak ima i ondje na površini vode, voda je pače i ondje još pokriva suvislom kožicom ulja! To je dokazao Lord Raleigh, bacivši komadiće kamfora na tu nevidljivu vrstu ulja. Drobnice se kamfora na čistoj vodi vrte i plivaju tamo i amo, na ulju nema toga gibanja. I Röntgen i Oberbeck izvodili su slične pokuse s takim nevidljivim kožicama ulja na vodi i našli, da su radili s kožicama debelima jedva 20 milimikrona ($= 20 \mu\mu$). Uspjelo je pače Röntgenu, da dodje do debljine od 0.5 milimikrona, a Oberbecku do 0.3 milimikrona; kod te debljine kožica već ne će da ostane suvisla, uzimamo, da se je ulje napokon razdijelilo na „nesuvisla“ zrnca, koja slobodno plivaju po vodi.

Svi znamo mjehure od sapunice i njihove prekrasne boje. Po bojama su mogli odrediti debljinu vidljive sapunice, po električnom otporu nevidljive i evo rezultata: najtanja vidljiva kožica debela je $100 \mu\mu$, najdeblja nevidljiva $10 \mu\mu$.

* čitaj „deset na minus šestu“.

U najnovije doba umiju i od kovinâ načiniti vanredno tanke vrste, kojima prevlače druge kovine. To se radi s pomoću električne struje. O b e r b e c k je tako prevlačio platinu s cinkom, kadmijem i bakrom. Dok je kovna kožica debela nekoliko milimikrona, ona se ponaša spram struje kao masivan komad te kovine ; no čim joj je debljina mnogo manja od 1 milimikrona, gubi kožica svojstva masivnoga komada : kao da iz nje svagdje proviruje platina. Kod cinka se to već dogodilo kod debljine kožice od 2.5 milimikrona, kod kadmija 1.7 μ , a kod bakra 0.7 μ . Kožice se kod tih debljina raspadaju u nesuvisle drobnice.

Iz svih tih pokusa izlazi : materija, razdijeljena do skrajnje tančine, nije više jednaka po svojstvima, s većim komadima te materije. Izvodimo zaključak : materija je zrnate strukture, a zrcima, iz kojih je komad sagradjen, dajemo ime „m o l e k u l i”.

I čvrsta tjelesa i tekućine i uzdušnine (plinovi i pare) tek su goleme hrpe takvih zrnaca ili molekula. U čvrstim se tjelesima molekuli posebnim silama drže još čvrsto na okupu, ali se nigda međusobno ne dotiču ; tako su vezani tim silama, da mogu tamo i amo nešto titrati na svojim mjestima, ali se ne mogu među sobom pomicati, niti se može jedan provlačiti među drugima. Baš nekako kao sa zrcima pješčenjaka. Kod tekućina su ti molekuli mnogo više pomični, kao na pr. zrnca u hrpi pijeska ; no ipak ih unutrašnje sile drže toliko na okupu, da imaju svagda oštro ograničenu površinu. — P l i n je napokon tijelo, u kojem molekuli, daleko jedan od drugoga, lete jedni između drugih, od prilike kao drobnice u oblaku prašine. Tu već nema nikakvih unutrašnjih sila, koje bi ih držale na okupu. Kada je pred nama litrena boca začepljena čepom i na oko prazna, ona u istinu nije prazna. Duševno oko u njoj gleda hrpu molekula „u z d u h a”, onoga plina, koji je bitan uvjet našega života. Premda mi ne vidimo plina, a još manje njegovih pojedinih molekula, duševnim okom svojim gledamo čudnu vrevu u toj hrpi uzdušnih molekula : kao pčele u roju bježe tamo i amo, jedni između drugih, često se međusobno srazuju i onda bježe dalje u novim smjerovima i ta se igra neprekidno ponavlja ; označujemo ju u nauci imenom „m o l e k u l a r n a

nepravilna gibanja". Ne bismo ni slutili, kolika je brzina tih gibanja u plinovima! Evo nekoliko brojeva: Kod 0°C je brzina:

Vodikovih molekula . . .	1844	metara u sekundi
Kisikovih . . .	461	" " "
Dušikovih . . .	492	" " "

Uopće dakle bježe ti molekuli s brzinama tanetâ iz naših modernih topova. Je li onda čudo, da su učinci uzdušnoga tlaka tako silni? No molekuli ne mogu da lete s tim golemim brzinama daleko. U litrenoj ih je boci toliko, da su blizu jedan drugomu, pak će nakon kratkoga puta udarati jedan o drugi i skretati na drugu stazu: srednja je dužina puta u uzdušnih molekula svakako veoma malena. Pak i nju su ti fizičari iz difuzije plinova, iz prelaženja topline u njima, pak napokon iz trenja njihova mogli odrediti. Kod 20°C i uzdušnoga tlaka od 760 mm (tlak 1 atmosfere), srednja je dužina puta kod molekulâ:

Kisika	105.9	milimikrona ($\mu\mu$)
Dušika	98.9	"
Ugljične kiseline . . .	68.0	"
Klora	47.4	"
Vodika	185.3	"

Ti su svi slobodni putovi dakle veličine i s p o d granice vidljivosti u mikroskopu (submikroskopične veličine).

Još nas zanima jedno pitanje: koliki su ti molekuli i koliko je molekula na pr. u 1 kubičnom centimetru uzduha? Kako su molekuli neizmjereno maleni, jasno je, da ih nitko nije mogao brojiti, no iz činjenice, da se svaki plin u studeni pretvori u tekućinu i napokon u čvrsto tijelo, pri čem se molekuli međusobno toliko približe, da se tvar dalje jedva nešto malo daje zgušćivati, mogli su uz smišljaj, da su molekuli kuglice, računom odrediti, da je na pr. p r e m j e r jednoga uzdušnoga molekula od prilike = 0.3 milimikrona.

Ako s tim brojem isporavimo srednji put molekulâ u gore spomenutim plinovima, razbirmo zanimljivu činjenicu, da je dužina njihovih putova još uvijek v e o m a v e l i k a spram njihove veličine: u uzduhu je na pr. put molekula gotovo 300

puta veći od njegova promjera ! Kad bismo dakle molekuli uzduha nacrtali kao kuglicu s promjerom od 1 mm našli bismo poprijeko tek 30 cm daleko od njega susjedni molekul, o koji on može udariti na svom putu !

I o broju molekula u određenom prostoru nam nauka zna nešto reći. Iz različitih su ga pojava mogli približno odrediti. U počast mužu, koji si je u tom području stekao osobitih zasluga i prvi izračunao broj molekula uzduha u 1 kubičnom centimetru, taj se broj zove „*Loschmidtov broj*“. Taj je broj golem : $N = 20 \cdot 10^{18}$ t. j. u 1 kubičnom centimetru ima kod temperature od 0°C i uzdušnoga tlaka od 760 mm ništa manje nego 20 trilijuna uzdušnih molekula !¹

Taj je broj samo približan ; može ih biti u 1 cm^3 i dva puta toliko, a možda i polovina, no svakako ih je na trilijune u svakom kubičnom centimetru (t. j. u kockici, kojoj je svaki brid dugačak 1 cm).

Neponjatni su to za nas brojevi. Kako bismo ih možda lakše pojмили, uzmimo, da imamo u zatvorenoj posudi 2 grama vodika, pak da ga ispuštamo iz nje tolikom brzinom, da u svakoj sekundi izlazi 1 milijun molekula. U 2 grama vodika ima prema računu *Planckovu* $6.175 \cdot 10^{23}$ molekula (gotovo 1 kvadrilijun). Godina ima 31.536.000 sekundi ili okruglo $315 \cdot 10^5$ sekundi. Treba dakle punih 20.000 milijuna godina, dok bi svi molekuli od 2 grama vodika iz spomenutoga suda izašli !

Čudna nam se slika razvija na pr. o jednom kubičnom metru uzduha ! U njem neprestano lete na sve strane velikom brzinom presićušni molekuli, koji su razmjerno daleko jedan od drugoga. Prostor, što ga oni zapremaju (1 m^3), veoma je dakle velik spram ukupnoga njihovoga obujma, on je za uzduh od prilike 2000 puta veći od obujma svih molekularnih kuglica zajedno, pak bi taj kubični metar uzduha, dosta ohladjen, dao jedva p o l i t r e tekućega uzduha.

S pomoću uzdušne sisaljke umijemo uzduh u zatvorenim posudama rastanjiti. S najsavršenijim sisaljka (na pr. za Röntgenove cijevi) možemo ga toliko rastanjiti, da mu je tlak mjesto običnih 760 mm žive jednak samo 1/1000 milimetra,

¹ $2 \cdot 10^{18}$ t. j. dva puta deset na osamnajstu potenciju
 $= 20,000000,000000,000000$ — 20 trilijuna

dakle ga možemo rastanjiti okruglo na 1 milijuntinu predjašnjega tlaka. Od 20 trilijuna molekula u svakom kubičnom centimetru ostalo je još uvijek u posudi njih 20 bilijuna. Kad bismo sada taj uzduh ohladjivanjem pretvorili u tekući uzduh, dobili bismo samo po kubičnog milimetra tekućega uzduha mjesto predjašnje po litre. Obujam, što ga sada zapremaju svi molekuli uzduha, zaista je do iščezavanja malen spram prostora od 1 cm^3 , pak se opravdano može govoriti o „praznom“ prostoru, makar da je u njemu još mnogo uzdušnih molekula. Kad je uzduh toliko rastanjen, jasno je, da su i slobodni putovi njegovih molekula mnogo veći: oni mogu doseći do nekoliko centimetara, a to je spram veličine molekula (0.3 milimikrona) zaista neizmjereno velik put!

Ako uzmemo broj od $20 \cdot 10^{18}$ (20 trilijuna) molekula u svakom kubičnom centimetru za osnovu, možemo odgovoriti i na pitanje, koliko je molekula u 1 kubičnom centimetru (1 cm^3) vode? Kada uz običan tlak isparimo 1 kubični centimetar vode, zna se, kolik bi bio obujam te vodene pare. Izlazi: u 1 cm^3 vode ima $25000 \cdot 10^{18}$ ($= 25$ hiljada trilijuna) molekula. Kad bismo dakle kocku vode od 1 cm stranice razdijelili na 20 trilijuna malih kockica, u svakoj bi stajao po 1 molekul vode. Brid bi take male kockice bio dugačak 0.3 milimikrona (0.3μ). Za veličinu toga molekula evo još jedne ispodredbe. Uzmimo malu jabuku. Veličina jednog molekula vode stoji spram veličine te jabuke kao jabuka spram zemaljske kugle. Kad bi sada ta jabuka narasla toliko, da bude velika kao Zemlja, svaki bi molekul bio narasao do veličine jabuke!

Mogu li se pojedini molekuli vidjeti?

Nauka današnja odgovara na osnovi istraživanja o ogibu svjetlosti: nema ni trunke nade, da bismo ikada mogli direktno vidjeti oblik i strukturu pojedinih molekula. Uzrok je tomu u valovitoj naravi svjetlosti. No kao što nam se zvijezde nekretnice (sunca) usprkos neizmjernim daljinama od nas odaju na noćnom nebu kao svijetle točke, pa i u najjačem durbinu, bez ikakva oblika i strukture, tako bi nam se možda i pojedini molekuli mogli odati u mikroskopu kao svijetle točkice bez oblika i strukture, kad bismo ih umjeli zgodno i dosta snažno sa strane rasvijetliti.

I zaista su nedavno (1902.) Siedentopf i Zsigmondy u rubinskom staklu i rastopini koloidalnoga zlata opazili vanredno sitne čestice, koje, žestoko osvijetljene, zasjaše kao male zvijezdice u inače mutnom sredstvu. U mutnim tekućinama pače vidješe, gdje se te zvijezdice živo roje! Izbrojiše, koliko ih dolazi na svaki kubični centimetar mutne tvari i nadjoše napokon, da prašci zlata, koji rubinskom staklu daju njegovu krasnu boju, imaju premjer od 10 do 20 milinikrona ($\mu\mu$).

Svaka se dakle tvar, ako je zaista sagrađena od najmanjih čestica, može uzeti za „mutno sredstvo“. Ako i nije mutno tijelo poput oblaka ili ilovače, svakako je mutno tijelo poput spomenutih koloidalnih rastopina. Mogli bismo se dakle nadati, da će nam i molekuli u dosta jakoj svjetlosti zasjati kao drobnice u mutnim sredstvima, pak da ćemo ih po metodi Siedentopfa i Zsigmondyja opaziti bar kao svijetle točkice. No i ta nada iščezava. I u najrastranjenijim plinovima, kaki su na pr. u Rontgenovim cijevima, još su molekuli pregusto jedni uz druge, da bismo ih u mikroskopu mogli rastaviti! U najboljem bismo dakle slučaju mogli na taj način vidjeti „kumovsku slamu“ složenu od pojedinih molekula, a ne pojedine zvijezdice. Kao što u nebeskoj kumovskoj slami pojedinih zvijezda ne vidimo, nego tek, kada u njoj iznenada koja nova zvijezda bljesne i opet ugasne, tako bismo možda mogli u molekularnoj kumovskoj slami, gdje kada opaziti koji molekul, kad bi on radi osobitih kemijskih procesa iznenada i jako zasjao u nepreglednom roju svojih drugova.

4. Atomi materije. Jesu li molekuli najmanje drobnice, od kojih je sagrađena materija? Slika, da su molekuli kao pojedina zrnca u pješčenjaku nije posve ispravna; dublja opažanja pokazaše, da ova jednostavna slika o molekulima u zbilji nije ispunjena: molekuli sami nisu jedna cjelina, nego su razdijeljeni u više među sobom pomičnih dijelova. To je navlastito pokazalo izučavanje kemijskih pojava. U jednom gazometru imamo kisika, u drugom vodik. Oba plina puštam u mjedenu cijev, u „žičak“. Oni se u njoj pomiješaju i iz žička izlazi smjesa, a ne kemijski jedinstveno tijelo. Kad bih naime smjesu jako ohladio, kisik bi se zgusnuo u tekućinu, a vodik bi ostao plin. No ako smjesu užgem, ona

(„praskava c'") se zapali i iz žiška šiba modrikast plamen. Kad bismo sabrali plin, koji iz plamena izlazi, prepoznali bismo ga kao čistu vodenu paru. Kisika je i vodika **n e s t a l o** posve uništeni su, a postala je **n o v a** tvar, koje prije nije bilo: vodena para, i ta se kod ohladjivanja zgusne u pravu pravcatu čistu vodu, destiliranu na pr. iz humarske vode.

Obrnuto možemo ovu vodu, na pr. s pomoću električne struje, natrag rastvoriti u kisik i vodik. Kod tih se kemijskih pretvorbi težine tvari, koje u nje ulaze, **n e m i j e n j a j u**. Dok se voda dala rascijepati u kisik i vodik, ovi se ne daju dalje rastaviti ni na koji na čin u više drugih tvari. Kisik su i vodik „kemijski elementi", a voda nije element, ali voda je ipak kemijski **j e d i n s t v e n o** tijelo, sagradjeno od molekula posve iste vrste (molekula vode). Razbiramo dakle, da se kod tih kemijskih pojava molekuli sami pretvaraju. Molekul se vode „rascijepa" u molekule kisika i vodika, a obrnuto ovi se „s la ž u" ili „s p a j a j u" u molekule vode. Kod kemijskih se promjena dakle uopće molekuli tvari, koje ulaze u kemijski proces, najprije raskinu u više dijelova, a ovi se onda u novim raznještajima spajaju u nove molekule. Studij ovih pojava s pomoću vage iznio je ovu vanredno zanimljivu činjenicu: u svakom su molekulu kemijskoga spoja posve **o d r e d j e n e** množine (kvanta) onih elemenata, iz kojih je molekul sagradjen, i te se množine elemenata mogu u drugom kemijskom procesu opet od molekula odcijepiti. Pače: množina (kvantum) elementa, koja ulazi u spoj, **s v a g d a** je cijeli mnogokratnik neke **n a j m a n j e** množine toga elementa, a ta se najmanja njegova množina ne da niti kemijskim procesima dalje cijepati u manje komadiće. Tomu najmanjemu kvantumu dajemo ime „a t o m". Molekul je dakle sam tijelo, sagradjeno od više atoma. U kemijskih spojeva (na pr. u vodi) taj je molekul složen od raznovrsnih atoma (atoma kisika i atoma vodika), u kemijskih je elemenata pak složen od **i s t o v r s n i h** atoma, ponajviše njih 2.

Kako se ti atomi slažu u molekule, o tom nam kemijske pojave ne mogu ništa da kazuju. Najjednostavnija bi slika bila, da su atomi tjelešca, koja i kod kemijskih pretvorbi ostaju posve **n e p r o m i j e n j e n a**, pak se naprosto slažu jedan

uz drugi i nekako slijepe u molekul. Ima sva sila pojava, koji nas na to upućuju, da je ova naša slika o gradnji molekula prava, pak ju poradi toga gotovo općeno prihvatite u nauci.

Molekul plina, na pr. vodika, uzduha, kisika, ne može dakle po tom da bude jednostavna elastična kuglica, kao loptica od gumije, nego mora da je kao tjelešce, složeno od nekoliko medju sobom svezanih člančića, kao na pr. člančići lanca, koji se manje ili više mogu jedan spram drugoga pomicati. Nešto sličnoga imamo u vasioni. Sunce sa svim svojim planetima čini u svemiru jednu jedinicu — sunčani sustav — i ta cjelina, svezana silom gravitacijom, juri kroz svemir ne znamo kuda. No taj je sustav složen od više članova, medju sobom i sa Suncem doduše svezanih, ali se oni ipak medjusobno mogu razmicati i razmještati. I molekul je dakle u neku ruku takav „sunčani sustav“ u mikrokozmu, a materijalno je tijelo hrpa nebrojenih takvih sunčanih sustava.

No kao što će u vasioni biti sunaca bez planeta, tako i medju molekulima ima samaca, ima medju plinovima i „jednoatomnih molekula“. To su navlastito p a r e do sada ispitanih kovina : živina para, para cinka, para kadmija ; kod živine se pare dakle podudara naša slika, da je molekul kao glatka elastična kugla (na pr. biljara), s iskustvom. U najnovije su doba otkrili još nekoliko takvih plinova — elemenata ; to su „drag i p l i n o v i“ ili „i n a k t i v n i e l e m e n t i“. Najbolje poznamo od njih : h e l i j i a r g o n.

No i „atomi“ se dubljemu istraživanju ne odaju kao jednostavne elastične kuglice. Ima pojava svjetlosti, navlastito spektra atoma, koji kazuju, da je i atom tvorba osebujna — kakova, to nam je danas još posve zagonetka. Studij će njihovih spektara možda donijeti točnijih podataka o njihovoj biti.

5. Svemirski eter. Ako je materija zaista zrnate gradje, ako su dakle molekuli njezini zaista svagda rastavljeni jedan od drugoga, ako su pače i atomi jednoga molekula medju sobom rastavljeni, prirodno je pitanje : a što je u prostoru i z m e d j u pojedinih molekula tijela, koji je spram njihove veličine (kako prije vidjesmo) dosta velik ? Što je u prostoru izmedju pojedinih atoma u samom molekulu ? Što je napokon u prostoru, iz kojega smo uklonili umjetnim načinom, na pr.

uzdušnom sisaljkom, svu ili gotovo svu materiju? Pa mi znamo i to, da između pojedinih nebeskih tjelesa nema obične materije, jer bi se ona morala, makar kako tanka bila, očito-vati u njihovu gibanju. Što je u tim golemim prostorima?

Ako se izvuče iz posude sav uzduh ili bar gotovo sav, ka-žemo: taj je prostor „p r a z a n” ili on je „v a k u u m” (prazan prostor, praznina). Tomu izrazu nema ni prigovora, ako mi-slimo na uzduh, koji je prije u njem bio. No on ne kazuje s v e- Mi govorimo o „fizičkom tijelu” ili „tvarnom tijelu” svagdje, gdje opazimo, da „nešto” izvodi osjećanje bilo koje vrsti. Na pr. taknem se rukom stola; osjećam otpor, glatčinu ili hra-pavost, toplo ili hladno; ako ruku brzo gibam, č u j e m zvuk, pa kad napokon okom svrnem na ono mjesto, preda mnom je i slika stola. Sve te osjećaje kratko izrazujem riječima: preda mnom je „ploča stola”, tu je „materijalno tijelo” različno od svoje okoline. U nekoj je opreci spram toga „pro- st o r n o ili g e o m e t r i j s k o t i j e l o”. Kod ove riječi ne mislim, na pr. kod naše ploče stola, na spomenuta osjećanja, što ih ploča budi u nama preko naših osjetila, nego samo na njegov obujam i veličinu njegove površine, uopće na njegova g e o m e t r i j s k a svojstva. „Tvar” i „geometrijsko tijelo” tek su oznake iste stvari s različenoga stajališta. Termometar, pri-slونjen o kakvo tijelo, diže se, ali ja neću reći, da držim termo-metar prislونjen o „vrući geometrijski prostor”, nego o „tvar” ili „t v a r n o t i j e l o”.

No uzmimo sada, da smo s pomoću uzdušne sisaljke zaista iz staklene posude (recipijenta) izvukli sav uzduh, svu „ma-teriju”. U posudi je po našem govoru „v a k u u m”. No ako u taj vakuum namjestimo termometar i fotografičnu ploču, pak u nj pošaljemo zraku svjetlosti, termometar će se s mjesta dizati, a fotografička će ploča pocrniti. Bi li bilo logično reći: termometar se je ugrijao u dotiku s „geometrijskim prostorom” ili fotografična je ploča pocrnjela djelovanjem „geometrijskoga prostora” na nju? To je nesmisao! Budući da i vakuum u od-redjenim prilikama izvodi f i z i k a l n e učinke, mi i njemu mo-ramo dati ime „tvar”: i u vakuumu je dakle nekakva „t v a r”. Dajemo joj ime, za razliku od ostalih tvari „s v e m i r s k i e t e r”. Zadaća je fizike, da i tu novu tvar izučava po njezinim

učincima na tjelesa, s kojima se dotiče, baš kako izučava i sve druge obične tvari.

Drugo je, i recimo odmah, veoma teško pitanje: kakva je tvar taj „svemirski eter”? Jasnije je unaprijed, da se ona u svojim osnovnim svojstvima baš ne mora podudarati s običnim tvarima, ona baš ne mora imati svojstva nepрониčnosti, ustrajnosti, težine, elasticitete i t. d., koja mi vežemo uz pojam „tvari” ili „materije”. Treba dakle pojam „tvari” uzimati u nešto širem smislu, a to je navlastito nestručnjaku dosta teško. Reći ćemo odmah: pomislivo ispitivanje toga svemirskoga etera zaista sve više odaje, da se gore spomenuta svojstva na nj uopće ni ne mogu primijetiti, pak je dabogme i teško prikazivati tvar, koja svih tih svojstava nema, a umjesto njih nam pokazuje posve nova stanja i svojstva. Pomažemo si u tim prilikama time, da isporučujemo svojstva etera sa sličnim svojstvima naše obične materije t. j. mi stvaramo sebi „mehanički model” svemirskoga etera.

Da ukratko bar opišemo svojstva te čudne materije!

1. Da eter postoji, odaje on najbolje u svjetlosti. Znamo da svjetlost postaje tim, što neka tvar periodički mijenja svoje stanje, da „titra”, pak ta se promjenljiva stanja prenose kroz prostor kao valovi na druga mjesta prostora. No budući da svjetlost ide i kroz vakuum, ta tvar ne može da bude drugo nego „svemirski eter”, bar ne ondje, gdje nema druge tvari. Prvo i najvažnije fizikalno svojstvo toga etera jest, da se u njem ti valovi svjetlosti rasprostiru brzinom od 300.000 kilometara u sekundi ($3 \cdot 10^{10}$ cm/sec = 30 tisuća milijuna centimetara u sekundi). Tu se već pokazuje velika razlika između običnih tvari i etera. I uzduh prenosi valove zvuka, koje u njem budi izvor zvuka, ali tek brzinom od $\frac{1}{3}$ kilometra u sekundi. Druge ih tvari prenose brže, no ipak je najveća brzina samo 5 kilometara u sekundi.

Izbacimo li iz grla kratak ton, čekat ćemo na jeku od stijene udaljene 1 kilometar nekoliko sekundi; kratak sijevak svjetlosti u tmini pokazuje nam pak sva tjelesa u istom trenu (momentano), a ipak se je svjetlost morala od svih njih odbiti i u oko doći. Pojavu „jeke svjetlosti”, mogli bismo tek opaziti, kad bismo umjetnim načinom mogli bacati sijevke

svjetlosti na tamna tjelesa, daleka bar kao Mjesec (385.000 kilometara).

2. Obične materije možemo vagnuti, koliko hoćemo, tu množinu možemo zatvoriti u posudu, pa kad treba prenijeti u drugu posudu. To vrijedi za sve obične tvari, pak i za najtanji plin — v o d i k. Mi možemo i taj plin s pomoću uzdušne sisaljke izvući iz staklene posude (recipijenta). Svih tih svojstava sve-mirski eter nema. Iz recipijenta se eter ne da ni s kojom sisaljkom ni pomaknuti! Uzalud rade čepovi sisaljke! Čep je sisaljke za eter od prilike kao ribarova mreža za vodu. Tko bi s tom mrežom mogao uhvatiti i zatvoriti određenu množinu vode i nju vagnuti? Smiješan zahtjev, zar ne? Tko bi s takovim mrežastim čepom mogao vodu sisati u vis? Ali s tom istom mrežom može ribar uhvatiti i u nju zatvoriti određenu množinu ribe i tu množinu vagnuti, pa ako treba prenijeti u drugu posudu! Što je za vodu ribarska mreža, to je za sve-mirski eter željezni „neprodušni“ čep uzdušne sisaljke. Ta i njegovi molekuli po našem jur stečenom znanju čine „prostornu mrežu“ spram etera, pak ćeš zaludu nastojati, da s njegovom pomoću eter izvučeš iz jednoga suda, zatvoriš i preneseš u drugi sud: eter se ni ne miče, ali mreža je čepa uzdušne sisaljke ipak dosta gusta, da sobom ponese molekule uzduha, baš kako mreža ribareva sobom nosi ribice. Eter se dakle ne da uhvatiti, on je „n e u h v a t l j i v a“ tvar! On se ne da zatvoriti u posude, niti prenositi iz jedne u drugu, dakle niti v a g a t i! On dakle ne ide nikako u red kemijskih elemenata.

Kako ribareva mreža ide kroz vodu, a da u njoj ne izvodi gotovo nikakve promjene, možemo reći, da je v o d a za mrežu „p r o n i č n a“. Tako je i eter „p r o n i č a n“ za običnu materiju, kada se ova kroza nj giba. Ona u njemu ne izvodi gotovo nikakve promjene. I u tom izbija znatna razlika između efera i obične tvari. I najtanji je plin „n e p r o n i č a n“ za druge materije: u bocu punu vodika ne može voda, dok se vodik ne ukloni! U eteru ide obična materija, a da ga ne ponese sobom, da ga ni ne makne s mjesta, kao ni mreža ribareva vodu.

Istina je: ribareva mreža izvodi u vodi ipak neke promjene; konci mreže turaju ispred sebe vodu, pak se u vodi javljaju slabašna „s t r u j a n j a“. Tako će jamačno i gibanje

obične materije u eteru izvoditi slabašna strujanja, no ta će se u eteru mnogo teže opaziti, nego u ograničenim materijalnim tjelesima, jer eter je očito suvisla neprekidna tvar, još k tomu svagdje jednolika. Je li eter miruje ili se giba? Koliko do sada nja istraživanja pokazaše, eter je apsolutno nepomičan, no možda će nova istraživanja ovo njegovo svojstvo oboriti. Ako eter postoji, onda se na nj ne mogu upotrijebiti bitni pojmovi „gibljivosti” i „ustrajnosti” materije.

Taj „svemirski eter”, tvar pronična za običnu materiju, njezine molekule i atome; tvar, koja se ne da uhvatiti ni vagati; tvar apsolutno nepomična i bez ustrajnosti nije sâm samo u svemirskom prostoru i ispražnjenim posudama, nego ga je i u prostoru izmedju pojedinih molekula, pače i izmedju atoma istoga molekula. Ako se dakle pravo uzme, svaki je komad obične tvari ipak na koncu konca „suvisla cjelina” (kontinuum), samo je ta cjelina složena od dva posve različna dijela: od „molekulâ”, koji čine više ili manje gustu prostornu mrežu i od „svemirskoga etera”, koji ih međusobno spaja, ali on uspostavlja i nigdje neprekinutu svezu toga tijela sa svim drugima tjelesima u svijetu!

Ako je pak tako, otvara nam se veoma zanimljiv vidik na svemir. Atomi slijepljeni međusobno daju molekule; molekuli slijepljeni medju sobom daju uhvatljiva tjelesa. Što je taj „lijepak”, koji ih drži na okupu? Ako zaista osim atoma nema druge tvari do svemirskoga etera, ne može da bude drugo taj „lijepak” nego svemirski eter; on mora da je posrednik za sve učinke jednoga atoma na drugi, jednoga molekula na drugi, jednoga uhvatljivoga tijela na drugo, jer on ispunjuje sve prostore medju njima. Što se god zbiva medju materijalnim tjelesima i njihovim drobnicama, mora da se djelomice odigrava i u eteru, a to fini novi instrumenti zaista sve više i potvrđuju!

Je li svemirski eter svagdje u neizmjernim svemirskim daljinama, daleko od svake obične materije, jednako građen, kao u našem vakuumu na Zemlji? Iz astronomijskih mjerenja izlazi, da je brzina svjetlosti u neizmjernim svemirskim daljinama posve jednaka s brzinom u praznom prostoru na površini Zemlje. Možemo dakle pravom uzeti, da je eter svagdje

jednako gradjen, pak da blizina obične materije ne utječe na njegovu fizikalnu prirodu; čini se pače po svemu, da je on točno isti i u prostorima između molekulâ i atomâ, kao i izvan njih: eter je dakle svagdje u svemiru isti.

Ali još je jedno svojstvo, kojim se bitno razlikuje od obične materije. I u eteru se mogu izvoditi promjene njegova stanja; to već dokazuje val svjetlosti, koji se u njemu rasprostire. Ako se u običnoj materiji, na pr. bakrenoj žici, umjetnim načinom izvede kakva promjena njezina stanja, ako se na pr. ona žica dosta jakim utegom nešto rastezne, ne mijenja ona samo svoju dužinu i svoj oblik, nego joj se mijenjaju i druga fizikalna svojstva, na pr. žica mijenja i svoju elasticitetu tečajem rastezanja. Od druge utege iste veličine žica će se drukčije rastegnuti i pokazivat će drukčiju promjenu elasticitete, nego od prve utege. Ako se pak u eteru izvede, na pr. s pomoću zrake svjetlosti kakva promjena njegova stanja on se spram nove promjene stanja ponaša, kao da se s njim prije nije dogodila nikakva promjena stanja: eter je u svim svojim svojstvima nepromjenljiv.

Da skupimo sve ujedno:

Svemirski je eter za atome obične materije proničan, on je apsolutno negibljiv i u svojim svojstvima nepromjenljiv.

Na toj se jedinstvenosti svemirskoga etera osniva sav red, sva harmonija i sva jasna i jednostavna zakonitost vasiona; bez nje bi sve naše naučno nastojanje ostalo jalovo.

Je li dakle čudo, da nauka danas nastoji sve dublje ulaziti u tajne svemirskoga etera, kako bi bolje mogla shvatiti fizički svijet. Posljednje godine ju povedoše lijep korak naprijed, pak idemo, da ga i mi učinimo.

6. Elektoni. Ovaj izlet u pitanje o strukturi (gradji) materije bio je nuždan. Spomenusmo naime prije, kako si je nakon kolebanja u najnovije vrijeme u fizici prokrčilo put mišljenje, da su i obje elektricitete fine tvari, osobite tvari. Je li i ta stvar zrnato gradjena i kolika su joj zrnca spram molekulâ i atomâ? Reći ćemo odmah, da su novi pojavi, otkriti na području elektricitete u posljednjim godinama 19. stoljeća, složno dovela do ovoga mišljenja: Obje osobite tvari, koje označujemo imenima

„pozitivna elektriciteta” i „negativna elektriciteta”, nisu suvisla cjelina (kontinuum), nego su kao i sve ostale tvari, koje znamo, razdijeljene na nesuvisle dijelove, na atome. Pa baš kako govorimo o atomima vodika ili željeza ili bakra, tako smo ovlašteni danas govoriti i o atomima drugih dviju kemijskih tvari, o „atomima pozitivne i atomima negativne elektricitete”. Dajemo im odmah i posebno ime „elektroni”, pak ćemo govoriti o „negativnim i pozitivnim elektronima”.

Kako je ova spoznaja jedna od najvažnijih i najzanimljivijih tekovina u čitavoj prirodnoj nauci, pripovjedit ćemo ovdje, kako je do nje nauka došla, i u čem joj je epohalna važnost, a bit će pri tom prilike taknuti se i nekih drugih novijih obreta iz elektrike.

1. Više se od 100 godina već zna, da „električna struja” mimo ina ima i to svojstvo, da rastopine soli, kiselina i baza u vodi ili alkoholu, pak i rastaljene soli kemijski cijepa u dvije grupe atoma. Na pr. ako se nešto kuhinjske soli (Na Cl), koja je kemijski spoj kovine „natrija” (Na) s plinom „klorom” (Cl), baci u vodu, razidju se rastopljeni molekuli toga „natrijeva klorida” ili „soli” (Na Cl) po čitavoj vodi. Ako kroz vodu pošaljemo električnu struju, rastavlja se sô u natrij i klor, pak se na negativnom polu izlučuje natrij, a na pozitivnom polu klor. Ovo se kemijsko rastvaranje tvari s pomoću struje zove „elektroliza”.¹ Faraday je prvi pomniji izučavao to rastvaranje i otkrio (g. 1833.) dva osnovna zakona, po kojima se ono svagda zbiva: 1. „množina je izlučenih tvari svagda upravo razmjerna prenesenoj množini elektricitete” ili „množina tvari, izlučena u jedinici vremena upravo je razmjerna jakosti struje”; 2. jednake množine elektricitete izlučuju u svim rastopinama tolike množine tvari da su one kemijski jednako vrijedne („ekvivalentne množine”). Izučavanje toga rastvaranja na osnovi ovih zakona poka-

¹ Isp. Kučera, Crte o magnetizmu i elektricitetu. Zagreb, 1891. Str. 156—161.

zalo je u novije doba, da zapravo struja s tim cijepanjem molekula nema nikakva posla. Danas se naime posve izvjesno zna, da su molekuli soli već u rastopini pocijepani u molekule natrija i klora, i da se to događa kod svake rastopine soli; nanka kaže: molekuli su soli (NaCl) u rastopini već prije struje rascijepani ili „disociirani“. To je pače preduvjet da struja uopće prolazi kroz rastopinu. Nu pri tom se cijepanju molekula soli u dvije hrpe dogodilo još nešto: dok je prvobitni molekul soli (Na Cl) neelektričan, pokazuje se, da svaki atom natrija (Na) u rastopini svagda sobom nosi pozitivan električni naboj, a svaki atom klora (Cl) negativan naboj. Ovaki se elektricitetom nabiti atomi, kojih je u svakoj rastopini svagda veoma velik broj, zovu „ioni“ (ijoni). Još je zanimljivije ovo otkriće: naboj električki, što ga takov ion uvijek sobom nosi, pokazao se je kod svih mjerenja nepromjenljiv (konstantan) t. j. jedan atom svagda sobom nosi istu množinu elektricitete. Koliko? Kako množinu tvari u kojem tijelu mjerimo na „gramc“, tako mjerimo i množine elektricitete posebnom jedinicom, dajemo joj ime „1 Coulomb“, i mjerimo sve množine elektricitete na „Coulombe“. Pak sada mogoše pokusima odrediti, da m grama vodika svagda sobom nosi e Coulomba elektricitete. Iz toga će svatko lako izračunati, koliko elektricitete sobom nosi jedan gram vodika; razdijelit će čitavu množinu elektricitete e s brojem grama vodika m , pak dobiva broj e/m . Za taj broj dadoše suglasno svi pokusi: $e/m = 10^4 (= 10 \text{ tisuća})$. Znamo li sada još, koliko je atoma u 1 gramu vodika, lako je izračunati, koliko elektricitete sobom nosi svaki atom vodika. To je dakako veoma mala množina elektricitete, jer je broj atoma u 1 gramu vodika golem. Račun daje, da 1 atom vodika sobom nosi tek 156×10^{-20} Coulomba elektricitete, a to se izgovara: 156 sto bilijuntina od 1 Coulomba! To je vanredno zanimljiva činjenica. Mi smo upravo prisiljeni uzimati, da je elektriciteta pocijepana u neku vrstu atoma, električnih praatoma, među sobom posve jednakih, koji se hvataju materijalnih atoma — elektriciteta je dakle tvar razdijeljena u atome, kojoj moramo dati eksistenciju nezavisnu od materijalnoga atoma. Takovomu praatomu elektricitete baš i dajemo ime

„elektron“. Kada se takav „elektron“ priljepi uz materijalni atom, koji je neelektričan ili bolje električki neutralan, ovaj se nabije, pak nije više običan atom, nego je jedan „ion“, a takvih je u svakoj rastopini soli bezbroj i prije nego kroz nju pošaljemo struju. Clausius je to već g. 1879. s fizikalnih razloga uzimao, a Svante Arrhenius potvrdio je to mišljenje o cijepanju molekulâ u rastopini na „ione“ kemijskim činjenicama tako snažno, da danas već nema nikoga, koji bi u tom dvojio. Tako se kiseline u vodenoj rastopini pocijepaju u pozitivne ione vodika (H) i negativne „kisele ione“; na pr. molekuli se sumporne kiseline (H_2SO_4) cijepaju u vodi u negativne H-ione i pozitivne SO_4 -ione. Obično u rastopini nisu svi neutralni molekuli pocijepani u električki nabite ione, ostaje u rastopini i nerascijepanih molekula, no što je rastanjenija rastopina, to se više u njoj molekula rascijepa. Kod neutralnih soli prelazi obično 50%.

I ovako nas evo elektroliza dovodi do najvažnijega pojma u novom mišljenju o elektriciteti, do „elektrona“. Mogli bismo ga sada definirati kao „najmanju elementarnu množinu (elementarni kvantum) elektricitete“.

No teorija elektrolize ište, da ima dvojakih elektrona: negativnih i pozitivnih. Jedni su i drugi obično prilijepljeni uz materijalne atome i molekule. Novijim je pokusima uspelo, negativne elektrone posve odcijepiti od tvornih atoma, ali dosada nije uspelo i pozitivni elektron odcijepiti. Ako smo dakle jedan ili više negativnih elektrona zaista odcijepili od atoma, ostaje neki ostatak atoma, kojemu pravu narav danas još ne poznajemo. Fleming je za taj ostatak predložio ime „koelektron“, pak bi po tom svaki pojedini kemijski atom (na pr. vodika) bio spoj jednoga „koelektrona“ s nekim brojem „elektrona“; možemo na pr. uzeti, da je koelektron umotan u plašt elektrona, a jedan ili njih više imaju u određenim prilikama snagu, da se iz svoga kupa otkinu i odlete. Kako je ta jezgra atoma, koelektron, građena, o tom danas pouzdano ne znamo još ništa; nije li na pr. ta jezgra sama možda složena od pozitivnih i negativnih elektrona ili pak od neutralnih čestica, koje su čvrsto svezane? Mogli bismo na pr. uzeti, da je svaki atom materije

tek hrpa čvrsto svezanih elektrona (negativnih); kod nekoga određenoga broj njih atom je električki neutralan; kad ih je više, on je negativan, a kad ih je manje u njem, on je pozitivan „ion”. A mogli bismo i ovako umovati: ako se od neutralnoga kemijskoga atoma otkine jedan „elektron”, t. j. najmanja, nedjeljiva jedinica tako zvane negativne elektricitete, ostaje od atoma ostatak, a taj nam prikazuje jedinicu pozitivne elektricitete. No kako bilo, stoji danas, da negativni elektroni i slobodni postoje, i da oni određuju atomističku gradju elektricitete. Ima li i pozitivnih elektrona, ili pak samo odsutnost negativnih elektrona znači pozitivan naboj, to danas još nije jasno.

2. No ako je studij elektrolize prvi doveo nauku do pojma „elektrona”, nije to bilo jedino područje pojava, gdje su nam se oni odali. Poznate su krasne pojave električne svjetlosti u „Geisslerovim cijevima”.¹ To su staklene cijevi dugačke oko 50 cm, a široke 3—4 cm, u koje su na oba kraja utaljene kratke žice od platine ili aluminija („elektrode”); kroz nje pošaljemo električnu struju u cijev, kada je u njoj uzduh rastanjen do 40 mm tlaka (mjesto 760 mm običnoga tlaka!). Crvena se nit svjetlosti vere od jedne žice do druge kroz čitavu cijev. Ako se uzduh još dalje rastanjuje, nit se širi, a na žici, gdje struja izlazi (na „katodi”), ona se razdijeli u slabiju plavkastu masu svjetlosti neoštih rubova, koja napokon svu katodu oklopi. No ako se uzduh rastanji do 0.001 mm = 1 tisućina milimetra tlaka, javljaju se u cijevi posve nove pojave: u cijevi je svjetlosti nestalo, ali iz katode izbijaju okomito na njezinu površinu u evdijve zrake koje kroz cijev idu u pravci ma, a odaju se tim, da staklo na suprotnoj strani, gdje ga te zrake pogode, zasvijetli dosta jakim, zelenkastom svjetlošću. To su glasovite „katodne zrake”, što ih osobito Englez Crookes g. 1879. izučavao i prvi tumačio, a Hertz je godine 1892. taj studij puno unaprijedio. Nije ovdje mjesto, da opisujem pojave i svojstva tih zanimljivih i s početka toli zagonetnih zraka; upućujem čitateljice i čitatelje na citirana mjesta predjašnjih mojih djela. Osobito je za njih karakteristično, da ih magnet otklanja s pravoga

¹ Isp. Kučera, Crte o magn. i elekt. str. 193—197. i Kučera: Valovi i zrake, Zagreb, 1903. Str. 337.—352.

puta, da one daju tjelesima, na koje padaju, negativan električni naboj i da u uzduhu, kroz koji prolaze, molekule njegove cijepaju u ione, pak se uzduh time pretvara u dobar vodič elektricitete. To nas upućuje, da su te katodne zrake, kao neke negativno električne drobnice, koje iz katode izlijetaju i velikom brzinom lete kroz cijev u pravcima. Kao što teža kuglu iz topa ili puške s pravoga njezina puta otklanja i k Zemlji privija, tako magnetička sila te drobnice otklanja s pravoga puta. Iz veličine toga otklona mogli su opet odrediti omjer između naboja (e) i mase (m) tih drobnica, koje kao bezbroj kugala iz pušaka bombardiraju suprotnu stranu stakla. Čitav je niz naučnjaka (Kaufmann, Leonard, Thomson, Wiechert, Wien i dr.) ta mjerenja na različne načine izvodio, pak je rezultat i stručnjake osupnuo: u svim je katodnim zrakama — makar kaki plin bio u cijevi i makar kakva bila tvar, od koje je načinjena katoda — omjer između naboja (e) i mase drobnice (m) jednak i nepromjenljiv (konstantan): $e/m = \text{constans}$. — Ako jedinici za mjerenje množinâ elektricitete, dademo opet ime „1 Coulomb“, nadjoše svi istraživači složno, da 1 gram tih drobnica svagda sobom nosi naboj od 1.87×10^7 Coulomba (t. j. 187 milijuna Coulomba) elektricitete.

Ako pak 1 gram onih drobnica, na pr. vodika, koje su u toj staklenoj cijevi, nosi električan naboj sobom, koji je gotovo 2000 puta tako velik, kao naboj, što ga sobom nosi 1 gram vodika kod elektrolize, otkuda to protivurjeđe? Dva su smišljaja moguća, da to protivurjeđe razriješimo. 1. Jedan gram vodika u Crookesovoj cijevi i kod elektrolize ima jednaki broj najmanjih čestica, koje su nosioci (trhonoše) elektricitete. U tom slučaju za čudo svaka najmanja čestica u cijevi nosi breme elektricitete 2000 puta veće, nego što ga nosi ista čestica kod elektrolize! Svakako čudna stvar! 2. Možemo uzeti, da svaka najmanja drobnica i u cijevi i kod elektrolize nosi istu množinu elektricitete, svaki trhonoša nosi svagda isti teret, a to je mnogo vjerojatnije! U tom slučaju mora da je u cijevi Crookesovoj u 1 gramu 2000 puta više najmanjih čestica ili trhonoša, ali onda mora da je i svaki taj trhonoša 2000 puta manji od 1 atoma vodika! Ako je to istina, e onda 1 atom

vodika nije više najmanja drobnica tvari, koja sama o sebi u prirodi postoji, nego nam se kod prolaženja elektricitete kroz jako rastanjene plinove, zatvorene u staklenim cijevima, javljaju nekakve drobnice, kojima je masa jedva $1/2000$ od mase 1 atoma vodika! Atom se je vodika dakle još dalje razdijelio na 2000 manjih drobnica! Atom ne bi bio nedjeljiv!

Što je istina: prvi ili drugi smišljaj naš? To je pitanje prvi riješio engleski fizičar I. I. Thomson. On je nedvoumno pokazao pokusima i mjerenjima, da je istina naš drugi smišljaj: kemijski atomi zaista nisu nedjeljivi, ima u prirodi čestica s masom od prilike 2000 puta manjom od mase 1 atoma vodika. Za te čestice, koje svagda i svagdje, gdje se god u prirodi pojave, sobom nose istu množinu elektricitete, naime 1 „električni atom“ ili „elementarni kvantum negativne elektricitete“ uveli su ime „elektron“. Izbija dakle posve nova činjenica, koja je djelovala kao nova objava za modernu fiziku i kemiju: nosilac elektricitete u katodnim zrakama ne može da bude čitav 1 atom, nego mnogo manja drobnica mase. Atom je tim prestao biti „najmanja, nedjeljiva“ drobnica materije! Drobnece, koje se gibaju u katodnim zrakama, 2000 su puta lakše nego atomi vodika, i imaju premjer, koji je 100.000 puta manji od premjera vodikova atoma!

I brzinu (v) su tih sitnih drobnica materije, nabitih elektricitetom, mogli odrediti, s kojom ih katoda izbacuje u prazni prostor cijevi. Bitno je zavisna o naponosti elektricitete. Osupnuše nas i tu brojevi, koji izadjoše: brzina je drobnica između 22000 i 70000 kilometara u sekundi! Ona dakle dosiže do $1/3$ brzine svjetlosti (300.000 km/sek), a brzine su naših najbržih kugala iz topova gotovo nule ($1/2$ —1 km/sek) spram tih brzina. Sada razumijemo, da bombardiranje ovako brzih drobnica, makar da su neizmjereno malene mase, može izvesti dosta jakih učinaka, navlastito svjetlosti i topline! Ono, što se u Crookesovoj cijevi tolikom brzinom giba i što sačinjava tako zvane „katodne zrake“, to su „slobodni negativni elektroni“, najmanje čestice ne-

gativne elektricitete, dok su kod obične elektrolize ti elektroni još vezani uz tvarne atome, pak se zajedno s njima gibaju.

No ako mi u katodnim zrakama zaista imamo pred sobom slobodne negativne elektrone, treba pitati, gdje su pozitivni elektroni, koje iz elektrolize poznajemo vezane uz materiju?

3. Kanalne zrake. Jasno je naime: ako je plin u Crookesovoj cijevi prije prolaska struje kroza nj bio neelektričan, a sada u njem lete negativni elektroni, mora da ima u cijevi i pozitivnih drobnica. I zaista se u cijevi gibaju i pozitivno električne drobnice, pak one lete, kao što i mora da bude, suprotnim smjerom. Otkrio ih je Goldstein (1886.), a Wien je (1898.) u njima prepoznao pojavu analognu katodnim zrakama. Goldstein je naime katodu probušio na više mjesta i ondje namjestio cjevčicu, pak je opazio, da iz nje ne izlaze samo katodne zrake na jednu stranu, nego i sa stražnje strane katode izlaze zrake, koje idu suprotnim smjerom. Dao im je ime „kanalne zrake“ (idu kroz cjevčicu, kanal). I od njih staklo zasvijetli zelenkastom svjetlošću. Wien je onda pokazao, da te zrake sobom nose pozitivan naboj, da nabijaju vodič, na koji padaju, pozitivnom elektricitetom, magnet ih otklanja s pravoga puta, ali na suprotnu stranu spram katodnih zraka — dakle sve svojstva posve slična svojstvima katodnih zraka. No Wien je konstatirao i jednu znatnu razliku: otklon je magnetom mnogo manji, dakle su drobnice s pozitivnim nabojem mnogo veće od negativnih elektrona. Kod napetosti od 30.000 Volta našao je Wien za te pozitivno električne drobnice:

brzina $v = 0.015 \cdot 10^{10}$ centimetara

omjer $e/m = 76.000$ Coulomba za svaki gram.

Taj je omjer dakle jednak istomu omjeru kod vodikova atoma, a brzina je kud i kamo manja nego u katodnim zrakama (300—1500 kilometara u sekundi). Čini se dakle, da imamo posla u tim zrakama s pozitivnim ionima, poznatim nam iz elektrolize. Pozitivni se elektroni ni u Crookesovoj cijevi ne mogu da otkinu od svoje materije, nego ostaju s njom čvrsto svezani; oni ostaju opterećeni razmjerno velikom masom, pak se poradi toga gibaju

mного sporije od katodnih zrakâ, u kojima kao da su se negativni elektroni posve otkinuli od materije, pak se gibaju sami za se.

4. Röntgenove zrake. Poradi velike svoje brzine imaju negativni elektroni katodnih zrakâ i priličnu energiju, pa kad bombardiraju staklo, ovo se zasja i ugrije, postaje tolika vrućina, da se čak i platina može ražariti. Nije čudo, da se i eter na tom mjestu uzdrma, pak da od njega izlaze valovi etera na sve strane, ali tako sitne dužine vala, da prolaze i kroz dosta kompaktne mase, dakle i kroz staklo Crookesove cijevi, pa izlaze iz nje dosta daleko u uzduh. Sav ih svijet danas zna uz ime „Röntgenove zrake” poradi njihove velike praktične vrijednosti. Kroz drvo prolaze tako lako, kao zrake obične svjetlosti kroz staklo. Što su te „Röntgenove zrake” zapravo, danas još ne znamo. Za sada si možemo o njima ovu sliku stvoriti: Kako negativni elektroni na onom mjestu, kuda žestoko udaraju, potresu i eter, te ga neprestano svojim udarcima ponovno uzdrmaju, možemo uzeti, da se ti udarci u eteru i dalje rasprostiru, slično kao valovi u vodi, pak da su Röntgenove zrake učinci tih udaraca. Ako dakle Röntgenove zrake i nisu posve pravilni titraji etera, koji bi izvodili i pravilne valove, poput valova obične svjetlosti, one ipak pripadaju do nekoga stepena u područje eterskih valova. Po pokusima Hage i Winda ti bi valići imali dužinu najviše od 1—2 milimikrona! Mimo ostala znamenita svojstva imaju te zrake i to s fizikalne strane veoma zanimljivo svojstvo, da u plinu, kroz koji idu, molekule njegove rascijepaju u pozitivne i negativne ione, pak plin time postaje dobar vodič elektricitete, dočim je plin u svom običnom stanju jedan od najboljih izolatorâ.

5. Becquerelove zrake. Dne 6. siječnja 1896. pokazivao je Röntgen prvi put u krugu većega broja fizičara svoje nove nevidljive zrake čudnih, veoma čudnih svojstava, a već 24. veljače 1895. pokazivao je Becquerel u Pariskoj akademiji nauka fotografičnu ploču, na kojoj se vidješe jasni tragovi zrakâ, što ih je izveo kristal od kalijškoga uranilsulfata kroz dvostruku naslagu crnoga papira. Zrake neprekidno i same od sebe izlaze iz toga kristala i onda, ako je

on pomnijivo zaštićen od utjecaja izvanje svjetlosti i topline. Nešto nova, do sada neslućena je svijet vidio: iz soli urana izlaze neprestano i same od sebe osobite oku našemu nevidljive zrake, dosta slične Röntgenovima, za koje je trebala električna struja veoma velike napetosti. Najčudnije je na njima, da izlaze uvijek u jednako jakosti, a da izvana ne primaju nikakve naknade. I te zrake pretvaraju plinove u dobre vodiče elektricitete, pak se poradi toga elektroskopi, nabiti elektricitetom, brzo isprazne utjecanjem tih zraka.

Godine 1898. javlja gospodja Curie iz Pariza, da i iz soli i rudâ torija izlaze te zagonetne zrake neprestano i same od sebe.

No već iste godine otkriše gospodin i gospodja Curie, da te zrake zapravo potječu od dva nova kemijska elementa, koji su u spomenutim rudama, od polonija (gospodja Curie je Poljakinja) i radija. Navlastito ovaj drugi element, radij, izbija te zrake u velikoj jakosti, on je „radioaktivni“ element par excellence. Tim imenom naime u nauci okrstiše sve tvari, iz kojih same od sebe i neprekidno izbijaju te nove zrake.

Zaista su prečudne te zrake, što izlaze iz sićušnoga kristala radijeve soli! Prolaze kroz sve tvari, djeluju na fotografsku ploču poput Röntgenovih zrakâ, nose sobom električne naboje poput katodnih zrakâ, magneti ih otklanjaju s pravoga puta, zastori od barijeva platincianura u tami od njih zasvijetle kao od Röntgenovih zraka, one „ioniziraju“ uzduh tako jako, da elektro-metar pokazuje prisutnost tako malenih množina radija, kakvih ni najfinija kemijska analiza, pa ni spektralna analiza, ne bi odala.

Neprekidno te zagonetne zrake izbijaju iz radija; izgleda, kao da i one, poput katodnih zraka, potječu od materijalnih drobnica, koje iz radija neprekidno izlaze velikom brzinom — i gle čuda: premda radij neprestano gubi materije, nikomu nije uspjelo, da konstatira umanjeње njegove težine!

No još je čudnije ovo: radij neprestano stvara energiju. Čitave mjesece može sô radija biti zatvorena u posve jednakoj temperaturi, u potpunoj tami, ona pokazuje i sada svoje slabašno svijetljenje, ona neprestano producira topline toliko, da joj temperatura zna biti po nekoliko stupanja iznad temperature okoline, ona se neprestano sama elektrizira. Sve se

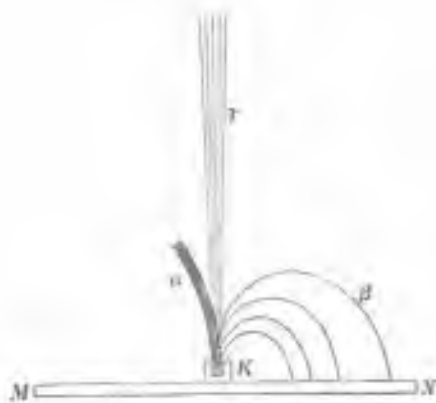
to zbiva samo od sebe bez ikakva utjecanja izvana, sve se to zbiva trajno, a ipak se ne opaža nikakvo slabljenje tih učinaka!

Nov je svijet prirodnih pojava pukao fizičarima pred očima, posve oprečan svim do sada poznatim pojavama, u prividnom protivurjeđu s osnovnim i najbolje utvrđenim zakonima prirode!

Je li čudo, da se sav učeni svijet bacio najvećom žurbom na ispitivanje „radioaktivnih tvari i zraka“? U ovo je nekoliko godina nastala čitava literatura o njima, ali studij još ni s daleka nije svršen, on je pače danas još na početku. Nije ovdje

mjesto, da ga pratimo,¹ tek ovdje iznosimo, što spada na naše novo mišljenje o elektriciteti.

Zrake su se radija pokazale nejednolične; one su smjesa triju vrsti različitih zraka. Rutherford im je dao imena: zrake α , zrake β i zrake γ (izgovaraj: zrake alfa, zrake beta, zrake gama). Razliku njihovu najbolje odaje magnet. Ako iz posudice K (sl. 1) izlaze



Sl. 1. Zrake radija.

radioaktivne zrake, pak tik pred njom stoji pol magneta, pokazuje se, da se jedna vrsta zraka magnetom ne otklanja; to su zrake γ . Druga se dva dijela zraka otklanjaju, no jedne na desno, to su zrake β , druge na lijevo, to su zrake α .

Te se tri vrste zraka ponašaju posve jednako, kao tri vrste zraka, što ih poznajemo iz Crookesove cijevi! Zrake β nose sobom negativne električne naboje, odgovaraju dakle katodnim zrakama; pokazuju i sva ostala svojstva katodnih zraka — one su dakle negativni elektroni! Tek je brzina elektrona ovdje još veća, nego u katodnih zraka; gotovo tri puta je veća, dakle doseže već brzinu svjetlosti.

¹ Isporedi o tom: Kučera Valovi i zrake. Str. 359—373. (Izdala „Matica Hrvatska“ 1905.)

Zrake α nose sobom pozitivne naboje i odgovaraju inače posve kanalnim zrakama: po manjem odklonu od magnetu i tu zaključujemo, da su još i tu pozitivni elektroni otereteni većim masama materije.

Zrake γ napokon posve odgovaraju Röntgenovim zrakama. Ne otklanja ih magnet, prolaze kroz debele vrste tjelesa i najdalje prodiru od svih triju vrsta zrakā, imaju dakle u nešto slabijoj mjeri svojstva Röntgenovih zrakā. Od njih se tek u jednom razlikuju: kao da i one imaju električan naboj, dok toga u Röntgenovih zrakā nema.

Osupnuti stojimo pred ovom novom potvrdom našega mišljenja o elektriciteti, pak se u čudu pitamo, što se to zbiva u radiju? Kako da riješimo ta protivrječja s osnovnim zakonima fizike?

Rutherford i Soddy prvi su se usudili g. 1902. izreći na osnovi svojih istraživanja mišljenje, da je čitava radioaktivnost prirodni proces, koji se zbiva unutar samoga atoma, pak nam se time prvi put otvara vidik na prirodne nove pojave, koji su dosada umaknuli bili i najfinijim metodama fizikalnoga istraživanja.

Neka mi bude dozvoljeno tu Rutherfordovu hipotezu kratko opisati. Atome radioaktivnih elemenata urana, torija i radija, koji su 238, 232 i 225 puta teži od vodikova atoma, uzima on kao hrpe nebrojenih, presitnih tjelešaca (korpuskula), koja su nesavladivom silom svezana u nerazriješenu zajednicu. Nikakva vrućina, nikakva struja, nikakva kemijska sredstva, nemaju te moći, da bi mogle tu zajednicu raskinuti, pak poradi toga atom ulazi u sve prirodne procese kao cjelina, kao posljednji, nerazdjeljeni ostatak materije. No što ne polazi za rukom ni najjačoj izvanjoj sili, to izvršuje atom sam. Kao da ih nevidljiva ruka uhvatila, pojedina se tjelešca, jedno ili njih više, najednoč otkinu iz starih, prastarih svojih veriga i time se započinje nečuveni proces raspada samoga čitavoga atoma. Kao eksplozivnom se silom tjelešce otkine iz svoga sklopa, razvija se toplina, svjetlost, elektricitet, od žestokoga se udarca uzduh u okolini „ionizira“ t. j. sve se pojave radioaktivnih tvari pred našim očima razvijaju. Ostatak atoma dabome nije više obični atom radija, on se kao osobita zajednica odvoji od ostalih, još

neraskinutih atoma, pak izlazi kao novi, plinoviti atom, iz prvobitne mase kao „e m a n a c i j a” radioaktivnih elemenata.

Raspadanje se atoma sada neodoljivom silom samo nastavlja: nova se tjelešca od već krnjega atoma otkidaju, pak i ovaj krnji atom pokazuje pojave radioaktivnosti; ti se krnji atomi slegnu na tjelesa u okolini, pak i ova postaju na oko radioaktivna, jer se i tamo proces raspadanja nastavlja; neprestano se ruše pojedina tjelešca u prostor okoline, dok se napokon neki ostatak tjelešaca u krnjem atomu ne namjesti u nov položaj stalne ravnoteže, pak tim postaje novi, stabilni atom, iz kojega već ne izbijaju ona tjelešca, koji dakle nije više ni radioaktivan. Taj novi atom odao se je kao dobro poznati atom helija, koji je samo 4 puta teži od atoma vodika, postepenim raspadanjem radijeva atoma, jednoga od najtežih atoma, postao je atom helija, i tim se je izvršio u naše dane san alkimista — bar u jednom slučaju — da se je jedno kemijsko počelo — radij — pretvorilo u drugo — helij! Dok raspadanje atoma traje, pokazuju se na njem pojave radioaktivnosti u različitim stupnjevima i oblicima.

* * *

7. Što je tvar? Što znače ovi neočekivani obreti na početku 20. stoljeća? Označismo ih epohalnim. U čem im je ta velika važnost?

Između filozofskoga i prirodoslovnoga mišljenja čovjeka od starine je postojala, a postoji i danas još u mnogočem dosta oštra opreka. Pojam je atoma bio baš onaj pojam, na kojem se je najoštrije isticala. Filozofi su uporno tvrdili, da je eksistencija atoma kao nedjeljivih, materijalnih jedinica — nesmisao, jer se materijalno tijelo, makar kako bilo maleno, u misli može još uvijek dijeliti na bezbroj manjih čestica. Prirodna je pak nauka uporno tvrdila, da svako iole prikladno mišljenje o biti tvari kategorički ište, da postoje ove posljednje čestice, ali nije nikada nijekala, da je njihova eksistencija ipak — samo hipoteza. Ta se opreka između filozofskoga i prirodoslovnoga mišljenja pomalo ipak ublaživala. Prirodoslovci mogli su odrediti neke brojne vrijednosti za težine i veličine svojih atoma (= nedjeljivo!), pak već iz toga izlazi, da mogu za-

misлити i dijelove tih težina. Prirodoslovci dakle nisu mogli nijekati idealnu djeljivost atoma, ali su uporno ostali kod nijekanja realne djeljivosti t. j. oni su tvrdili, da nema ni fizikalne ni kemijske sile u čitavom svemiru, koja bi bila kadra, da atom rascijepa u manje čestice, atomi ulaze kao cjeline i samostalne jedinice u sve prirodne procese — i to je bio gotovo aksiom prirodne nauke posljednjih 100 godina.

Ovaj su aksiom prirodne nauke opisani obreti najprije uzdrimali, a danas se jamačno smije reći, da su ga otkrića o radioaktivnosti definitivno pokopala. Svi nas ti obreti složno vode do mišljenja, da postoje elektroni, a to su sićušne materijalne drobnice, koje bi morale biti nekoliko tisuća puta manje od najmanjih atoma. Priroda ih sama pred našim očima odcijepљуje od atoma.

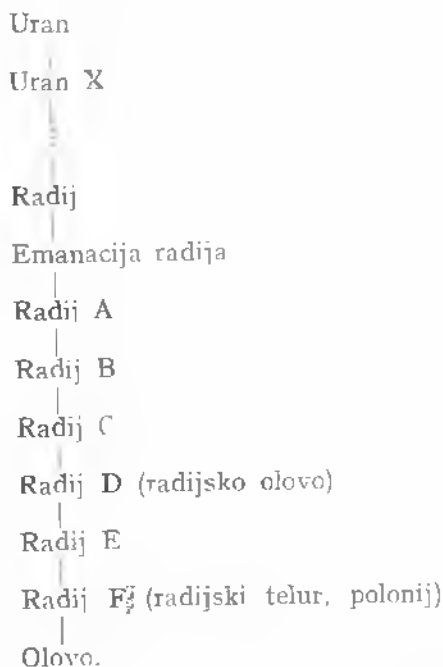
Atom dakle nije više posljednja jedinice materije; to je danas elektron. Atom danas nije više jedna jedina, kompaktna drobnica materije, nego je možda hrpa od mnogo tisuća sićušnih tjelešaca, koju bismo mogli isporučiti s hrpom zvijezda u velikom svijetu, koja je za naše oko tek bijel oblak na nebu, a u durbinu se raspada u bezbroj sunaca. Pa kako u tom sistemu sunaca bez sumnje svako sunce kruži svojom posve odredenom stazom, tako možda i elektroni u atomu u posve uredjenim stazama kruže jedan oko drugoga sputani neodoljivom silom.

Ali atom danas nije više niti realno nedjeljiv: on se daje razoriti. Od njega se mogu odcijepiti ili pojedini elektroni ili čitave hrpe njih, pa tako se atom malo pomalo raspada, iz teških atoma postaju lakši — u anorganski je svijet ušao princip evolucije, toliko važan i u organskom svijetu.

Raspadanje atoma i evolucija kemijskih elemenata stvaraju se u naše dane kao dvije nove osnovne činjenice prirodne nauke. Ako se one potvrde daljím istraživanjima, koja baš sada u velike teku, mi bismo mogli doći do toga, da za svaki elemenat sastavimo čitavu rodovnicu kemijskih elemenata.

Danas nam ove misli tek niču u razumu u slabim i nejasnim crtama. Što je konačni produkt raspadanja jednoga atoma urana ili radija, danas još se ne zna, a nema ni mnogo nade, da ćemo to u najbližim desetgodištima, pa i stoljećima,

direktno saznati, jer se to raspadanje radijeva atoma zbiva veoma polagano, a produkti, koji pri tom postaju, tako su neznatni po svojoj množini, da će se teško moći tako skoro kemijski dokazati. Indirektno bismo mogli prije doći do cilja. Tako je na pr. Rutherford već iznio smjelu hipotezu, da je konačni produkt raspadanja radijeva atoma — jedan atom olova. Po njem bi iz atoma urana najprije postao atom radija, a iz ovoga raspadanjem u sedam, danas već poznatih stepena, konačno atom olova, po shemi :



Kad ljudi dodju na novu, pa i malu, spoznaju, naginju na to, da ju rašire na sva područja, koja su s njom u svezi — ljudi rado generaliziraju. Tako i ovdje niču slutnje i smione hipoteze. Još nije dokazano, da iz urana postaje olovo, pa već slutimo, da postoji praelement, iz kojega su svi ostali postali. To je doduše veoma smiono, no odgovara nekoj našoj naučnoj potrebi jedinstva, pak rado hvatamo takve hipoteze, da nas dalje vode u labirint materije, koja nam tako uporno krije svoju bit.

No ne varajmo se ! To su sve hipoteze, ako hoćete duševne slike razuma čovjekova, više ili manje osnovane. Uzmimo na pr. da nauka zaista uspije jednoč u tom, da dokaze, kako su svi elementi složeni od elektrona, je li tim pitanje atoma konacno riješeno? Nipošto ! Ono je tek preneseno na elektrone. Tu nauku čekaju posve drukčija, dublja pitanja, koja će trebati riješiti. Još uvijek ostaju naime stari, veliki problemi o biti materije i o podrijetlu sile, pred koje je Du Boys-Reymond već nazad 30 godina postavio svoj smjeli, možda i presmjeli „Ignorabimus“ (t. j. nećemo nigda znati). Ta prva su mjerenja o elektronima pokazala, da i oni imaju određenu, makar i veoma malenu, masu. No teoretične najnovije radnje kao da iznose rezultat, da je ta masa p r i v i d n a, da se tu radi o nekoj obmani elektromagnetičkih odnošaja. Ako bi se to potvrdilo, onda se našoj nauci otvaraju posve novi vidici. Promislimo samo ! Atom bi bio sastavljen od samih elektrona, elektron pak sam bio bi nekakva tvorba bez mase, elektromagnetičke naravi, dakle tvorba u e t e r u samom i tvorba toga etera ! Kakova ? Smijemo li se usuditi već danas crtati te slike daleke budućnosti ? Pokušat ćemo !

Pred nama je uzdušni ocean i u njem je posvemašnja tišina, mi gotovo ni ne osjećamo, da je tu, da uopće postoji. Tek kada se malko uznemiri, kada se giba, osjećamo ga kao lahorić, vjetar, vihor. U krajevima je istočnoga indijskoga oceana često ovakva tišina u uzduhu. Ali najjednoč se na jednom mjestu u njem načini v r t l o g, čestice uzduha sve brže i u sve većem broju kruže oko središnje osovine tolikom snagom, da sve ruše u svom krugu. Taj vrtlog raste i u visinu i u širinu i teško ljudima, koji zapanu u taj strašni „t a i f u n“. No kud sreće, da ostane na svom mjestu, pak da se tamo iskali : onaj bi mu kraj pao žrtvom, no drugi bi ostali čitavi, a ljudi bi mu se mogli uklanjati, sve da za uvijek bijesni na onom mjestu. Ali taifun ne ostaje na svom mjestu : čitavi vrtlog zajedno sa svojom osovinom hrli užasnom brzinom s jednoga mjesta na drugo, noseći sobom užas i nesreću na nova mjesta, dok se na predjašnjima već vratila predjašnja tišina. Tko bi u tim vrtlozima prepoznao predjašnji pitomi i mirni uzduh ? Da ne vidimo, kako vrtlog od uzduha postaje i kako se u njem seli, gotovo bismo morali

uzeti, da je to nekakva druga tvar u uzdušnom oceanu, a ne uzduh, pa ipak nije ništa drugo — nego uzduh. Prenesimo to na elektrone. Ako zaista nemaju mase, što bi mogli biti? Svemir je ispunjen eterom, koji bismo mogli isporediti s našim mirnim uzdušnim oceanom, koji je svagdje jednolik. No na jednom mjestu postane u njem vrtlog. Središte toga vrtloga bio bi elektron. Vrtlozi su uzdužnom oceanu kratkoga vijeka, no što smeta, da u eteru pomislimo ovakav vrtlog, koji je jednoč postao, trajnim, tek da mijenja svoje mjesto. On sam od sebe nikada ne može nestati; tek ako se sukobi s vrtlogom suprotnoga smjera, s elektronom suprotne vrste, njega može nestati.

Ono što mi zovemo „materija“ ili „tvar“, ne bi po toj slici bilo ništa drugo nego „vrtložno gibanje“ u svemirskom eteru, dakle tek jedan oblik — energije gibanja!

Daleko se zavezosmo u budućnost, no možda nije na odmet i ovakve slike razviti pred duševnim okom obrazovana čitatelja. Tek je nedavno Englez Dr. Larmor u posebnoj knjizi „Aether and Matter“ opišrno izveo teoriju, po kojoj bi elektron bio nešto takova. No knjigu mogu čitati tek napredniji, kao i knjigu drugoga Engleza Sir Oliver Lodge-a, koja je g. 1907. izašla u njemačkom prijevodu od Sieberta uz naslov: „Elektronen oder die Natur und die Eigenschaft der negativen Elektrizität“.

II.

Elektroni u stanju mirovanja: električni naboj.

1. Naboj na konduktoru. Na osnovi razloženoj u pređašnjem članku možemo sada cio niz električnih, danas poznatih, pojava gledati s novoga stajališta.

Opisana istraživanja donesoše naime rezultat, da su obje elektricitete zaista dvije osobite tvari, vrlo fine tvari, da su obje tvari takodje, kao i obična materija, zrnate strukture, pak možemo odsada govoriti o *a t o m i m a* negativne i pozitivne elektricitete, kao što govorismo odavna o atomima vodika, kisika, željeza i dr. Zovemo atome negativne elektricitete „*e l e k t r o n i*“, a atomima pozitivne možemo dati po *F l e m i n g u* ime „*k o e l e k t r o n i*“. Te su čestice elektricitete vanredno sitne — uopće najsitnije u prirodnoj nauci — pak nema obične materije, u kojoj ih ne bi bilo i jednih i drugih u bezbrojnoj množini. U tijelu, koje nam u svojoj okolini ne pokazuje nikakvih električnih učinaka (privlačnih i odbojnih sila) uzimamo, da je *j e d n a k b r o j* pozitivnih i negativnih elektrona (elektrona i koelektrona). Svaki elektron napokon sobom nosi *n e p r o m j e n l j i v i* trajan električni naboj.

Zaustavimo se sada kod pojave, da mjeden valjak na staklenoj nogi (izoliran konduktor) trenjem postaje električan na pr. negativno električan. On *s a d a* ima suvišak *n e g a t i v n i h* elektrona ili s toga, što su ti kod trenja prešli s tariva na valjak ili s toga, što je dio pozitivnih elektrona prešao iz valjka u tarivo, a možda je i oboje. Pokus sam nam o tom ne može ništa *đ a* kaže. Karakteristično je za mjed, *đ a* se naboj, izveden trenjem samo na jednom mjestu valjka, s mjesta raširi po *č i t a v o m* mjedenom valjku, ali ne prelazi u staklenu nogu. Kako da to rastumačimo? Treba dvojje. Suvišak negativnih elektrona mora *đ a* se može posve *s l o b o d n o* pomicati kroz kovine, oni se

u kovini gibaju posve slobodno, bez sveze s atomima mjedi. Tu činjenicu označujemo riječju: mjeđ je „dobar vodič“ ili „konduktor“ elektricitete. Po našem novom mišljenju to je istovjetno s rečenicom: elektroni se u kovinama slobodno i nezavisno od atomâ kovine gibaju i pomiču medju atomima kovinâ.

Pokus pak pokaza Faradayu, da je taj valjak samo na površini električan. I to sada razumijemo. Slobodni se negativni elektroni medjusobno odbijaju, pak je razumljivo, da nastoje, kako bi se što dalje razmjestili. Na površini dakle nabita konduktora leži prema novom mišljenju između kovine i izolatora oko njega (uzduha) neizmjereno tanka vrsta negativnih elektronâ tako razmještenih, da su u ravnoteži. Izolator im ne da dalje. No ako mjedeni valjak dugom žicom sastavim s drugim takovim valjkom, bit će opet učinak, da se elektroni razmjeste po čitavoj žici i po površini drugoga valjka. Veoma se daleko naboj može raširiti, ako valjak spojim sa Zemljom ili žicom ili mojim vlastitim tijelom. Dotaknuvši se samo prstom nabita mjedeni valjka nestalo je u tren oka njegovoga naboja. Suvišak se je naime negativnih elektronâ, koji se je bio razmjestio po površini valjka, sada rastresao daleko po podu i površini Zemlje, pak što ih je ostalo na valjku, tako je malo, da ih niti ne opažamo. Razumijemo dakle posve neobičnu sklonost kovina i drugih vodiča elektricitete, da svoj naboj rado predaju drugim vodičima.

No mjeden valjak naš, opkoljen uzduhom i nataknut na staklen štap, pridržaje dobiveni naboj. Iz toga izvodimo zaključak, da staklo i uzduh ne mogu da „vode“ elektricitetu, nisu „vodiči“ elektricitete. Što je to? I u staklu je bezbroj elektronâ. Pa zaista, kad staklo na jednom kraju držimo u ruci, a na drugom taremo, postaje na onom mjestu električno: suvišak se je elektrona ondje razmjestio, ali ne će da se raširi po čitavu staklu! Kako bismo i to po našem novom mišljenju razumjeli, moramo uzeti, da se elektroni u staklu ne mogu slobodno gibati ni pomicati medju molekulima stakla. U svim su izolatorima elektroni u nešto čvršćoj svezi s molekulima i atomima obične materije. Sada razumijemo i to, da možemo staklen štap elektrizirati držeći ga u

rući. Pozitivni elektroni, koji su nakon trenja s amalgamom, u nekoj daljini od ruke u suvišku, odbijaju se doduše međju sobom, ali ne mogu u Zemlju, jer im je staklo zakrčilo put do Zemlje.

Spram elektrona se dakle molekuli običnih materija dvojako ponašaju: u jednim se tvarima mogu elektroni sasvim slobodno gibati i medju molekulima verati („vodiči elektricitete“ ili „konduktori“), u drugim se ne mogu slobodno gibati, nego ostaju u nekoj svezi s molekulima („nevodiči“ ili „izolatori“).

2. Električna influencija. Pred nama je „elektroskop sa listićima od aluminijske ili zlatne kuglice“ (sl. 2), na isto takovu štapu, koji na drugom kraju nosi dva laka listića od aluminijske ili zlatne. Štapić je,



Sl. 2. Elektroskop.

pomnivo izoliran parafinom ili jantarom, utaknut u cilindričnu posudu sa staklenim stijenama s dviju strana.

Ako mu približimo staklen štap s pozitivnim nabojem, papirići se na njem već razilaze davnoprije, nego li se štap taknuo kuglice. Oni se opet sklope, kad uklonimo štap. Ponovno primicanje i odmicanje štapa izvodi posve pravilno rasklapanje i sklapanje papirića! Zar ne, čudna po-

java. No ako je istina, da je u metaličnom dijelu našega elektroskopa, kad je on u svom običnom stanju, bezbroj je d n i h i drugih elektrona, pak da se oni mogu u njem slobodno gibati, ta nam je pojava posve razumljiva, mi bismo ju pače bili mogli i prореći. Pozitivni naboj staklenoga štapa iznad kuglice elektroskopa, morao ih je razlučiti. Pozitivni elektroni stakla morali su negativne privući u kuglicu, a p o z i t i v n e otjerati u listiće. To pokusi i potvrdjuju.¹

3. Množina elektricitete ili „naboj“. Pred nama je izoliran vodić (mjeden valjak na staklenu štapu). Elektriziramo ga tim, da ga na pr. sa staklenim električnim štapom taknemo. Elektriciteta se s mjesta razmjesti po čitavoj površini valjka i na granici između mjedi i uzduha je vrsta pozitivnih elektrona. Taknemo li ga ponovno, prenijet ćemo svaki put nešto elektricitete na njega, i vodić se sve više „nabija“ elektricitetom. To se očituje u tom, što su privlačne i odbojne sile u njegovoj okolini sve jače: kuglicu od bazgine srčike sve žešće privlači i odbija. Premda mi ništa ne vidimo na površini našega vodića, možemo u slici ipak reći: što su jače privlačne i odbojne sile u okolini električnoga tijela, to je veća „množina elektricitete“ na njem ili „to je veći njegov naboj“. No treba držati na umu, da je to samo naša „duševna slika“. Mi tek vidimo, da „nabito“ tijelo u svojoj okolini izvršuje privlačne i odbojne sile, i da to čine sve strane nabita tijela. Mi od te sile z a k l j u č u j e m o n a „množinu elektricitete“, koja da je na njem. Idemo pače i dalje, pa velimo: ako dva nabita tijela izvršuju na istu kuglicu bazgine srčike iz jednake daljine jednaku silu, na njima su jednake množine elektricitete ili „jednaki naboji“. Ako je ta sila dvostruka, trostruka, gleda duševno oko naše na tijelo i dvostuku, trostruku množinu elektricitete. Mi se dakle i usudjujemo mjeriti tu nevidljivu množinu elektricitete, ali samo po veličini privlačne ili odbojne sile, što ju to električno tijelo izvršuje u svojoj okolini.

¹ Isporedi: Kučera, Crte o magnetizmu i elektriciteti. Izd. »Matica Hrvatska« 1891. Str. 67.—69.

4. Veličina električne sile. Coulombov zakon. Iskustvo je međjutim pokazalo, da ta sila ni kod istoga električnoga tijela i naboja nije svagda jednaka, nego da je to veća, što je manja daljina između električnoga tijela i kuglice bazgine srčike, na koju djeluje, i obrnuto. Zanimljivo je sada pitanje, kako zavisi veličina sile od te daljine? Na to mogu odgovoriti samo veoma pomnivi pokusi s malim elektriziranim tjelešcima, kod kojih oblik već ne utječe na istraživanje. Te je eksperimente izveo već g. 1785. francuski fizičar Coulomb i našao je mučnim istraživanjem ovaj vanredno zanimljivi zakon:

„Sila, što ju dva mala elektrizirana tjelešca izvršuju jedno na drugo, jednaka je produktu (umnošku) njihovih množina elektricitete (naboja), razdijeljenu s kvadratom njihove daljine. Ta je sila odbojna, ako su oba tjelešca istovrsnoga naboja, a privlačna, ako su raznovrsnoga naboja“.

Ovako nauka ekonomički s malo riječi kazuje čitav rezultat velikoga i mučnoga rada Coulombova, a služi se često još kraćim govorom — matematičkim, pak u jednoj

matematičkoj formuli izriče čitav zakon
$$F = \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

No kako je ovaj ekonomički način izraživanja za stručnjaka mnogo vrijedan i nauci prijeko potreban, tako je on neugodan nestručnjaku, željnu znanja, jer mu je ili posve nerazumljiv ili teško razumljiv.

Red je dakle, da ga mojim čitačicama i čitačima zaodjenem u razumljivije ruho, a to nas vodi na stranu. Ne ćemo ipak to zastranjivanje požaliti.

5. Sila, mjerenje sile. Ako na tijelo ne djeluje nikakva sila, a tijelo je na miru, ostat će na miru; ako pak tijelo već ima kakvo gibanje, ostat će mu njegovo gibanje nepromijenjeno t. j. ako tijelo na pr. u prvoj sekundi prevaži 50 centimetara puta, ono će istim pravcem u svakoj sekundi prijeći 50 cm, u svakoj polovini sekunde 25 cm, u svakoj desetini sekunde 5 cm („jednoliko gibanje“ i „zakon ustrajnosti“). Na Zemlji teško ćeš

naći drugi dio toga zakona potvrđen: različne zapreke gibanju (trenje, otpor uzduha i dr.) ustavit će svako tijelo na Zemlji. Da ih nema, vidjeli bismo zakon sjajno ispunjen. No astronomija nam je pokazala takvo gibanje bez zapreka: vrtnju Zemlje oko osovine. Iz astronomskih se mjerenja pouzdano zna, da se vrijeme, što ga Zemlja treba, dok se jedanput okrene oko svoje osovine, i koje obuhvaća 24 sata, u čitavom stoljeću za stalno ne uveća niti za jedan stotak jedne jedine sekunde (0.01^s): vrtnja je Zemlje posve jednolika.

U našem primjeru je „brzina“ jednolikoga gibanja, t. j. put prevaljen u svakoj sekundi, bila 50 cm; što je veća brzina, to je „žešće“ ili „brže“ jednoliko gibanje.

Ako sada na tijelo, koje se već jednoliko giba, u smjeru toga gibanja stane djelovati kakva sila, očitovat će se to u tom, da će tijelo nakon jedne sekunde njezina djelovanja imati veću brzinu; sila je dakle dala tijelu neku novu brzinu, koja se je naprosto dodala brzini, što ju je tijelo jur imalo. To uvećanje brzine, postignuto u jednoj sekundi, zovemo „ubrženje“ ili „akceleracija“ tijela. Interesantno je sada pitanje: ako na isto tijelo djeluju sile različne jakosti, ali svaka samo 1 sekundu, jesu li „ubrženja“ jednaka ili nejednaka? Nisu jednaka! Ali su vezana uz veoma zanimljiv zakon: „ubrženja su razmjerna veličini sile, t. j. sila dvostruke, trostruke veličine daje tijelu u 1 sekundi dvostruko, trostruko ubrženje.

Uzmimo sada slučaj, da ista sila na tijelo djeluje ne jednu, nego dvije, tri sekunde, pak da mu je u prvoj sekundi dala 20 cm brzine, koliko mu brzinu dađe za dvije, tri... sekunde? Pomnivi pokusi pokazашe, da mu u dvije sekunde dađe baš točno $2 \times 20 \text{ cm} = 40 \text{ cm}$, u 3 sekunde točno $3 \times 20 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$ i t. d., dakle: od iste sile dobivena brzina raste upravo razmjerno s vremenom. Brzina dakle sveudilj raste, gibanje nije jednoliko, nego je „ubrženo“, ali kako brzina raste točno razmjerno s vremenom, govorimo u tom slučaju o jednoliku ubrženom gibanju tijela, a karakteriziramo ga tim, da je prirastak brzine u svakoj sekundi očito posve jednak, dok na tijelo djeluje ista sila t. j. sila svedjer jednake jakosti („konstantna“ sila). Kad bi

dakle netko saonice tiskao uvijek jednako, mogao bi im dati po volji veliku brzinu, kad ne bi bilo zapreka, samo bi on morao s njima letjeti isto tako brzo, kako ne bi njegov tlak najednoć prestao djelovati na saone.

Uzmimo dalje da ista sila (svedjer jednake jakosti) djeluje na željezne kugle sve većega obujma, dakle na kugle, u kojima je sve više tvari željezne a na svaku točno 1 sekundu. Neka bude druga kugla na pr. tri puta veća od prve. Pokusi pokazaše: ista sila daje toj kugli samo trećinu ubrženja. Dakle:

Ubrženja, izvedena istom silom, obrnuto su razmjerna s množinom tvari ili s „masom“ tijela. Tjelesa jednake mase dobivaju od iste sile jednaka ubrženja i obrnuto: ako dva tijela od iste sile dobiju jednaka ubrženja, ta dva tijela imaju jednake mase.

Ove tekovine iskustva i pokusa treba sada ekonomički kratko izraziti. Kako se tu radi o isporodjivanju veličina, treba za neke veličine odabrati zgodne jedinice, kako na pr. imamo za dužine tjelesa „metar“, za vrijeme „sekundu“ i t. d.

U naučnim istraživanjima odabrali su dogovorno za čitav naučni svijet tri osnovne jedinice: 1. za mjerenje dužina „1 centimetar“ (1 cm); 2. za mjerenje vremena „1 sekundu“ (s) i 3. za mjerenje masa „1 gram“ t. j. masu vode u 1 kubičnom centimetru kod temperature od 4° C.

Treće je ime malo neprilično, jer se rječju „1 gram“ u običnu životu ne označuje množina tvari vodene u 1 kubičnom centimetru, nego težina te tvari t. j. tlak one mase vode na podlogu, a taj tlak nije drugo nego neka sila. No uz nešto pomnije ne će biti teško oboje razlučivati, to više, što se u nauci za sile uvodi posve druga jedinica, o kojoj se sada možemo s mjesta dogovoriti.

Svaka nam se sila očituje u brzini, što ju ona daje zadanoj masi u 1 sekundi, dakle u „ubrženju“. Nije teško zamisliti silu, koja će djelovati baš na masu od 1 grama, pak će joj u jednoj sekundi dati ubrženje baš od jednog a centimetra t. j. ona masi od 1 grama daje u 1 sekundi brzinu od 1 cm. Tu silu odabiremo za „jedinicu sile“, pak s njom isporodjujemo veličine svih drugih sila, s kojima nas zapane makar gdje raditi. Dajemo joj i posebno ime: neka se zove „1 din“

(jedan din). Ta je riječ kratica grčke riječi „dynamis”, koja znači „sila”.

Gore spomenute zakone o odnošaju sila spram izvedenih brzina i spram masa, na koje djeluju, možemo sada doista neobično lijepo i ekonomički kratko izraziti.

Ako naime sila nije jaka 1 din, nego na pr. 5 dina, pa ova djeluje na masu od 1 grama, znamo, da će joj dati ubrženje 5 put veće, t. j. ubrženje od 5 cm, dakle se i n o v o u b r ž e n j e izražuje brojem 5. — No uzmimo sada, da ta sila od 5 dina ne djeluje na masu od 1 grama, nego na masu od 3 grama; znađemo, da joj ne može dati ubrženje od 5 cm, nego tri puta manje t. j. ubrženje $\frac{5}{3}$ centimetara. Ubrženje je izraženo brojem $\frac{5}{3}$, sila brojem 5, a masa brojem 3. Izlazi dakle:

Ubrženje ($\frac{5}{3}$ cm), što ga daje zadana sila (5 dina) određenoj masi (3 grama) nadje se, ako se broj, koji kazuje silu, razdjeli brojem, koji kazuje masu.

Nauka tu istinu zna još mnogo kraće reći „formulom”. To je tako lijepo, da se ne mogu oteti napasti, da i to učinim na riziko, da će se moji čitači prestrašiti, premda tomu nema ni najmanjega povoda. Ako je naime sila F dina, masa tijela m grama, dobit će ona od sile F ubrženje a centimetara, pak mogu napisati:

$$a = \frac{F}{m} \dots 1)$$

i to je ta strašna „matematična formula”. Pa ipak je to samo veoma lijepa i za nauku dragocjena kratica gornje rečenice. Mogu ju i ovako napisati:

$$\text{ubrženje} = \frac{\text{sila}}{\text{masu}} \dots 1)$$

[čitaj: „ubrženje jednako sila razdjeljena na masu” ili kraće „ubrženje jednako sila na (kroz) masu”].

Tko zna malo računati, izvest će s mjesta iz jednadžbe 1) ovu drugu:

$$F = m \cdot a \dots 2) \text{ t. j.}$$

sila = masa $\times$ ubrženje (čitaj:

sila jednaka masa puta ubrženje). . . 2)

Velik je broj sila u prirodi, koje fizičari moraju pomnjivo mjeriti, ako hoće da prodiru sve dublje u tajne svesilne prirode oko nas. No među njima je jedna, s kojom se na svakom koraku svakidanjega života susretamo : privlačna sila naše Zemlje, kojoj dajemo ime „teža“ (Schwerkraft). Ona izvodi „pada nje“ svih tjelesa na Zemlju u smjeru osnovnom. Zanimljivo je dakle pitanje, kolika je u dinima zemaljska tež? Pomnivi pokusi pokazaše, da ona tjelesima daje ubrženje od 981 centimetara u svakoj sekundi, tjelesa se kod padanja gibaju „jednolično ubrženom“. Uzmimo, da pada baš masa od 1 grama. Po predjašnjem zakonu 2) izlazi, da je sila teža, koja djeluje na masu od 1 grama :

$$F = 1 \times 981 = 981 \text{ dina.}$$

No ta ista sila teža, koja izvodi padanje ne poduprtoga tijela, izvodi i tlak poduprtoga tijela na njegovu podlogu, a taj tlak zovemo mi već od starine „težina“ toga tijela. U našem je slučaju to težina 1 grama. Dakle razbiramo, da je težina 1 grama jednaka 981 din ili sila od 1 dina jednaka je težini mase od $\frac{1}{981}$ grama t. j. jednaka je težini gotovo 1 miligrama.

Jedinica je sile, 1 din, dakle dosta malena sila : 1 din izvodi na svoju podlogu tlak ni malo veći nego masa od 1 miligrama !

Na masu od 1 kg = masa od 1000 grama (gr) djeluje prema tomu privlačna sila Zemlje (= težina mase od 1 kg) $F = 1000 \times 981 \text{ dina} = 981000 \text{ dina} = \text{circa } 1.000.000 \text{ dina.}$

6. Coulombov zakon. Razjašnjenje i jedinica za množinu elektricitete. Povratimo se sada privlačnoj i odbojnoj sili dviju sitnih tjelešaca, nabitih elektricitetom ! Veličina te sile zavisi po Coulombu (str. 47.) i od množina elektricitete, koje su na tim tjelešcima, pak je jednaka umnošku tih množina. Ako dakle na tjelešce A prenesem od nekuda neki električki naboj i na tjelešce B, udaljeno baš 1 cm od A, baš isto tolik naboj iste vrsti, oba će se tjelešca odbijati nekom silom ; neka ta sila bude baš sila od 1 dina. Dajmo tjelešcu A sada još jedan ovaki naboj ; na njemu je sada dvostruki naboj ; na tjelešcu B pak, koje je još uvijek daleko 1 cm od A, neka ostane onaj jedan naboj. Odbojna je sila njihova sada ne 1 din, nego 2 dina t. j. ona je dva puta tolika kao prije. I tako ide dalje :

ako tjelešce A dobije redom trostruki, četverostruki... onaki naboj, dok tjelešce B sveudilj ima samo jedan naboj i stoji 1 cm daleko od A, postat će i odbojna sila njihova redom trostruka, četverostruka... t. j. jednaka 3 dina, 4 dina i t. d. Uzmimo, da smo išli do 4 naboja; odbojna je sila sada između A i B jednaka 4 dina. Ostavimo na A tih 4 naboja, pak prenesimo sada na drugo tjelešce B još jedan onakvi naboj; odbojna je sila sada ne više 4 dina, nego 2×4 dina = 8 dina. Ako su na B 3 onakva naboja, dok su na A sveudilj njih 4, odbojna je sila jednaka 3×4 dina = 12 dina i t. d. Ako je na B na pr. 9 onakih naboja, bit će odbojna sila obih tjelešaca jednaka 9×4 dina = 36 dina. Odbojna je sila tjelešaca A i B jednaka produktu ili umnošku „obih naboja“ ili produktu obih „množinâ elektricitete“. To kazuje prvi dio Coulombova zakona.

No pri tom smo svagda uzimali, da su tjelešca razdaleku samo jedan centimetar. Uzmimo sada, da je na A naboj 4, na B naboj 9 kao i prije. Ako su razdaleko 1 centimetar, njihova je odbojna sila = 4×9 dina = 36 dina. Što će biti, ako ih razmaknemo na dva centimetra? Hoće li i sada ostati odbojna sila njihova jednaka 36 dina? Coulombovi pokusi odgovoriše: Ne! Sada je odbojna sila puno manja i to četiri puta manja nego prije, ona je sada samo $\frac{36}{4}$ dina = 9 dina! Dakle: u dvostrukoj daljini sila je odbojna već četiri puta slabija! Razmaknimo sada tjelešca na tri centimetra. Odbojna je sila u trostrukoj daljini opet puno slabija; ona nije niti 36 dina, niti 9 dina, nego je samo $\frac{36}{9}$ dina = 4 dina! Dakle je u trostrukoj daljini već devet puta slabija i t. d. Razbiramo dakle izvanredno zanimljivu istinu: odbojna se sila umanjuje mnogo brže, nego što raste daljina tjelešaca. Da ju odrediš, moraš umnožak naboja razdijeliti svagda s kvadratom daljine! Kad bismo na pr. tjelešca A i B, koja se u daljini od 1 cm privlačiše silom 36 dina, razmaknuli samo na 12 cm, bila bi odbojna sila njihova jednaka $\frac{36 \text{ dina}}{12^2} = \frac{36}{144}$ dina = točno $\frac{1}{4}$ dina, a to znači, da je sila sada već 144 puta slabija! Ovu vanredno zanimljivu istinu o električnim odbojnim i privlačnim silama kazuje u kratko drugi dio Coulombova zakona.

Nadamo se, da je sada čitatelj točno razabrao sadržaj ovoga osnovnoga zakona za djelovanje električnih sila.

Odmah ćemo ga upotrijebiti, da naučimo nešto mjeriti, čega ne vidimo! Mi sveudilj govorismo o „množinama elektricitete“ na tjelešcima ili o „nabojima“, koji da se namjestiše na površini tjelešaca; mi pače govorismo i o tom, kako su te elektricitete razdijeljene u sitne drobnice „elektrone“, koji se u tijelu nalaze u neiscrpljivoj množini, pak se u zgodnim prilikama razmjeste po tijelu i tijelo je sada „nabito“. No svega toga mi ne vidimo. Mi tek vidimo djelovanje privlačnih i odbojnih sila u okolini „nabita“ tijela, a uzimamo, kako bismo sebi složili razboritu sliku o tom, sve ono drugo. Mi izvodimo iz vidljivih učinaka nevidljive, tek duševnomu oku vidljive procese, koji su jednostavniji od opaženih učinaka. Tako nam ovdje gomilanje elektrona u sve većoj množini ima da razjasni rastenje odbojne sile. Držeći se uporno te slike, možemo sada ovako umovati. Svaki se elektron odbija s drugim iste vrste po Coulombovu zakonu i privlači s drugim suprotne vrste. Kad se je na svakom tjelešču pribrao odredjen broj na pr. negativnih elektrona, bit će njihova odbojna sila baš 1 din. Recimo, da treba da bude na svakom tjelešču baš 1 milijun negativnih elektrona. Dobismo tim na svakom tjelešču određenu „množinu elektricitete“. Ona je točno označena tim, da je odbojna sila izmedju dviju takvih množina u daljini od 1 cm baš 1 din.

Premda mi te množine elektricitete ne opažamo, možemo ipak odrediti: ova množina elektricitete neka bude jedinica za mjerenje svih drugih množina elektricitete, kao što su na pr. metar, centimetar, milimetar, mikron, milimikron jedinice za mjerenje svih ostalih dužina. Treba joj dati i ime, kao što ga ima i svaka od spomenutih jedinica za dužinu. Naučno joj ime baš nije osobito zgodno: zove se „elektrostatička jedinica“ za množinu elektricitete. No za množine elektricitete, s kojima u praksi imamo posla, ta se jedinica pokazala premalena, pak bi brojevi izlazili užasno veliki, a to je nezgodno. To se ponavlja i kod mjerenja dužina. Kad bismo na pr. za mjerenje dužina uzeli samo jedinicu „milimetar“ dobili bismo na pr. za dužinu Gundulićeve ulice u Zagrebu broj 1,000.000

milimetara. Odabiremo zgodnije veću jedinicu dužine, koja izlazi, ako sklopimo 1000 milimetara u 1 „metar“, pak dobivamo za dužinu te ulice broj 1000 metara. Tako je bilo i s „elektrostatičnom jedinicom“ za množinu elektricitete: izlazili su svagda užasno veliki brojevi, kad bi s njome mjerili, pak su poradi toga sklopili više tih jedinica u novu, veću jedinicu. Pokazalo se zgodnim, da se njih ništa manje nego tri tisuće milijuna sklopi u novu jedinicu, i toj novoj jedinici nadjenuše u čast Coulombu ime „1 coulomb“ elektricitete, jer je napokon izvedena iz njegova zakona.

Mi ćemo dakle od sada mjeriti sve množine elektricitete, sabrane na makar kojem tijelu, na coulombe, pak ćemo govoriti o množini elektricitete od „5 coulomba“, 3 coulomba, 0.3 coulomba i t. d., ali ćemo pamtit, da je množina elektricitete $1 \text{ coulomb} = 3.000.000.000 = 3 \cdot 10^9$ *elektrostatičnih jedinica* (E. S. J.).

Uzmimo, da smo na malu kuglicu A strpali množinu od 1 coulomba elektricitete, a na drugu B, udaljenu od nje 1 cm, opet množinu od 1 coulomba iste elektricitete. Koliko je dinâ njihova odbojna sila?

To je sada lak račun! 1 coulomb je tri tisuće milijuna elektrostatičkih jedinica, a svaka ovaka jedinica množine izvodi u daljini od 1 cm odbojnu silu od 1 dina, dakle je sva odbojna sila jednaka (u daljini od 1 cm!) $3 \cdot 10^9 \times 3 \cdot 10^9$ dina = $9 \cdot 10^{18}$ dina t. j. 9 trilijona dina. Po tom razbirmo, da je to već veoma velika sila. Kad bismo ju htjeli izraziti težinom, sjetili bismo se, da je 1 milijun dina ($1 \cdot 10^6$) od prilike težina mase od 1 kg, dakle bi to bila sila jednaka težini od 9 bilijuna kilograma!

Izlazi dakle, da je 1 coulomb zapravo naboj, koji izvodi strašne sile. Poradi toga je opet zgodno iz njega izvesti manju jedinicu. I to učiniše: jednu milijuntinu od 1 coulomba označuju imenom „1 mikrocoulomb“, tako, da je

$$1 \text{ mikrocoulomb} = 3000 \text{ elektrostatičkih jedinica.}$$

Kad bismo svakoj kuglici dali samo naboj od 1 mikrocoulomba, bila bi im odbojna sila u daljini od 1 cm:

$$3000.3000 \text{ dina} = 9.000.000 \text{ dina,}$$

a to bi odgovaralo od prilike težini mase od 10 kg.

Kada bismo na pr. na jednoj zdjelici vage objesili kuglicu s nabojem od 1 mikrocoulomba i onda vagu izjednačili, pak ispod nje, 1 cm daleko, držali drugu kuglicu nabitu takodjer s 1 mikrocoulombom istovrsne elektricitete, zdjelica bi se s utegama spustila; da vagu opet izjednačimo, morali bismo na drugu zdjelicu položiti utegu od 10 kilograma.

Odbojne su dakle i privlačne sile električne veoma jake.

Bilo je nužno, da se oko jedinice za množinu elektricitete iz bližega pozabavimo, jer je već danas elektriciteta stvar trgovine, pa kao što treba, da je obrazovanu čovjeku posve jasan pojam „1 kilogram“ ili „1 metar“, tako treba da mu bude jasan i „1 Coulomb“ elektricitete. Što dalje idemo u 20. vijek, to će važnija postajati ova jedinica za mjerenje množina elektricitete.

7. Napetost ili potencijal elektricitete. Ako je pred nama nabit vodič, razmjestila se po čitavoj njegovoj površini prema našem novom mišljenju o elektriciteti sva sila elektrona u veoma tanku vrstu elektricitete na granici između tvari vodića i uzduha. Kao da je vodič sav omotan tankom kožicom. Elektrone je na površinu rastjerala njihova odbojna sila i ona ih tamo i drži razmještene, baš kao što na pr. uzduh, što smo ga upuhнули u mjehur sapunice drži napetu tanku kožicu sapunice. Kožica je u „napetu“ stanju, jer, čim popusti tlak uzduha u mjehuru, kožica se sama steže i mjehur se umanjuje. I vrsta je elektrona na površini vodića u „napetu“ stanju, samo ga ovdje izvodi tlak odbojnih sila koje djeluju na elektrone.

Mi dakle s pravom govorimo o „napetosti“ kod svakoga vodića nabitoga elektricitetom, čim su mu se na površini elektroni konačno razmjestili. Kad bi naime tlak odbojnih sila popustio, elektroni ne bi ostali u svom razmještaju, nego bi s površine otišli, stali bi se gibati i komesati. Veoma je dakle zgodno isporediti vrstu elektricitete, razmještene po vodiču, s napetom tankom kožicom.

Svakomu vodiču, nabitu nekom množinom elektricitete, pripada dakle i neka „napetost“ ili učenije rečeno neki „potencijal“.

Za razumijevanje je električnih pojava nužno, da i tu „napetost“ nabitih vodiča nešto iz bližega uočimo, jer o njoj zavise mnoge važne pojave i primjene elektricitete.

Prvo je dabogme pitanje, možemo li si kakvi sud stvoriti o tom, kolika je ta napetost? Ta mi ništa ne vidimo ni od elektricitete, kamo li od njezine napetosti. Bit će dakle po svoj prilici dosta teško čak mjeriti tu napetost. No ipak nije tako. Evo zašto!

Prenesimo i mikrocoulomb elektricitete jedanput na malu mjedenu kuglu, a drugi put na veliku. Ako su dobro izolirane, razmjestit će se ta množina elektricitete po površini jedne i druge kugle u tanku vrstu. No makar da je množina elektricitete u oba slučaja jednaka, napetost njezina ne će biti jednaka! Bit će na velikoj kugli manja nego na maloj. Mora da bude tako. Napetost potiče od tlaka odbojnih sila među elektronima; ona mora da drži ravnotežu tim odbojnim silama, jer bi se inače elektroni još dalje razbježali, a ne bi ostali mirni na površini kugle. Ako pak napetost drži ravnotežu odbojnim silama elektrona, mora da je baš jednaka tim silama. No kako su kod veće kugle te odbojne sile poradi većih međusobnih daljina elektrona manje, nego kod male kugle, mora da je i napetost male kugle veća.

No isto je tako jasno: ako istoj kugli dajemo sve veće množine elektricitete, bit će na njoj i napetost elektricitete sve veća. U jednu riječ: Napetost elektricitete na vodiču zavisi i. o množini elektricitete na njemu i z. o njegovoj veličini.

Ima za tu nevidljivu napetost elektricitete lijepa analogija kod plinova. Utisnimo u zatvorenu staklenu kuglu plin. On izvršuje na stijenu kugle neki tlak, ali i on sam stoji pod tim istim tlakom. Što veće množine plina utiskavamo u kuglu, to je veći tlak plina. Tako je i s napetošću elektricitete na vodiču: što veća množina elektricitete na njemu, to veća njezina napetost. No analogija s plinom u staklenoj kugli ide još dalje. Utiskujmo istu masu plina, na pr. i gram, redom u sve veće staklene kugle! U kugli većega obujma ili veće „kapacitete“ izvršivat će taj i gram plina znatno manji tlak, nego u kugli manjega obujma. Tlak dakle plina

zavisi posve o o b u j m u staklene kugle ili kako se drukčije veli: o „k a p a c i t e t i” kugle. Baš je tako i na vodiću: odnošaj između m n o ž i n e elektricitete na njem i njezine n a p e t o s t i zavisi od njegove v e l i č i n e. Sada možemo točnije odrediti, što je ta „k a p a c i t e t a”. Jedan gram plina u kugli od 1 litre neka izvodi tlak od 1000 dina. Taj će gram u kugli od 2 litre izvoditi tlak od 500 dina, u kugli od 100 litara tlak od 10 dina, u kugli od 1000 litara samo tlak od 1 dina. O m j e r između množine uvedenoga plina i njegovoga tlaka je u tim primjerima bio: 1 : 1000 ; 1 : 500 ; 1 : 10 ; 1 : 1 ; i mi vidjesmo, da je taj omjer zavisao od v e l i č i n e kugle, dakle njezine „k a p a c i t e t e”, koja je redom bila: 1 litra, 2 litre, 100 litara i 1000 litara. Možemo dakle stvar i obrnuti: „k a p a c i t e t a” kugle određena je omjerom između m n o ž i n e plina u kugli i njegova t l a k a. Baš je tako i s elektricitetom na vodiću: i njegova je kapaciteta određena omjerom između m n o ž i n e elektricitete na njem i n a p e t o s t i njezine, dakle:

$$\text{kapaciteta (vodića)} = \frac{\text{množina elektricitete}}{\text{napetost.}}$$

Kolika je kapaciteta zadanoga vodića za elektricitetu, to se može u mnogim slučajevima izračunati, a u svakom slučaju p o k u s i m a izmjeriti. Poradi toga možemo reći, da nam je „kapaciteta” svakoga vodića p o z n a t a. Ako pak n j u znamo i još k tomu m n o ž i n u elektricitete na njem, eto nam na dlanu i mjere za n a p e t o s t elektricitete na njem:

$$\text{napetost} = \frac{\text{množina elektricitete}}{\text{kapacitetu.}}$$

Ako pak slučajno na kojem vodiću znam kapacitetu njegovu i napetost, e onda mogu izračunati, kolika je množina elektricitete na njemu, jer je očito:

$$\text{množina elektricitete} = \text{kapaciteta} \times \text{napetost} \dots 3)$$

Električno stanje nabita vodića određuju dakle tri v e l i č i n e: njegova k a p a c i t e t a, m n o ž i n a elektricitete na njem i n a p e t o s t te elektricitete. Te su tri veličine svezane medju sobom odnošajem 3). Ako znam dvije mogu treću iz-

računati. No da saznam dvije, treba da ih izmjerim. Mi znamo međjutim sada mjeriti samo množine elektricitete u „coulombima“; za mjerenje kapacitete i napetosti, još nemamo nikakvih mjera. Red je, da i te mjere nadjemo.

8. Volt. Pred nama su dva nabita vodića *A* i *B* (dvije nabite kugle). Rastavljene su uzduhom, dakle izolatorom. Neka ima *A* taki naboj, da mu je napetost elektricitete veća nego na *B*. Elektroni su se na jednom i drugom vodiću konačno razmjestili i mirnu. Sastavimo oba vodića žicom. Znamo, da će nestati predjašnje razlike u napetosti: elektroni se stali komešati, gibati i napokon se razmjestiše u posve nov namještaj po čitavom novom vodiću, koji sada sastoji od obje kugle *A* i *B* i žice, koja ih sastavlja. To gibanje elektrona traje tako dugo, dok se ne razmjestiše tako, da bude svagdje na novom vodiću jednaka napetost. Dok to ne bude, nema mirovanja u elektrona!

Obično se kaže: „elektriciteta se giba po žici s jednoga vodića na drugi, dok se napetost svagdje na novom vodiću ne izjednači“ ili se kaže: „žicom teče električna struja“, dok se napetost ne izjednači.

Obrnimo ovu nesumnjivu tekovinu pokusa! Kadgod opazimo, da se elektriciteta giba s jednoga vodića *A* na drugi *B*, kažemo: vodići *A* i *B* imaju neku „razliku napetosti“ (učenje: „potencijalnu diferenciju“), a to znači, da napetost na *A* nije tako velika kao na *B*, nego da je na *A* veća nego na *B*. Mjesto da svagda govorimo: napetost na *A* i *B* nije jednaka, govorimo radije i kraće: „*A* i *B* imaju razliku napetosti“.

No s druge strane znamo, da svaka električna struja u g r i j e žicu, kada po njoj prelazi, a grijanja nema bez izvršivanja neke r a d n j e! Dakle se kod izjednačivanja napetosti izvršuje neka r a d n j a. Tko ju izvršuje? Očito naše električne sile, koje tjeraju elektrone, da se smjeste u nov razmještaj. Zanimat će i nestručnjaka, da sazna, koliku „radnju“ izvode te sile, kada prenose elektricitetu s jednoga vodića na drugi. Al eto neprilike! Radnju ne možemo ni čim mjeriti, ako ne opet r a d n j o m, koju odabiremo za jedinicu, dakle opet nova mjera (jedinica mjere)! Nije druge, nego i tu mjeru naučiti!

Što je uopće „radnja“, koje sile? Sjetimo se sile naših mišića! Mi ne možemo utege dignuti, a da ne upotrijebimo „silu“ mišića. No kada utegu dižemo s pomoću sile mišića, izvodimo na njoj promjenu: utega se seli s jednoga mjesta na drugo, više mjesto, ona se giba. Mi dakle izvršujemo zaista radnju samo onda, ako se naša utega giba u smjeru sile, koja na nju djeluje. Za pojam radnje nije dosta, da na utegu sila samo djeluje, nego je još nužno, da se utega u smjeru sile zaista i pomiče. Utanačimo dakle: mi izvršujemo „radnju“, ako na tijelo djelujemo silom mišića i ako se to tijelo, na koje djelujemo silom naših mišića, zaista pomiče u smjeru sile. Na temelju toga utanačenja računat ćemo tu radnju to većom, što smo veću silu upotrijebili i što je duži prevaljeni put tijela. Veličina radnje stoji dakle do veličine sile i do veličine prevaljena puta. Sad je lako naći mjeru za sve radnje. Za jedinicu radnje odabiremo onu radnju, što ju izvršujemo, kada je sila baš 1 din, a put 1 centimetar. Dajemo toj radnji ime „1 erg“ ili „radnja od 1 erga“. Sada je lako u svakom slučaju reći, koliko takvih jedinica ima makar koja izvršena radnja.

Na pr. Izvršujem na tijelo silu od 9 dina i poradi toga se tijelo u smjeru sile pomaklo za 5 centimetara. Koliku sam „radnju“ izvršio?

Da je bila sila 1 din, a put samo 1 cm, bila bi izvršena radnja baš „1 erg“. No da je sila 9 dina, a prevaljeni put još uvijek samo 1 centimetar, bila bi izvršena radnja 9 puta tolika, kao prije t. j. 9 erga. No kako je ta sila od 9 dina tijelo pomakla — ne za 1 cm — nego za 5 centimetara, bit će od nje izvršena radnja, ne 9 erga, nego 5 puta tolika t. j. jednaka 5×9 erga = 45 erga. Dakle:

$$\text{radnja} = \text{sila} \times \text{put}.$$

Ili ekonomički pisano: ako je sila f dina, put pak s centimetara, bit će radnja R

$$R = f \cdot s \text{ erga}.$$

Mi dakle utanačujemo, da ćemo sve radnje mjeriti na „erge“. Tako zaista i radi nauka. No tehnika još uvijek mjeri radnje po drugoj mjeri. Ime joj je dosta čudno: kilogrammetar

To je radnja, što ju izvršim, ako na tijelo djelujem silom od 1 kilograma, pak se tijelo pomaklo od te sile, ne za 1 cm, nego za 1 metar. No kako je 1 kilogram = 981.000 dina, a 1 m = 100 cm, izlazi lako, da je radnja od 1 kilogrammetra isto što i radnja od 98,100.000 erga (u okruglom broju 100 milijuna erga).

Kad sam dakle snagom svojih mišića digao utegu od 1 kg 1 metar visoko, izvršila je sila mojih mišića radnju od 98,100.000 milijuna erga !

No radnje ne izvršuje samo sila naših mišića, radnju znadu izvršivati i druge sile na pr. napetost vruće vodene pare izvršuje radnje preko parostroja, a u našem gore spomenutom primjeru izvršuju električne sile takodjer neku radnju kod prenošenja elektronā s vodića A na vodić B. To nam se odaje u povišenju temperature žice, dakle u tom, da se je kod prelaženja elektrona razvila neka množina topline.

Izmjerivši tu množinu topline odredio sam i izvršenu radnju. No spram te izvršene radnje u veoma su zanimljivu odnošaju napetosti elektricitete na vodićima A i B. Da ga razjasnimo poznatim primjerom ! Iz visine od 60 m pada 10 kg vode poradi djelovanja sile teže, kojom Zemlja privlači sva tjelesa oko sebe, do visine od 24 m iznad tla. Svatko će sada lako izračunati radnju, što ju je ovdje izvršila sila teža u „ergima” ili u „meterkilogramima” Da budu brojevi manji, računamo ju na kilogrammetre. Sila je teža jednaka težini vode t. j. 10 kilograma, prevaljeni je put $60 - 24 = 36$ m, dakle je radnja = $10 \times 36 = 360$ meterkilograma = $981.000 \times 360 = 352,160.000$ erga.

Izvršena je radnja izišla tim, da smo množinu vode pomnožili s razlikom obiju visina vode ($60 \text{ m} - 24 \text{ m}$). Baš tako možemo i kod elektricitete odrediti :

S vodića A neka predje na B množina elektricitete od 10 coulomba ; električne sile pri tom izvršile radnju, koja je jednaka množini prenesene elektricitete pomnoženoj s razlikom napetosti obaju vodića A i B. Što je kod vode bila razlika visina, to je ovdje razlika napetosti. Dakle :

$$\text{Radnja (električnih) sila} = \text{broj coulomba} \\ \times \text{razlika napetosti.}$$

Ako su pak električne sile prenijele ne 10 coulomba nego samo 1 coulomb, onda izlazi ovaj zanimljivi odnošaj između radnje i razlike napetosti :

radnja = 1 × razlika napetosti t. j.

razlika je napetosti dvaju vodiča A i B baš jednaka radnji, koju treba izvršiti, da se 1 coulomb elektricitete prenese s A na B.

I eto nam u toj radnji zgodne podloge mjerenja bar za razliku napetosti obaju vodiča A i B, kad već nemamo mjere za svaku napetost samu. Treba naime držati na umu : ako znam razliku dvaju brojeva, ne znam još brojeva samih. Na pr. ako je razlika dvaju brojeva = 5, mogu ti brojevi biti najraznoličniji : $5 = 12 - 7 = 13 - 8 = 100 - 95$ i tako dalje.

Treba sada utanačiti dogovorom, koja radnja da pripada baš razlici napetosti, koju uzimamo za jedinicu. S praktičnih razloga utanačujemo :

„Dva vodiča A i B imaju razliku napetosti 1, ako se izvršuje baš 10 milijuna (= 10^7) erga radnje, kada se prenosi 1 coulomb elektricitete s vodiča A na vodič B. Toj mjeri za sve druge razlike napetosti dajemo i posebno ime : „1 Volt” (V). Iz toga izlazi po predjašnjoj jednadžbi :

$$1 \text{ volt} \times 1 \text{ coulomb} = 10,000.000 \text{ erga} = 10^7 \text{ erga} = \frac{1}{9.81} \text{ mkg.}$$

Prema tomu ćemo odsada na pr. govoriti, da 2 vodiča imaju „razliku napetosti” od 10 volta, ako se kod prijenosa 1 coulomba elektricitete potroši radnja od 10 milijuna erga t. j. gotovo radnja od 1 meterkilograma.

Medju vodice, na koje se s pomoću žica mogu prenositi električni naboji ide i naša Zemlja ; no kako je to kugla neizmjereno velika spram kuglica mjedenih, na kojima mi kod naših pokusa spremamo električne množine, možemo reći, da će elektroni, prešavši s vodiča A na površinu Zemlje, na njoj dati neizmjereno tanku vrstu elektricitete. Napetost će te vrste biti dakle baš jednaka nuli. Napetost elektricitete na Zemlji (učenje : „potencijal Zemlje”) izjednačujemo svagda s nulom. Ako sada ispore-

djujemo napetost vodiča *A* s napetošću Zemlje (vodič *B*), izlazi, da je „razlika njihove napetosti“ upravo jednaka „napetosti vodiča *A*“. Ako naime velimo: razlika napetosti između vodiča *A* i Zemlje (vodiča *B*) jednaka je 10 V, a uzimamo, da je napetost Zemlje jednaka nuli, e onda smijemo takodjer reći, da je napetost vodiča *A* baš 10 V t. j. mi možemo sada na volte mjeriti baš samu napetost svakoga vodiča. Ne trebamo ništa drugo učiniti, nego izmjeriti razliku njegove napetosti spram napetosti Zemlje. Ako dakle govorimo, da vodič *A* u ovom času ima napetost 6 V (volta), rekli smo time da električne sile moraju izvršiti radnju od $6 \times 100,000,000$ erga, da prenesu 1 coulomb elektricitete s vodiča *A* na Zemlju.

Iz naših dosadanih razmatranja razbiramo doduše, kako se može doći do jedinice za mjerenje napetosti elektricitete razmještene na vodiču, do toga, što je „1 volt“. No sada dolazi više praktično pitanje. I kod mjerenja dužina znamo, kako je postao „1 metar“ i što je „1 metar“ (jedna desetmilijuntina zemaljskoga kvadranta) i treba da to znamo. Tako treba da danas i znamo, kako je postao „1 volt“ i što je on. No za praktično mjerenje dužina treba imati mjeru izvedenu na tom temelju, treba imati „metrički štapi“, razdijeljen još i u manje česti. Tako treba i u električnoj praksi imati instrumenta, da s njegovom pomoći zaista možemo izmjeriti napetost makar kojega vodiča u voltima. U tu se svrhu može zgodno upotrijebiti „elektroskop sa zlatnim listićima“, aparat svakomu početniku dobro poznat. Ako malu kuglicu elektroskopa spojimo žicom s velikim vodičem *A*, na kojem je napetost na pr. 100 volta, primit će i ona napetost 100 volta, a papirići će se razići do neke daljine. Ako elektroskop spojimo s vodičem, koji ima 200 V napetosti, papirići će se razići više, ali svaki put, kad bude napetost 200 V, isto toliko. Treba dakle samo zgodno zabilježiti otklone papirića kod 100, 200, 300 i t. d. volta, pak smo dobili dobar „instrument za mjerenje napetosti“, da s mjesta izmjerimo u voltima napetost makar kojega nabitoga vodiča. Takih je „kalibriranih“ elektroskopa načinjeno više; ovdje donosimo samo sliku F. x. n. e. r. o. v. o. g. a elektroskopa (sl. 3.) i Braunovoga apso-

lutnoga elektrometra (sl. 4.). U prvom su 2 zlatna listića na izoliranomu kovnomu štapu, a kraj njih je mjerilo za otklone. Pločice sa strane C i D služe tek za to, da se listići elektroskopa ne raskinu. U drugom je samo jedno lako kazalo od aluminija Z. Kad u njem nema naboja, kazalo se dotiče lima M. Kad je nabit, kazalo se Z odbije od lima M. Veličina njegova otklona je mjera za napetost. Na razdiobi slike odgovara svaka crta napetosti od 100 V (volta). No kod ovih instrumenata treba nešto uzeti na um. Kada spojim vodić M,



Sl. 3.

Elektroskop Exnerov (kalibriran).



Sl. 4.

Apsolutni elektrometar Braunov.

koji ima na pr. 1000 V napetosti s kuglicom A jednoga ili drugoga elektroskopa preći će nešto elektricitete s vodića M na elektroskop. Napetost vodića sada ne može nikako da bude točno 1000 V, nego je nešto manja i elektrometar ne pokazuje dakle napetost, što ju vodić prije spoja imao, nego njegovu novu napetost. No ako elektrometar ima spram vodića M veoma malenu kapacitetu, bit će i množina elektricitete, koja je prešla na njega do iščezavanja malena, pak se zaista može uzeti, da se napetost nije ništa umanjila.

Exnerov i Braunov elektroskop suviše su neosjetljivi za finija naučna istraživanja. Mnogo osjetljivije instrumente sagradio je Englez Lord Kelvin (Sir W. Thomson). Najvažniji mu je „kvadrantni elektrometar. S njime se mogu mjeriti izvanredno male napetosti a i isto tako male množine elektricitete. Nije ovdje mjesto, da se ti aparati opisuju.

9. Mjerenje kapacitete. Farad. Iz zakona

$$\text{Napetost} = \frac{\text{množina elektricitete}}{\text{kapacitetu}}$$

čita svatko ovaj izvod: Da dobijemo na kojem vodiću veliku napetost elektricitete, nije baš nužno, da uzmemo velike množine elektricitete; i s malom množinom elektricitete mogu dobiti veliku napetost elektricitete na vodiću; treba samo da mu bude „kapaciteta“ malena, jer što manja kapaciteta, to veća napetost. Želeći dakle mjeriti napetost, treba da si svaki čas umijemo stvoriti pouzdan sud i o kapaciteti vodića za elektricitetu t. j. treba da imamo „mjeru“ i za kapacitetu vodića. Ta dabogme ne može da bude drugo, nego kapaciteta kojega dogovorom izabranoga vodića. No kako iz gornjega zakona izlazi, da je

$$\text{kapaciteta} = \frac{\text{množina elektricitete}}{\text{napetost}} = \frac{\text{broj coulomba}}{\text{broj volta}}$$

reći će to, da je kapaciteta tijela svagda jednaka omjeru između množine elektricitete, koja je baš na njem, i napetosti njezine. Možemo sada dogovorno odrediti: onaj vodić ima za elektricitetu „jedinicu kapacitete“, koji nabojem od 1 coulomba dobije baš napetost od 1 volta. Toj kapaciteti dajemo posebno ime: u čast znamenitomu fizičaru Farada y u dobila je ime „1 farad“. Prema tomu imamo:

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

Na pr. Braunov mi elektrometar pokazuje, da je na vodiću napetost od 2000 volta, s druge sam pak strane doznao, da je

na njem naboj od $\frac{1}{200}$ coulomba. Iz tih podataka razbiram, da je kapaciteta toga vodića (za elektricitetu):

$$\frac{\frac{1}{200} \text{ coulomba}}{2000 \text{ volta}} = \frac{1}{400.000} \text{ farada.}$$

Pokazalo se je, da vodići, s kojima mi izvodimo električne pokuse, imaju mnogo manje kapacitete od 1 farada; poradi toga izlaze za kapacitete veoma maleni brojevi: razlomci s velikim nazivnicima. Zgodno je dakle „1 farad“ razdijeliti na milijun jednakih dijelova i tomu malomu dijelu dati ime „1 mikrofara d (= mali farad). Prema tomu bi naš predjašnji vodić imao kapacitetu:

$$\frac{1}{400.000} \text{ farada} = \frac{1.000.000}{400.000} \text{ mikrofara d} = 2.5 \text{ mikrofara d.}$$

I za praktično mjerenje kapaciteta ima posebnih instrumenata. Načini se naprosto vodić, koji ima određen broj mikrofara d na pr. $\frac{1}{10}$ mikrofara d; s njim se isporanjuju kapacitete drugih vodića.

10. Električna energija nabita vodića Na vodiću je 10 coulomba elektricitete i on pokazuje napetost od 10 volta. Sastavimo ga sa Zemljom, za koju znamo, da joj je napetost = nuli. Znamo otprije, da će električne sile vodića svih 10 coulomba elektricitete odbiti do Zemlje t. j. prenijeti s jednoga mjesta na drugo. Električne su sile vodića izvršile tim neku radnju, baš kao što je izvršila i mišićna moja sila neku radnju, kad je prenijela neku množinu materije (neku masu) s poda sobe na stol. Mi znamo, kolika je ta radnja, što ju izvršiše električne sile našega vodića:

$$\text{Radnja} = \text{broj coulomba} \times \text{broj volta.}$$

Želimo li ju izraziti u našoj jedinici radnje u ergima, moramo taj broj pomnožiti još sa 100,000.000 = 10^7 , jer je

$$1 \text{ coulomb} \times 1 \text{ volt} = 10^7 \text{ erga.}$$

Želimo li pak tu radnju izraziti u meterkilogramima, morat ćemo gornji broj razdijeliti na 9.81 dijelova, jer je:

$$1 \text{ coulomb} \times 1 \text{ volt} = \frac{1}{9.81} \text{ meterkilograma.}$$

Ako je na pr. na vodiču napetost od 20.000 volta, a množina elektricitete od 400 mikrocoulomba = $\frac{4}{10\,000}$ coulomba, pak električne sile njegove tu množinu elektronā potjeraše preko žice do Zemlje, izvršiše radnju od

$$20.000 \text{ volta} \times \frac{4}{10000} \text{ coulomba} = 8 \text{ voltcoulomba} = 80 \text{ milijuna erga} = 0.815 \text{ mkg.}$$

Tu su radnju električne sile mogle izvršiti samo s toga, što je na vodiču bilo spremljeno 400 mikrocoulomba elektricitete. Ali iz toga izlazi nužno: da na nenabit vodič spremim tih 400 mikrocoulomba elektricitete, trebalo je izvršiti isto toliku radnju: bez radnje nema naboja!

Trebalo je dakle u naš vodič uložiti 80 milijuna erga radnje (= $\frac{8}{10}$ meterkilograma radnje), da on dobije naboj od 400 mikrocoulomba! On tu radnju na sebi pohranjuje, pa kad mu daš prilike, da radi t. j. da prenosi svoju elektricitetu na drugo mjesto, on zaista izvrši svih 80 milijuna erga radnje!

Drukčijim okom gledamo sada nabit vodič: on je za naše duševno oko sijelo ili izvor radnje; ta je radnja na njemu pohranjena i on ima sposobnost, da tu radnju i izvrši, čim mu dadeš za to prilike. Mjesto tih mnogih riječi govori nauka kraće: **s v a k i n a b i t i v o d i č i m a „ e n e r g i j e ”.**

A tim neće da reče ništa drugo, nego da je na njem spremljena neka množina radnje (u našem primjeru 80 milijuna erga), pak da čeka samo zgodnu priliku, kako bi tu radnju i zaista izvršio. Na pitanje, kolika je energija našega nabita vodiča, odgovaramo: 80 milijuna erga. Toliko je erga on morao potrošiti, da dodje do svoga naboja, a toliko nam erga može i dati, kada dodje u priliku, da zaista radi. Završujemo s veoma važnom spoznajom.

„Svaki elektricitetom nabit vodič sijelo je ili izvor neke energije t. j. on može da izvrši odredjenu množinu radnje. Ta se radnja izračuna, ako se množina elektricitete na njem pomnoži s njegovom napetošću”.

Možeš taj nabit vodič isporučiti čovjeku željnu rada, a odsudjenu, da miruje. I u njem energija drijema, traži oduška, a nema ga. Blago onomu, tko umije zalihu energije, koju ima od prirode, mudro upotrebljavati!

Upotrijebivši dakle određen broj erga radnje, smjestili smo na naš vodič neki broj elektrona; oni se razmještaju po njegovoj površini, dok se napokon konačno ne razmjestiše tako, da bude napetost svagdje na vodiču jednaka. No je li i množina elektricitete na svakom kvadratnom centimetru (1 cm^2) vodiča jednako velika t. j. ima li svaki kvadratni centimetar isti broj elektrona? Je li dakle „gustoća elektricitete“ svagdje na vodiču jednaka?

To zavisi posve od oblika vodiča. Ako se vodič završuje šiljkom, pokusi pokazaše,¹ da je gustoća elektricitete na šiljku i na kud i kamo veća, nego drugdje; tamo se na 1 cm^2 skupilo kud i kamo više elektrona, nego na 1 cm^2 drugdje. Jedina je kugla onaj oblik vodiča, gdje je isti broj elektrona razmjesti svagdje na 1 cm^2 , na kugli je dakle ne samo napetost električna svagdje jednaka, nego i gustoća njezina. Kod svakoga drugoga oblika vodiča imamo doduše svagdje na njemu jednaku napetost, no gustoća je elektricitete to veća na jednom mjestu, što je jača krivina površine. Ta činjenica ima važnu posljedicu. Što su elektroni gušće poredjani jedan uz drugi, to su jače i njihove odbojne sile. Može se dogoditi, da one narastu tolike, te se elektroni ne mogu više da drže na granici između vodiča i uzduha, nego svladaju otpor izolatora (ovdje uzduha oko njih), pak se otisnu i u nj, u uzduhu onda lete elektroni. Oni sobom povuku i čestice uzduha, pak postaje „električni vjetar“.²

11. Električna influencija. Naš prijedlog osnovnih električnih pojava i pojmova u vidu novoga mišljenja o elektriciteti ne bi bio potpun, da se ne taknemo još jednoga pojava, kojemu se zapravo ne bismo ni nadali!

Mi razumijemo sada, da staklen štap svoje pozitivne elektrone čuva na mjestu, gdje su se trenjem razvili; oni se doduše međusobno odbijaju, no ne mogu preko ruke u Zemlju, jer im je staklo zahrtvilo put. No ako se štapa taknemo na mjestu, gdje ima suvišak pozitivnih elektrona, kovnom kuglicom na staklenu dršku („kušalica“), ipak će na nju prijeći nešto pozitivnih elektrona iz najbliže okoline i ja mogu taj mali

¹ Ispr.: Kučera, Crte o magn. i elektr. str. 75—79.

² Ispr.: Kučera, Crte o magn. i elektr. str. 96.

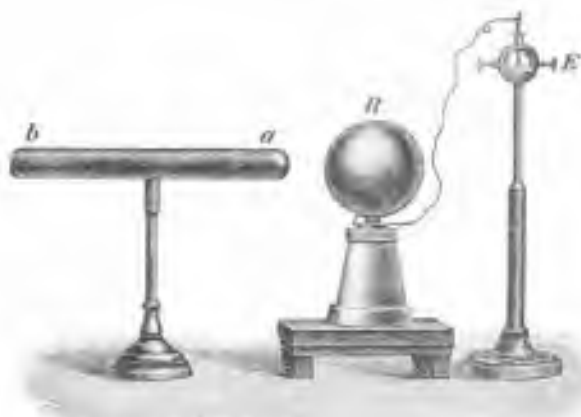
naboj prenijeti i na kuglicu elektroskopa, po kojem se elektroni posve slobodno gibaju i napokon po čitavom elektroskopu razmjestе.

Mogli bismo to pokušati i direktno sa staklenim štapom. S onoga mjesta štapa, gdje će se on dotaći kuglice elektroskopa, prijeći će nešto pozitivnih elektrona i na vodič elektroskopa i raširit će se po njem, pa će papiriće rastjerati. Prevarismo se ! Papirići se razilaze već prije, nego se štap dotakao kuglice. Oni se opet sklope, kada štap odmaknem. Na svako približavanje i odmicanje štapa papirići odgovaraju posve pravilno rasklapanjem i sklapanjem. Čudna pojava zar ne? Ali ju je lako razumjeti i rastumačiti u vidu našega novoga mišljenja. Mogli smo ju pače i prereći. Ako je naime istina, da kovni dio elektroskopa ima već u svom običnom (neutralnom) stanju obje vrste elektrona, pak ako je dalje istina, da se oni u vodiču mogu posve slobodno gibati bez ikakve zapreke, očito je, da će električan štap, držan iznad kuglice elektroskopa, u njem izvesti razlučenje obiju vrsta elektrona. Pozitivni će elektroni štapa privući u kuglicu negativnih elektrona, a odbit će pozitivne u papiriće, i ovi se rasklope. Kada štap odmaknemo, elektroni se s mjesta smiješaju i papirići se sklope. Pojava nam dakle sada nije ni malo čudna. Zovu ju u nauci „električna influencija“, pak se kaže: vodič u elektroskopu postao je influencijom električan.¹ Na njem su svagda obje vrste naboja: u kuglici je negativan, u papirićima pozitivan naboj. Drugi naboj mogu, dotakavši se mokrim prstom kuglice, odvesti u Zemlju, prvi ostaje u kuglici. — To su nam sada sve po sebi razumljive stvari. No kod influencije ima još nekih pojava, koje nam je iz bližega uočiti, jer su u novoj elektrotehnici postali neizmerno važni. Kod običnih pokusa o električnoj influenciji uzima se staklen štap nabit pozitivnom elektricitetom za tijelo, koje budi influenciju u drugom tijelu. Na njemu pozitivni elektroni nisu slobodni, oni ostaju na svom mjestu, ne pomiču se nikuda. Posve će se pak drukčiji pojavi javljati, ako mjesto staklena štapa upotrijebimo nabit vodič na pr. nabitu mjedenu kuglu, po kojoj se elektroni mogu bez zapreke pomicati, i za

¹ Isp.: Kučera, Crte o magn. i elektr. str. 67.—73.

koju znamo, da joj je gustoća elektricitete svagdje jednaka, kad su se elektroni jednoć konačno razmjestili. Učinimo pokus!

Na izolatoru stoji mjeđena kugla *R* (sl. 5) spojena s Exnerovim elektrometrom, koji pokazuje napetost u voltima. Nabijmo kuglu na pr. do 1500 volta iz električnoga stroja s pozitivnom elektricitetom. Sada tek namjestimo pred kuglu vodič *ab*. On će postati influencijom kugle *R* električan: kod *a* bit će negativan naboj, kod *b* pozitivan. No i na kugli će *R* nastati promjena u razmješčaju elektrona na njoj: gustoća ne će ostati svagdje na površini jednaka, elektroni će se namjestiti u nov



Sl. 5 Električna influencija.

razmješčaj tako, da bude ravnoteža izmedju sila izlazećih od *a b* i od *R*. Dakle:

Prisutnost influenciranoga tijela mijenja gustoću elektricitete u svakoj točki kugle *R*.

Ali ni napetost elektricitete na kugli *R* neće ostati 1500 volta: listići će se nešto sklopiti i pokazivat će samo 1300 volta. Napetost se je na kugli *R* u manjila znatno prisutnošću influenciranoga tijela *ab*! Ako pak vodič *ab* još žicom sastavimo sa Zemljom,¹ pak time pozitivni naboj prenesemo s *b* na Zemlju, sklapat će se s mjesta papirići još dalje i stat će kod 600 volta. Dakle se je prisutnošću influenciranoga

¹ Mjesto riječi »tijelo žicom sastavimo sa Zemljom«, rabić ćemo često kraticu »ozemljiti«.

tijela ab , sastavljenoga sa Zemljom, umanjila napetost naše kugle R gotovo na $\frac{1}{3}$!

Evo novih neospornih činjenica:

1. Napetost se nabita vodića umanjuje, ako mu je blizu influencirano tijelo.

2. Ako se pak nabitu vodiću (R) približi drugi vodić, koji je sastavljen sa Zemljom (ab), umanjuje se napetost prvoga vodića veoma jako.

Što je to? Ta na kugli R ostala je ista množina elektricitete (isti broj coulomba), ostao joj je i isti oblik. Sama prisutnost ozemljenoga vodića učinila je, da se je napetost (broj volta) silno umanjila! Omjer između množine elektricitete (broja coulomba) i napetosti (broja volta) označismo prije „kapacitetom“ vodića:

$$\text{kapaciteta} = \frac{\text{množina elektricitete}}{\text{napetost.}}$$

Ako je dakle uz istu množinu elektricitete prisutnošću ozemljenoga vodića napetost u nazivniku umanjila, taj je omjer postao veći. Mi dolazimo do posve nove nenadane spoznaje:

„Samom se prisutnošću ozemljenoga vodića kapaciteta svakoga vodića znatno povećava. Iz toga pak izlazi, da sada možemo tomu vodiću dovoditi još novih elektrona, dakle mnogo više elektricitete nego prije, dok dodje do predjašnje napetosti t. j. vodić se sada može mnogo jače nabiti nego prije.

Na toj se činjenici osniva poznata Leydenska boca i Franklinova tabla,¹ a osniva se na tom i ovdje nashikani „kondenzator“ (= sgušćivač elektricitete).

Glavne su mu česti dvije kovne ploče A i B na staklenim nogama (sl. 6); ploče si stoje nasusret. Ploča je A čvrsto spojena sa stalkom, ploča se B može s pomoću ručice K pomicati k ploči A ili od nje odmicati. Dok je B jako daleko od A , spoji se A s konduktorom električnoga stroja i nabije, dok joj se napetost ne izjednači s napetošću konduktora. Dalje nabijanje

¹ Isp.: Kučera, Crte i t. d. str. 97. i dalje.

ne ide. No ako joj se sada ozemljena ploča *B* namjesti blizu, postala je napetost na *A* mnogo manja, pak će sada s konduktora teći na ploču *A* nova množina elektricitete, dok se opet ne izjednače njihove napetosti. Ploča je *A* dakle sada mogla mnogo više elektrona primiti, nego prije, dok nije bila blizu ploče *B*. Ploča se *A* zove „kolektorna ploča“ a ploča *B* „kondenzatorna ploča“ s razloga, koji su sada posve jasni.

Kolektorna ploča ima mnogo veću kapacitetu, kad joj je nasusret ploča *B*, nego kada se ova daleko odmakne.

Kolika je kapaciteta takova kondenzatora (zapravo kolektorne ploče *A*), to zavisi: 1. o veličini ploča, 2. o obliku ploča i 3. bitno o daljini obiju ploča.

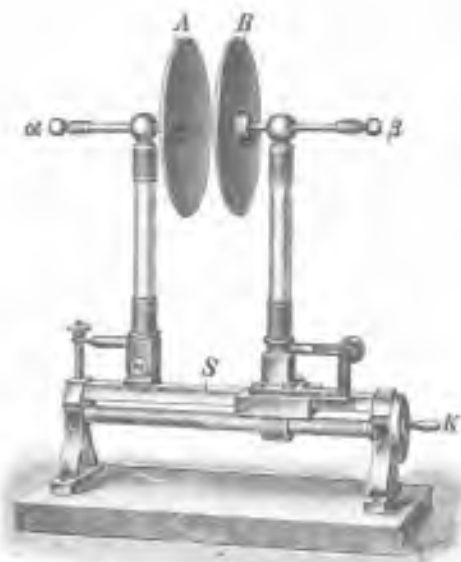
Što je manja daljina njihova, to je veća kapaciteta kondenzatora.

Što su veće ploče kondenzatora, to je veća njegova kapaciteta.

12. Električno polje

nabita vodiča. Kod kondenzatora otkrio je Fa-

rada y novu pojavu, kojoj se ne bismo ni nadali. Kod prije opisana kondenzatora bio je u zduh između ploča *A* i *B* i on je bio izolator, koji je priječio prelaženje elektrona s jedne ploče na drugu. No uzduh nije jedini izolator; ima ih sva sila; osobito su poznati staklo, kaučuk, sumpor, parafin, tinjac, ulja, pa napokon i svi drugi plinovi, kao na pr. vodik, dušik i t. d. Gotovo je na dlanu pitanje, a što je s kapacitetom kondenzatora, ako bi se mjesto uzduha smjestio među ploče *A* i *B* koji drugi izolator na pr. staklo ili kaučuk?



Sl. 6. Kondenzator.

I tu se je Faradayu očitovala prvi put veoma važna činjenica :

Kapaciteta se istoga kondenzatora znatno mijenja, ako se uzduh između njegovih ploča naknadi kojim drugim izolatorom na pr. staklom. Mjerenje je pokazalo, da je kapaciteta kondenzatora kod svih drugih čvrstih i tekućih izolatora veća nego kod uzduha, a kod plinova jednaka kao kod uzduha.

Svaku izolatoru dakle pripada svojstvo, da on bitno utječe na pojavu električne influencije. Izolatori imaju dakle pored svojstva, da elektrone izoliraju, još i to novo svojstvo, da bitno utječu na pojavu influencije. Ako se baš ovo njihovo svojstvo uzme na oko, daju im ime „dielektrikum“. Riječi „ne vodič“, „izolator“ i „dielektrikum“ znače jedno te isto, tek se svaki put uzima drugo svojstvo tih tjelesa spram elektricitete na oko.

Interesantno je bilo ispitati, koliko je puta veća kapaciteta zadana kondenzatora, kada se upotrijebi drugi dielektrikum mjesto uzduha. I to je sa svom pomnjom, koja rijesi istraživanja fizičara, izvedeno, pak su dobili za svaki dielektrikum broj, koji nam kazuje, koliko je puta veća postala kapaciteta kondenzatora. Tim su brojevima dali ime „konstanta dielektricitete“. Evo maloga prijevoda takih brojeva.

Konstant dielektricitete.

Parafin	2.3	Tinjac	8.0
Kaučuk	2.9	Staklo (prema vrsti) .	6—10
Ebonit	2.6	Ulja (prema vrsti) . .	2—5
Sumpor	3.9	Plinovi	1

Po toj tablici razbirmo, da su tinjac i staklo najbolja dielektrika, jer prvi, umetnut među ploče kondenzatora, uvećava njegovu kapacitetu 8 puta, a staklo prema tomu, kakovo je, 6 do 10 puta ! Razbirmo dakle, da je bolje za izolatore između ploča uzeti čvrsta tjelesa mjesto uzduha, a tako se kod Leydenskih boca i radi. Ona se i više opiru izjednačivanju suprotnih elektriciteta sabranih na pločama kon-

denzatorâ u velikoj gustoći. Te elektricitete naime puno lakše svladaju otpor uzduha, pak se kroza nj u obliku iskre spoje i kondenzator isprazne. Ako dakle treba kondenzator j a k o nabiti, uklopit ćemo medju ploče kao izolator (ili kao dielektrikum) parafin, staklo ili tinjac.

Nazvasmo ovo otkriće F a r a d a y e v o veoma značimim u području djelovanja električnih silâ, makar da je na oko neznatno. Važno je poradi toga, što je bilo ishodište cijelomu nizu veoma važnih zaključaka. Neće ni čitateljicama ni čitateljima ove knjige biti žao, ako se malo zavezu strujom tih misli.

Na pločama su kondenzatorâ sabrane neke množine suprotnih elektricitetâ i medju njima djeluje po Coulombovu zakonu (str. 31.) jaka p r i v l a č n a sila. Veličina bi te sile po Coulombovu zakonu smjela zavisiti samo o broju coulomba sabranih na pločama i o njihovoj daljini. Da li je izmedju ploča p r a z a n prostor, ili je tamo uzduh, staklo i t. d., privlačna bi sila svagda morala biti i s t a. No tome se očito opire naše otkriće.

Jer što nam zapravo kaže to otkriće? Ako naknadim uzduh na pr. petrolejem, postaje kapaciteta moga kondenzatora 2.2 puta veća. No mi znamo, da je

$$\text{kapaciteta} = \frac{\text{naboj}}{\text{napetost}}$$

Kod naknadjivanja uzduha petrolejem, ostao je naboj ploča (= množina elektrona) na pločama očito isti. Ako je pak kapaciteta ipak porasla 2.2 puta, morala se je napetost (jer je u nazivniku) toliko puta u m a n j i t i. Što pak znači to, da je sada napetost 2.2 puta manja? Ništa drugo, nego da je i p r i v l a č n a sila obaju naboja sada postala toliko puta m a n j a. Na pr. Ako je na svakoj ploči 1 mikrocoulomb elektricitete, a pločice su daleko 1 cm, ta bi privlačna sila u u z d u h u bila 9 milijuna dina, dakle od prilike jednaka tlaku od 10 kilograma. To bi nam vaga potvrdila. No čim bismo uzduh naknadili p e t r o l e j e m, ne promijenivši ništa ni naboja ni daljine pločica, sila bi bila $9 \cdot 10^6 : 2.2$ dina = 4 milijuna dina, a to odgovara od prilike tlaku od 4.5 kilograma. Svaki dielektrikum ima dakle svojstvo, da u m a n j u j e privlačnu ili odbojnu silu u omjeru prije navedene njegove konstante.

Iz te pak činjenice moramo sada dalje izvoditi zaključke. Ako drugi dielektrikum umanjuje privlačnu silu, očito je, da se elektroni, sabrani na pločama, ne privlače bez obzira na sredstvo između njih; privlačna sila, koja izlazi od ploče *A*, ne hvata na ploči *B* tako, da se od nje ne bi ništa opazilo u sredstvu, koje je između njih, t. j. ta privlačna sila nije, kako se prije mislilo, sila u daljini (*Fernkraft*), nije sila, koja preskače s jedne ploče na drugu jednako, ima li između ploča kakva tvar ili ne. Baš se obrnuto zbiva, kako vidjesmo: sredstvo bitno utječe na veličinu privlačne sile! Naboj ploče *A* dakle na svaki način nekako utječe na dielektrikum, mijenja nekako njegovo stanje, a tim se mijenja i veličina sile. Vidjesmo, da se sila znatno umanjuje, ako se uzduh naknadi kojim čvrstim tijelom ili tekućinom.

Tu nam se otvara posve nov vidik! Da ga bolje noćimo, upotrijebimo ovaj lijepi primjer iz svakidanjega života. Čovjek sjedi za stolom, a na stolu je čaša. Mi vidimo, da se čaša po stolu giba, ali ne vidimo, da ju baš on svojom rukom pomiče. Prva će nam misao biti, da između čaše i čovjeka postoji neka tajna sveza s pomoću konaca, kojih ne vidimo, ili s pomoću kakova stroja sakrivena u stolu; mi ćemo nastojati, da tu svezu otkrijemo, uvjereni, da čovjek samom svojom voljom ne može da na čašu prenese gibanje. Moglo bi biti i to, da se čaša zaista ni ne giba, nego da je to obmana, kakove nas i inače dosta salijetaju u realnom životu. No recimo, da nam sve istraživanje ostane bez uspjeha: mi ne možemo da otkrijemo nikakve sveze između čovjeka i čaše, ne možemo se uvjeriti, da je gibanje čaše obmana. Što sada? Mi ćemo i sada biti uvjereni, da između čovjeka i čaše postoji realna sveza, tek ćemo priznati, da je mi nismo kadri otkriti i razumjeti, ali ne ćemo ni doći na misao, da bi čovjek naprosto silom svoje volje djelovao u daljinu na čašu, pak ju gibao.

U posve su sličnoj prilici bili ljudi spram privlačnih i odbojnih sila dvaju razmaknutih električnih nabojâ. S početka se doista činilo, kao da jedan naboj djeluje na drugi u daljinu, kao da ima svoju volju, pak mu zapovijeda, da ide tamo ili amo. No tomu se mišljenju opire zdrav razum; u tom je mišljenju nešto mistično, spiritistično. Otkrće nam Faradayevo

pak potvrđuje, da zaista n e m a takova djelovanja u daljinu, jer sredstvo između ploča m i j e n j a silu. Mi ćemo dakle morati uzeti, da sredstvo između ploča A i B (uzduh, staklo) nekako p o s r e d u j e kod djelovanja privlačne sile ploče A na ploču B , da preko njega postoji r e a l n a sveza između ploča A i B poput onih tajnih konaca između čovjeka i čaše. No priznat ćemo iskreno i to, da m i t e sveze još ne vidimo, da je ne možemo prvo razumjeti, tek znamo sada da postoji. Naše je dakle prvo nastojanje, da razotkrijemo te tajne niti, kako bismo potpuno razumjeli mehanizam, koji postoji između A i B , pak izvodi onu privlačnu silu. Mi vidimo rezultat te tajne mašine, naime privlačenje, ali ne vidimo ni mašine niti je razumijemo. F a r a d a y se čitavi svoj život trudio, da otkrije te nitove pokusima i da pokaže, k a k v a je ta realna sveza između ploča A i B . Uspio je dobrano, a njegove je misli još više slijedio drugi veliki engleski fizičar M a x w e l l, pak je plod njihova truda, da mi danas u prirodi ne dopuštamo nikakvih n e p o s r e d n i h sila, koje bi kroz prostor neposredno djelovale u daljinu na drugo tijelo, nego uzimamo, da su sve prirodne sile p o s r e d n e sile t. j. da između obaju tjelesa, na kojima se sila očituje, svagda postoji r e a l n a sveza, koja prenosi djelovanje od A na B .

Pitajmo se sada, kakovi bi ti tajni nitovi mogli biti između električnoga naboja na ploči A i naboja na B ? Što je između A i B ? Uzduh, staklo ili koji drugi dielektrikum (izolator). No te tvari sastoje od atoma slijepljenih u molekule, a molekuli su opet među sobom slijepljeni u materijalna tjelesa. Što je ljepak između tih atoma i molekula? U predjašnjem odsjeku vidjesmo, da to ne može biti ništa drugo nego svemirski e t e r, jer druge tvari u svemiru ni nema osim etera i atoma. Ako dakle kop atom izvršuje učinke na koji drugi, ako jedan molekul izvršuje učinak na drugi, ako napokon tijelo izvršuje učinak na drugo udaljeno, mora da je p o s r e d n i k za te učinke svemirski eter, jer on ispunjuje sve šupljine između materijalnih čestica i sav svemirski, na oko prazni prostor. Kada dakle vidimo, da elektroni ploče A djeluju na elektrone ploče B , zaključujemo, da se n e š t o zbiva u e t e r u između njih, pak da se posljedak toga nama očituje kao privlačna sila

između jednoga i drugoga naboja. U jednu riječ: svemirski je eter prenosilac električnih pojava s jednoga tijela na drugo.

No taj je isti eter i prenosilac svjetlosti, pak svjetlost i nije drugo nego fizički učinak svemirskoga etera. Znamo, da svjetlost prolazi i kroz tjelesa, jer je po našem znanju eter i dio svakoga tijela. No mi vidimo, da ta tjelesa ipak izvode neke promjene u svjetlosti, gutaju (apsorbiraju) svjetlost, odbijaju ju i lome, a to nam dokazuje, da između atoma i molekula tjelesnih i etera postoji realna sveza, pak da po njoj djeluju jedni na druge.

Brzina je svjetlosti vani u eteru 300.000 kilometara u sekundi ($= 30$ hiljada milijuna centimetara $= 3 \cdot 10^{10}$ cm). No različna prozračna tjelesa imaju svojstvo, da se svjetlost u njima različnom brzinom rasprostire, na pr. u vodi brzinom od 225.000 km. u staklu brzinom od 200.000 kilometara. Što je manja brzina svjetlosti u kojem prozračnom tijelu, to se jače u njem lomi svjetlost, to je veći njegov „indeks lomljenja”.¹ Za staklo je (flint) na pr. taj broj $= 1.75$, dok je za nj konstanta dielektricitete $= 3.16$.

Ako je doista isti eter prenosilac i svjetlosti i električnih pojava, postojat će između tih dvaju brojeva neki odnošaj. Najveća je zasluga spomenutoga Maxwella, da je taj odnošaj našao:

Ako se indeks lomljenja sam sobom pomnoži (na kvadrat digne), i zadjesvagda konstanta dielektricitete istoga tijela. Evo tomu potvrde:

Tvar	Konstanta dielektricitete	Kvadrat indeksa lomljenja
Sumpor	3.97	3.89
Parafin	2.00	2.01
Staklo (flint)	3.16	3.05
Petrolej	2.07	2.07
Terpentinovo ulje . . .	2.23	2.13

¹ Isp.: Kučera, Valovi i zrake. Zagreb, 1903. str. 184.

U ovom veoma znamenitom otkriću nalazimo već drugu potvrdu, da dielektrikum utječe na prenošenje električnih pojava s jednoga tijela na drugo, ali saznajemo još i to, da taj prenosilac električnih pojava nisu molekuli i atomi sami, nego zapravo eter, koji ih spaja. Elektroni sabrani na vodiču očito izvode u okolišnom eteru nekakve promjene, pletu nekakve nitove, a preko njih se prenosi električno djelovanje. Nitova ne vidimo, tek je njihov konačni učinak pred nama.

Što se to zbiva u tom eteru? Mi toga ne znamo. No ipak si možemo načiniti o tom neku sliku u duhu, pak onda prirodu pitati, koliko se naša izumljena slika s njom podudara. Evo te slike prema današnjem mišljenju nauke. U svakom je dielektrikumu svaki njegov molekul sastavljen bar od dva atoma, a često od dviju hrpa atoma. Uzimamo, da svaki molekul ima s v a g d a dva električna naboja, pozitivan i negativan naboj, ali ti su u njemu s v a g d a r a s t a v l j e n i. Po našem novom mišljenju o elektricitetu mogli bismo reći: jedan atom u molekulu nosi sobom n e g a t i v a n, a drugi p o z i t i v a n elektron. Po tom bi svaki molekul nevodica bio p o l a r n o tijelo t. j. tijelo s dva pola s u p r o t n e naravi. U običnom stanju tvari ta dva naboja imaju o d r e d j e n u daljinu, određenu silama te tvari, a daljini se tih naboja može dati ime „dielektrična osovin a m o l e k u l a” kako na pr. polovi magneta o d r e d j u j u osovinu magneta. U osobitim se prilikama ta osovin a može nešto u v e ć a t i ili u m a n j i t i. Ako taj nevodica dodje među obje ploče kondenzatora, možemo uzeti, da se svi pozitivni atomi nešto nakrenu k negativnoj, a negativni atomi k pozitivnoj ploči, a tim se osovine svih molekula više ili manje okrenu, molekuli nastoje, da im se sve osovine postave u s p o r e d n o, dok su im u običnom stanju te osovine na sve strane razmetane.

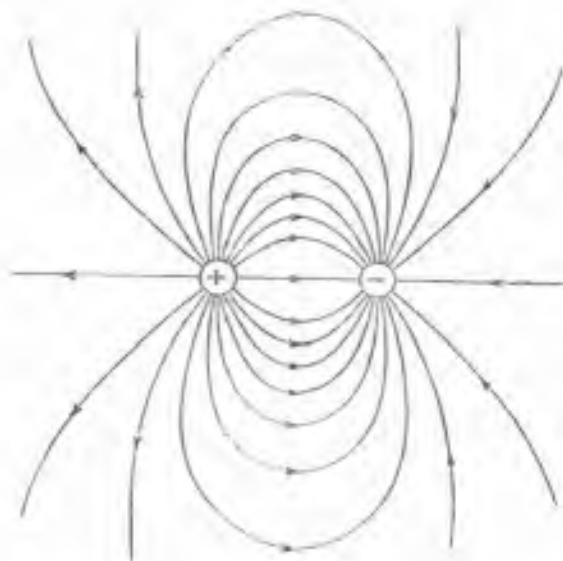
No kako je po našem mišljenju i eter u n e p o s r e d n o j svezi s molekulima materije ispunjavajući sve šupljine između njih, razumijemo, da će ovo okretanje molekula u nevodica dati i e t e r u u okolini neko osobito, neobično stanje i da će se to neobično stanje etera u njem i dalje rasprostrirati. U jednu riječ: E t e r u o k o l i n i n a b i t a v o d i č a n a l a z i s e u n e k o m o s o b i t o m stanju, r a z l i č n o m o d o b i č n o g a n j e-

govoga stanja. Čitavi prostor oko vodića, u kojem je eter u tom svom neobičnom stanju, zove se „električno polje” toga nabitoga vodića, pak je sada pitanje, imamo li kakvih znakova za to, da je eter doista u takovu stanju. Pomnjava su istraživanja na to pitanje odgovorila, da ima za to pouzdanih znakova, makar da mi toga ne vidimo. Evo ih nekoliko. Ako u električnom polju vodića smjestimo prozračno tijelo, koje lomi zraku svjetlosti, pokazuje se, da to tijelo zraku svjetlosti sada dvostruko lomi, kao neki kristali; no čim tijelo maknemo iz električnoga polja našega vodića, lomi zraku opet jednostavno. Kako svjetlost nije drugo nego pojava u svemirskom eteru, zaključujemo, da je i eter u električnom polju u osobitu, neobičnu stanju. U zgodnim se rasporedima pokusâ pače pokazalo, da svako tijelo u električnom polju nešto malo mijenja svoj oblik i svoju temperaturu; te su promjene doduše veoma malene, pak se očituju samo kod osobitih rasporedâ pokusâ, ali su ih fizičari ipak upotrijebili, da sagrađe instrumente, kojima pače mogu mjeriti jakost električnoga polja u različnim daljinama od nabita vodića! No najobičniji znak, da na kojem mjestu prostora postoji „električno polje” t. j. da je eter ondje u neobičnu stanju, ipak je mala električna kuglica, kad se smjesti u to polje. U običnu je eteru ona na miru, u eteru električnoga polja ju određena sila tjera u određenom smjeru. Ovo neobično stanje etera u okolini nabita vodića možemo najzgodnije označiti imenom „električno stanje etera” i to nam se stanje odaje tim, da na mali električni naboj (na pr. na naboj = 1) u električnom polju djeluje sila, koja ga u određenom smjeru tjera. Veličinom i smjerom te sile možemo sada i električno stanje etera u svakoj točki polja odrediti.

Može se na pr. pokazati, da je svagdje u polju ta sila jednaka i istoga smjera: nauka veli, to je električno polje „homogeno” (= jednolično); no može se pokazati i to, da je ta sila sve slabija, što u polju dalje idemo od vodića, pak da joj je i smjer u svakoj točki polja drukčiji: polje je „nehomogeno” (= nejednoliko). Nešto sličnoga imamo i kod vjetra u našoj atmosferi: i vjetar mi opisujuemo time, da kažemo iz kojega smjera puše i kolikom snagom puše. Mi pače

kod vjetra malim strjelicama označujemo na karti za svako mjesto smjer vjetra u određenom času, a dužinom te strjelice kazujemo mu jakost.

Baš tako možemo i svako električno polje crtnjom uočiti. Ako se to zaista učini, izlaze osobite slike, veoma zgodne, da nam predoče stanje etera u električnom polju. Ovdje je nacrtano električno polje, kako se u eteru načini između dvije kuglice s pozitivnim i negativnim nabojem. Značenje je tih krivulja ovo: ako uzmemo malu kuglicu s nabojem $+1$, pak ju makar gdje smjestimo u polju, pokazuje nam smjer krivulje, kuda će tu kuglicu goniti sila, što na nju djeluje u tom polju. Poradi toga dobije te crte ime „električne silnice“. Razbiramo iz slike 7. da u ovom električnom polju svagdje postoji sila, koja našu kuglicu sa



Sl. 7. Električno polje.

nabojem $+1$ tjera od pozitivne kugle k negativnoj, kako pokazuju strjelice:

Svaka silnica izlazi od kugle vodiča, na kojoj su se razmjestili pozitivni elektroni, a svršava na kugli nabitoj negativnim elektronima; u kugle ne idu silnice, u njima nema električnoga polja. Baš to je karakteristična opreka između vodiča i izolatora (ih dielektrika), da su vodiči tjelesa, u kojima se električno polje ne može da drži, dok se u izolatorima načini i drži.

Sama nam slika o tečaju silnica u našem električnom polju već nešto kazuje o tom, što su elektroni sabrani na kuglicama učinili s eterom u svojoj okolini; izveli su u njem nešto kao elastičnu napetost, eter kao da se napeo poput elastičnoga pera, kad ga rastegneš ili stlačiš, možemo dakle ovdje reći, da je eter u „električnoj napetosti“, pak čim popusti uzrok toj njegovoj napetosti, t. j. čim nestane elektrona s jedne i druge kuglice, eter se vraća u svoje obično stanje, kao što se i napeto pero vrati u svoje obično stanje, čim popusti sila, koja ga je nategla.

Nastaje sada pitanje: rasprostire li se ova napetost etera od jednoga vodiča do drugoga momentano ili to ide pomalo i kako ide?

Neka nam pomogne isporredba s vodom i plinom. U boci je voda. Na površinu vode u grlu boce djeluje tlak od 1 milijuna dina na 1 cm^2 ? Taj se tlak rasprostire po našem iskustvu u vodi na sve strane i svaki cm^2 stijene boce nosi tlak od 1 milijun dina: tlak se u tekućini jednolično rasprostire sve do njezine granice. To vrijedi i za svaki plin zatvoren u posudi, ako je on na miru. No drukčije je, ako je plin zatvoren u dugačkoj cijevi, pak na jednom kraju naglo utisnemo čep. Tlak se čepa ne rasprostire momentano do drugoga kraja cijevi: udaljenije ga česti zatvorenoga plina dobiju tek nakon nekoga vremena; kroz cijev teče zgusnuti val plina. U uzduhu ide taj val brzinom od $\frac{1}{3}$ kilometra u sekundi. Da je cijev bila napunjena vodom, u njoj bi se tlak čepa bio rasprostirao mnogo brže, brzinom od 1.44 kilometra u sekundi, jer se voda mnogo manje stiska od tlaka nego uzduh. No ipak ni u njoj ne dodje tlak momentano do drugoga kraja. Samo kad bi tekućina bila posve nestlačljiva, bio bi taj tlak u istom času nepromijenjen i na drugom kraju cijevi. Ako se kod vode ne radi baš o veoma dugačkim cijevima, taj je slučaj kod nje praktički doista ispunjen: u sisaljki za vodu, u hidrauličkom tiskalu tlak je zaista u istom trenu na drugom kraju vode neoslabljen.

I elektroni izvide nekakov tlak na eter u svojoj okolini i izvide u njemu onu osobitu napetost njegovu. Kako je u eteru? Po svemu, što dosada o njemu znamo, on se ponaša kao posve nestlačljiva tekućina: t. j. onaj osobiti

se tlak elektrona u eteru neoslabljen rasprostire momentano do drugoga kraja svake silnice, on djeluje u isti mah uzduž čitave silnice. Električna se silnica dakle mora uzeti kao cjelina, koja seže od jednoga naboja do drugoga. Ona se može nešto rastegnuti, ako se elektroni u molekulu nešto razmaknu, ona se može i nešto stognuti, ako se ti elektroni približe jedan drugomu, ona se može kojekako savijati, ona se može pače i razdijeliti u dvoje, ako se na pr. kuglica načinjena od vodiča namjesti u njezin tečaj, no u svim tim prilikama ostaje joj jedno svojstvo: ona se počinje na jednom naboju i završuje na drugom. Dok se naboj vodiča ne mijenja, ne mijenjaju se ništa ni silnice električnoga polja; no čim se dogodi kakva promjena u naboju, dakle u rasporedjenju elektrona na vodiču sabranih, mijenja se i stanje etera u njevoj okolini, mijenja se i lice električnoga polja, kako nam ga opisuju silnice u njemu. Dolazimo dakle do veoma značnitoga rezultata:

Električni pojav nije ograničen samo na elektrone sabrane na vodiču, nego se jedan dio toga pojava svagda odigrava u eteru, koji je u okolini nabita vodiča: eter okoline dolazi u stanje osobite napetosti t. j. oko vodiča postaje „električno polje” sa odredjenim tečajem silnica u njemu.

III.

Elektroni u gibanju. Električna struja.

1. Postanje električne struje. Na nabitu se vodiću elek trom napokon razmjestiše po njegovoj površini i ostaju u tom razmještaju na miru, dok ih što izvana ne potjera u novi razmještaj. Neka bude pred nama mjedena kugla nabita pozitivnom elektricitetom. Duševno oko naše zna, što se kod toga nabijanja zbilo: pozitivni se elektroni slobodno gibahu kroz vodič i napokon se svi razmjestiše na površini tako, da je na granici izmedju kovine i izolatora — uzduha — tanka vrsta tih elektrona. Razmjestiše se na koncu tako, da je na petost naboj a svagdje na kugli jednaka.

Izvedimo sada ovaj jednostavni pokus: Na drugom kraju duga stola stoji e l e k t r o s k o p, kojemu su listići sklopljeni — znak, da u njemu nema n a b o j a. Sastavimo sada kuglicu elektroskopa tankom žicom kojega vodića, na pr. bakrenom, s nabitim vodićem. U istom trenu pokazuju već listići elektroskopa takodjer n a b o j ! Što se je dogodilo? Tjelesno oko ne vidi nikakve ni najmanje promjene niti na nabitu vodiću, niti na žici, a ni na elektroskopu. Duševno oko pak naše, priučeno gledati elektrone, vidi ovu sliku: elektroni se gibaju kroz bakrenu žicu. Čas prije još mirni pozitivni elektroni odoše s nabita konduktora kroz žicu u elektroskop. Zašto? Ta mi znamo da su bili tamo u n a p e t u s t a n j u poradi međusobnoga odbijanja, pak jedva dočekaše dobar vodič — žicu —, koja im otvorila put dalje do elektroskopa: u vodiću se naime elektroni slobodno gibaju. Napetost ih naboja potjerala.

Pred nama je bila pojava „električne struje“ t j g i b a n j a elektrona u žici. Trajala je k r a t k o vrijeme i bila je s l a b a š n a, jer je napetost maloga elektroskopa za čas postala tolika kao na nabitu vodiću, pak je gibanje elektrona u tom času moralo prestati. Pojava je „električne struje“

daleko najznamenitija električna pojava: električna je struja danas jedna od najvrijednijih i najpotrebnijih tekovina fizike za čovjeka. U navedenom je primjeru električna struja trajala jedan tren. Mogli bismo je isporučiti sa strujom vode izbačenom iz štrcaljke, ako joj čep pritismo samo jedan trenutak: izbacit će mlaz vode, ali tek na čas. No kako u cijevi vodovoda voda neprekidno teče, tako ćemo si lako moći zamisliti i u žici trajno gibanje elektronâ, koje može u istoj snazi dugo vremena potrajati. Baš je takova i struja vode, kada jednako teče u cijevi, ili pak u štapu, koji je načinjen od šupljikave tvari, pak se voda protiskuje kroz sve tanke kanale, da na drugoj strani neprekidno izlazi. Koja je slika kod naših elektronâ ispravnija, kada se gibaju kroz bakrenu žicu, lako ćemo odlučiti. Ta i elektroni se moraju verati među molekulima bakrene žice, da nadju put do drugoga kraja, dakle je svakako bolja druga naša slika o električnoj struji. No električna struja kanda nije tako jednostavna pojava kao struja vode. Kod ove se sve čestice vode gibaju u istom smjeru, u smjeru, kojim ih tjera tlak na kraju cijevi ili šupljikava štapa. Drukčije su prilike kod elektronâ. Ako i možemo uzeti, da se pozitivni elektroni napeta vodiča protiskuju kroz žicu do elektroskopa, pak mu daju pozitivan naboj, stoji i to, da pozitivni naboj vodiča privlači k sebi negativne elektrone iz elektroskopa, pak bismo mogli uzeti, da i oni prelaze u stanje gibanja, pak se veru među molekulima bakrene žice, kako bi došli do nabita vodiča; negativni se elektroni dakle u istoj našoj žici gibaju baš suprotnim smjerom. Pak i to bi gibanje negativnih elektrona iz elektroskopa bilo dosta, da se on nabije pozitivno. Kada naime iz njega izlazi nešto negativnih elektronâ, ostaje u njemu očito suvišak pozitivnih!

Koje se gibanje zaista u žici zbiva, toga ne znamo. Sva je prilika, da pozitivni elektroni u žici idu u jednom, a u isti mah negativni u suprotnom smjeru, pak ćemo možda najbolje pogoditi, ako uzmemo, da je „električna struja“ u takvoj žici zapravo dvojako strujanje. Jedni elektroni neće drugima smetati, ako su samo dosta maleni, a to i jesu. Uolikoj mjeri u tom dvostrukom strujanju sudjeluju jedni, a uolikoj

mjeri i kako drugi elektroni, to nas ovaj čas ne zanima, tek stoji, da smo „elekttričnu struju” u žici dosta označili, ako rečemo smjer, u kojem se gibaju pozitivni elektroni. Taj ćemo smjer svagda misliti, kada govorimo o „smjeru električne struje”.

Ostanimo još časak kod isporodjivanja električne struje s vodenom! Ako je vodoravan šupljikav štap već pun vode, pak s jedne strane pritisne voda, recimo tim, da iz posude pustimo nešto vode u šupljikav štap, istjecati će gotovo s mjest a voda na drugom kraju štapa. Je li to bila ona voda, koja je iz posude ušla u štap? Ne! To bijaše svakako voda, koja bijaše negdje blizu otvorenomu kraju šupljikava štapa. Nešto posve sličnoga možemo uzeti i za gibanje elektrona. Kada vidimo, da se s našega nabita vodiča kroz žicu prenio pozitivni naboj na elektroskop, nipošto ne moramo uzeti, da su u elektroskopu pozitivni elektroni, koji su čas prije bili na vodiču. Možemo uzeti, da su to elektroni iz neposrednoga susjedstva elektroskopa, koji su bili negdje blizu kraja žice spojnice, pak ih je nabiti vodič odbio ili potisnuo u elektroskop. Ta mi uzimamo, da je bezbroj elektronā u svakom tijelu, a u bakrenoj su žici posve lako gibljivi. Tim dolazimo do posve nove slike o „elekttričnoj struji”. Mi možemo sada nopće uzimati, da se pojedini elektroni kod svake električne struje razmjerno malo pomiču dalje, ali stanje se gibanja zato ipak rasprostire daleko, jer se gibanje prenosi na sve dalje elektrone. Ako dakle vidimo, kako električna struja kod naših telegrafa stotine kilometara u tren oka preleti kroz žicu, ne moramo nipošto uzeti, da su elektroni tolikom brzinom proletjeli iz postaje *A* u postaju *B*, nego da se stanje gibanja u to malo vremena rasprostrlo ili raširilo na toliku daljinu. Sva je pače prilika, da se elektroni u žici gibaju dosta polako, da gotovo puzaju među molekulima žice protiskujući se kroz nju.

2. Galvanski elementi. Izvori trajne jednake struje. S ovom slikom o biti električne struje u žicama idemo da odgovorimo na pitanje, kako bismo mogli u žici spojnici dobiti „elekttričnu struju”, koja u njoj duže vremena „teče” u istom smjeru i svagda jednake jakosti, a ta jakost struje trebala bi da bude i dosta velika.

Slučaj je taj problem riješio! Zna se, kako je profesor Galvani u Bologni 1789. izveo svoj pokus sa žabjim krakovima i kako je profesor Volta u Paviji taj pokus rastumačio i došao do konstrukcije divnoga instrumenta, koji se i danas zove „Voltin ili galvanski element“.¹

Dvije ploče od različnih kovina, na pr. od cinka (Zk) i bakra (Cu) (sl. 8.), utaknute su u čašu, a u toj je vode, nešto okiseljene sumpornom kiselinom (kisela voda). Ako se sada još i zvan tekućine spoji bakrena ploča (Cu) s cinkovom (Zk) s pomoću bakrene žice AB, dobili smo pravo čudo od instrumenta: u tom se zatvorenom krugu zbiva nešto neobično, čemu se nitko ne bi mogao nadati. U žici spojnici teče prava „električna struja“ od A k B, kao čas prije od nabita vodiča k elektroskopu. No između obih struja postoji zamašna razlika: dok je strujanje elektricitete s vodiča u elektroskop trajala tek je dan tren, teče „električna struja“ u žici spojnici AB trajno, duže vremena gotovo jednako m snagom i neprekidno u istom smjeru od A k B! Ono čudo od aparata — Voltin element



Sl. 8. Voltin element.

— izvor je dakle trajnoj električnoj struji | svagda istoga smjera, a tu nije bilo ni trenja ni nabijanja elektricitetom!

No uzalud ćeš gledati taj Voltin element: na njem niti vidiš niti kojim drugim osjetilom ne opažaš ništa neobično; mi žalibože za električne pojave nemamo od prirode nikakova osjetila, mi nemamo ni električnoga oka ni električnoga uha! To je za naše izučavanje električnih pojava golemo neprikladno i da ne bude slučajno u elektricitete svojstvo, da veoma lako i gotovo bez našega utjecanja izvodi druge pojave, pristupne našim osjetilima, mi te sile gotovo ne bismo znali nego tek po imenu.

Pitamo dakle za d o k a z naše tvrdnje, da u žici spojnici teče električna struja t. j. da od bakra (Cu) prelaze k cinku (Zk) žicom pozitivni elektroni.

¹ Isp. Kučera, Crte o magn. i elektr. str. 140 i dalje.

Za čudo je bio opet slučaj, koji nam je dao u ruke lijepo sredstvo, da to možemo dokazati. Profesor Oerstedt u Kopenhagenu eksperimentirao je slučajno s takvim Voltinim elementom, pak su njegovi slušači opazili, da se je magnetska igla, koja je slučajno bila blizu žice *AB*, otklonila iz svoga prirodnoga položaja i ostala otklonjena, dok je bila blizu nje žica *AB*, kada je njome tekla struja; čim bi žicu daleko odmaknuo, igla bi se s mjesta povratila u svoj prirodni položaj. Dragocjeno za nas otkriće! U njem imamo sredstvo

za objektivni dokaz, da je u žici *AB* doista nešto neobično, jer se u njezinoj okolini eno javljaju sile, koje magnetsku iglu otklanjaju. Što je to neobično, ne kaže magnetska igla; ona samo kazuje, da jest nešto neobično u žici, ona je nama „umjetno oko“ za ono, što mi krstimo imenom „električna struja u žici“.

Kako bi to naše umjetno oko dobilo zgodniji oblik i postalo što osjetljivije, dali su mu različne oblike i naravno posebno ime, koje čudno



Sl. 9. Vertikalni galvanoskop.

zvoni: „galvanoskop“ (grč. skopem = gledati). Takı galvanoskop pokazuje slika 9. Svrha mu je, da nam oda, teče li nekom žicom električna struja ili ne. Magnetič *M* se ovdje vrti oko horizontalne osovine *a*, kao poluga na vagi, i on nosi kazalo *A*. Taj se magnetič utakne u okvir *B*, koji je mnogo puta omotan žicom usporedno s magnetičem. Krajevi te žice izlaze u stezaljke *b* i *e*. Čim tom žicom teče struja, magnetič se otkloni iz svoga prirodnoga (ovdje horizontalnoga) položaja i kazalo taj otklon jasno i na daleko pokazuje na skali *C*. Kako bi

se galvanoskopu čuvali od uzdušnih struja, često ih pokriju staklenom kutijom.

Ako je ono „umjetno oko“ još tako udešeno, da nam mjeri i jakost električne struje, zove se u nauci „galvanometar“ (metrein = mjeriti).

Ovaki „galvanoskop“ upotrebljavamo svagda, kada treba saznati teče li žicom spojnicom kojega Voltinoga elementa struja ili ne. Kako bi to saznali raskinemo spojnicu na jednom mjestu (od prilike u sredini između A i B (spojnica može da bude po volji dugačka !) pak jedan kraj žice sastavimo sa stezaljkom b , a drugi kraj sa stezaljkom a . Sada žica spojnica Voltina elementa neprekidno ide od A preko e i b sve do B , dakle je krug zaista zatvoren kao i prije, tek je u krug „uklopljen“ naš galvanoskop. Struja, što teče u spojnici, otkloni magnetič, a kazalo taj otklon pokazuje. Ako bi električna struja u spojnici promijenila svoj smjer, odao bi nam i to galvanoskop s mjesta tim, da bi se magnetič otklonio na suprotnu stranu skale C . Mi to i možemo svagda učiniti jednostavno, ako kraj A Voltina elementa (sl. 8.) ne spojimo sa stezaljkom e galvanoskopa, nego sa stezaljkom b , a kraj B sa stezaljkom e . Ista struja sada teče kroz uklopljeni galvanoskop suprotnim smjerom.

Ne ćemo prešutjeti, da imamo još jedan dokaz, da u žici AB Voltina elementa zaista teče električna struja: žica se ugrije to jače, što je jača struja i što duže teče, no ta se toplina odaje tek kod jačih električnih struja.

Nas međjutim zanima ovdje drugo pitanje: Ako u Voltinu elementu zaista teče električna struja u žici spojnici od A k B — a o tom nema za nas više sumnje — odkuda ta struja t. j. zašto najjednoč pozitivni elektroni idu kroz žicu? Po predjašnjem znamo, da se elektroni gibaju s jednoga vodiča na drugi samo onda, ako oba vodiča imaju različnu napetost, ako imaju „razliku napetosti“. Naše ploče A i B moraju dakle, dok stoje u tekućini, da pokazuju različnu električnu napetost. Mi to možemo s mjesta i ispitati s našim elektrometrom, na pr. Braunovim ili kojim još osjetljivijim (Thomsonovim). Skinemo naprosto žicu spojnicu AB s ploča (sl. 10), pak svaku ploču spojimo s elektrometrom. I zaista on pokazuje, da ploča od bakra ima pozitivnu, a ploča od cinka negativnu

napetost. Po veličini otklona u elektrometru možemo i odrediti tu razliku napetosti, ona je od prilike baš = 1 volt! Budući da je na bakru viša napetost, teče struja od bakra spojnicom k cinku. Ova razlika napetosti ostaje elementu svagda, makar što mi s njim radili. Ako su na pr. obje ploče u staklenoj čaši, dakle izolirane od Zemlje, pokazuje bakrena ploča napetost + $\frac{1}{2}$ volta, cinkova pak — $\frac{1}{2}$ volta; razlika napetosti: (+ $\frac{1}{2}$ volta) — (— $\frac{1}{2}$ volta) = 1 volt. Ako pak cinak žicom spojimo sa Zemljom, prima ploča od cinka napetost nulu, ali za to ima sada bakrena ploča napetost 1 volt. Ako obrnuto bakar spojimo sa Zemljom, ima on napetost nulu, no za to pokazuje cinak napetost — 1 volt. Razlike je napetosti dakle s = 1 Volt.



Sl. 10. Otvoren element.

Pomnjeni pokusi s drugim kovinama pokazuju, da veličina te razlike napetosti zavisi o prirodi kovina i tekućina, pak se mogu sada najraznoličnije kombinacije načiniti. No o veličini ploča, o njihovom obliku i o množini tekućina razlika napetosti ni najmanje ne ovisi: elektrometar pokazuje svagda jednake napetosti na kovinama, bile ploče velike ili male! U slici 10. je pred nama „otvoren element“, pak je sada pitanje, otkuda u njem na krajevima ploča ona tako stalna razlika napetosti? Kako se pri tom javljaju svagda kemijski procesi, možemo si o tom ovu sliku stvoriti: cinak privlači iz sumporne kiseline neke određene atome ili hrpe atoma, a s njima su čvrsto svezani i elektroni određena znaka, pak se i oni krenu s mjesta i skupe na pločama, koji su vodiči elektricitete. No kakvo bilo naše mišljenje o tom, neborivo stoji činjenica:

Kad se kovina dotiče tekućine, koja je vodič struje, djeluje ondje, gdje se dotiču, nekakva sila, koja i na kovini i u tekućini razvije elektricitete, i to na kovini svagda suprotnu od one na tekućini. Poblje o toj sili tim ne kazujemo ništa, tek joj dajemo ime „električna razlučna sila“ (Scheidungskraft). Ona učini, da bude električna napetost između kovine i tekućine različna.

Tek 100 godina nakon ovoga otkrića Voltinoga umjeli su fizičari točno izmjeriti razlike napetosti, što ih ta razlučna sila izvodi. Evo nekoliko rezultata tih mjerenja :

Magnezij	Magnezijev sulfat	= - 1.239 volta
Cinak	Sulfat cinka	= - 0.524 „
Željezo	Sulfat željeza	= + 0.093 „
Bakar	Sulfat bakra	= + 0.515 „
Srebro	Sulfat srebra	= + 0.974 „

Znaci + i — kazuju, da prvi član u kombinaciji prima višu (+) ili nižu (—) napetost. Na pr. kada se cinak dotiče rastopine svoga sulfata (biješe galice), postaje svagda razlika napetosti od 0.524 volta ; znak — predt im brojem mi kazuje, da je u cinka niža napetost. Kod kombinacije bakra i njegova sulfata (modre galice) izlazi svagda razlika napetosti + 0.515 volta, a tu kazuje znak +, da sada b a k a r ima višu napetost. Kako brojevi pokazuju, postaju kod doticanja kovina i tekućina dosta velike razlike napetosti.

A što se zbiva, kada u tekućinu utaknemo dvije ploče različnih kovina, na pr. cinak i bakar?

Cinak i sumporna kiselina dobiju razliku napetosti od — 0.524 volta t. j. sumporna kiselina ima suvišak napetosti spram cinka od 0.524 volta. Utaknemo li u kiselinu sada još b a k a r, dobije b a k a r spram kisele vode višak napetosti od 0.515 volta. Dakle je višak bakra spram cinka = 0.524 + 0.515 = 1.039 volta.

Razlučna električna sila nastoji tu razliku neprekidno održati.

Dakle postaje b a k a r p o z i t i v n o električan, a c i n a k n e g a t i v n o električan.

Rezultat je dakle ovaj :

Kada se dvije kovine utaknu u tekućinu, koja je vodič struje, postaju obje kovine električne, jedna pozitivno, a druga negativno električna i električna razlučna sila — ovdje po svoj prilici kemijske naravi — održaje stalnu tu izvedenu razliku napetosti.

Gornji su krajevi obiju ploča dakle kao dva nabita vodiča različne napetosti. Sastavimo li ih sada žicom spojnicom, počinje se gibanje jednih i drugih elektrona u spojnici. Gibanje se jamačno započinje ondje, gdje djeluju razlučne električne sile, dakle na granici između kovina i tekućine, no to se gibanje veoma brzo prenese i na elektrone, koji su u daljim dijelovima zatvorenoga kruga ili lanca, i za tili su čas i daleki elektroni u krugu već u stanju gibanja: strujanje se je elektrona u čitavom zatvorenom krugu ili lancu raširilo. Svagdje u elementu trče pozitivni elektroni od kraja bakrene žice kroz spojnicu k cinku pak dalje od cinka kroz tekućinu k bakru. Ako djelovanje razlučne sile ne popusti, trče i elektroni neprekidno po čitavom krugu: pred nama je „trajna električna struja“ u zatvorenu elementu. Ako žica provodnica nije predugačka, možemo biti sigurni, da će se struja u veoma kratkom vremenu, (u malenu dijelu jedne sekunde!) raširti po čitavom krugu, koji je ovdje sastavljen od žice provodnice s pločama na krajevima i od tekućine. Smijemo reći: svaka električna razlučna sila neposredno svagdje u krugu budi gibanje elektrona. Sjetimo se ipak pri tom, da baš ne moraju isti elektroni trčati okolo na okolo kroz čitav krug: gibanje njihovo može da bude veoma polagano, ali se brzo prenosi na sve udaljenije elektrone!

Ako različne sile u tom krugu ne popuštaju, podržavaju one neprekidno gibanje elektrona u čitavom krugu i u istom smjeru: električna je struja takova elementa trajna i svagda istoga smjera, zvat ćemo ju „jednaka struja“. (Gleichstrom, courant continu).

Ovakih „galvanskih elemenata“ sagradjena je sva sila, jer je očito široko polje različnim kombinacijama kovina i tekućina. Svima je tek ta svrha, da razlučna sila ne popušta, pak da gibanje elektrona ostane u čitavom krugu jednako.

Najobičniji su takvi galvanski elementi osim jur spomenutoga prvoga Voltinoga još: Daniellov sa svojim nekim odlikama, kao što su Meidingerov i njemački telegrafski elemenat, Bunsenov elemenat, Leclancheov

elemenat,¹ a u novije vrijeme „s u h i e l e m e n t i“, navlastito Hellesenov (sl. 11).

Ovi su zgodni za transport, jer u njima nema tekućina, a svagda su gotovi za porabu, pak ih ne treba tek sastavljati. Kovine su u njima cinak i ugljen, a ispunjeni su masom, koja je napojena tekućinom. Ta se masa obično drži kao tajna. Kod Hellesenova je suhoga elementa ugljen, koji u sredini viri iz ormarića, utaknut u surac, a taj je zamotan u pergamenat. Oko njega se savija cinak kao probušen valjak, a stoji u masi napojenoj salmijakom. Napetost je toga elementa = 1.5 Volta.

3. Toplinaki elementi. Otkriće Oersted-tovo, da električna struja otklanja magnetsku iglu, i na tom otkriću osnovano umjetno naše električno oko, kojemu dadasmo ime „galvanoskop“, a u dotjeranijem obliku „galvanometar“ lijepo nam odaje, teče li u zatvorenu krugu električna struja ili ne. To je umjetno oko bilo nauči i dalje vodić, da odgovara na zamašno pitanje: Jesu li kemijski procesi u galvanskom elementu jedini izvor, da u žicama provodnicama dobijemo električne struje?

Nije prošlo od onda ni 20 godina, pak su fizičari znali još za tri nova izvora električnim strujama: jedan je opet nadjen slučajno, druga dva promišljenim pokusima. Red je, da te nove izvore električnih struja čitačicama i čitačima ocrtam.

Seebeck je g. 1823. opazio, da se elektromotorne sile mogu i t o p l i n o m buditi. Osnovni je pokus prikazan u slici 12. WW je štap od bizmuta, a na nj je prilotan (spajan) kod m i n štap od antimona. U šupljini izmedju njih je magnetska igla. Štap od bizmuta i antimona daju očito zatvoren krug vodića. Čim u g r i j e š jedno od slotanih mjesta, na pr. n, u krugu već teče električna struja kako pokazuje strjelica, a igla ju odaje svojim otklonom. G r i j a n j e kod n očito je na tom mjestu probudilo elektromotornu silu. Ugrijati na tom mjestu naš zatvoreni krug,



Sl. 11. Hellesenov suhi elemenat.

reći će uvećati ono titranje molekula i atoma, u kojemu je nauka spoznala bit *toplina*. Čini se dakle kao da se *elektroni* na tom mjestu uzvrpolje, pak prolaze granicom obiju kovina, a *pozitivni* elektroni s nepoznata razloga vole udariti putem od bizmuta k bakru, nego obrnutim. Slična se pojava pokazuje, kada se slotano mjesto *n* ohladi spram mjesta *m*, oklopivši ga na pr. ledom. Samo sada teče električna struja kroz granicu *n* od bakra k bizmutu, a i to mi odaje magnetska igla svojim otklonom na suprotnu stranu. Ovakovoj kombinaciji dviju kovina dadeše ime „*toplinski element*“ ili „*termoelement*“ (termos = toplina), a električnoj njegovoj struji „*termostruja*“ ili točnije „*termoelektrična struja*“. I tu se dakle javlja djelovanjem topline na mjestu



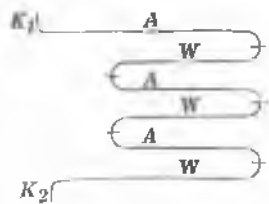
Sl. 12. Seebeckov pokus.

spajanja neka električna razlučna sila i izvodi razliku električne napetosti, koja elektrone pokreće na gibanje u krugu. Ta je razlika napetosti ovdje zavisna od prirode obiju kovina i od razlike temperature kod *n* i *m*, pak sada možemo tu određenu raz-

liku napetosti baš i uzeti za mjeru *toj razlučnoj sili*. Mjesto da govorimo: *taj element ima stalnu „razliku napetosti“* od 1 volta, možemo tu stalnu razliku napetosti označiti kao „*stalnu razlučnu električnu silu toga elementa*“ ili, kako nauka kraće govori, kao „*elektromotornu silu*“ toga elementa. Svaki galvanski element ima prema tomu svoju određenu elektromotornu silu, koja se mjeri voltima: Elektromotorna sila elementa = razlici električne napetosti u voltima.

Te su elektromotorne sile kod termoelemenata kud i kamo manje od onih kod prije opisanih galvanskih elemenata; kod najbolje kombinacije (bizmut-antimon) jedva dosegne 0.01 (jedan stotak) volta ili 10 millivolta, ako je razlika temperature = 100°.

Poradi toga treba mnogo termoelemenata „redom“ (= u seriji) sastaviti, i sva mjesta spajanja, koja jednako leže ugrijati. Kako se to radi, pokazuje slika 13. Štapovi su od antimonu (A) spajani sa štapovima bizmuta (W), pak su sva mjesta spajanja namještena desno. Štapovi su od bizmuta na lijevoj strani svi spajani s antimonom. Ako se sada sva desna mjesta ugriju i krajevi K_1 i K_2 sastave žicom spojnicom teče u krugu neprekidno jednaka struja i to od kroz ugrijana mjesta spajanja svagda od bizmuta k antimonu. Elektromotorne sile, koje se bude na svakom mjestu spajanja, se zbroje, pak naša termobaterija u slici 13. ima već trostruku elektromotornu silu, jer je složena od 3 elementa. Slika 14. pokazuje takvu termobateriju složenu od mnogo štapića antimonu i bizmuta. Slobodni krajevi prvoga i posljednjega štapića spojeni su sa stezaljkama x i y , a na ove se priključuje žica provodnica.



Sl. 13. Sastavljanje termoelemenata.

Premda se termobaterija po svojoj elektromotornoj sili ni s daleka ne može mjeriti s baterijom galvanskih elemenata, navlastito ako razlika temperatura na mjestima spajanja nije velika, našlo joj se u nauci veoma važno područje primjene u najnovije doba: termobaterija je najosjetljiviji termometar za veoma male razlike u temperaturama, no ona je i najbolji termometar za veoma visoke i veoma niske temperature!

Ovdje je mjesto, da to pokažemo. Ako se termobaterija sastavi žicama provodnicama s polovima našega umjetnoga oka za električnu struju, „s galvanoskopom“, već smo time dobili taj naš veoma osjetljiv termometar (sl. 15). Termobaterija P sastavljena je s pomoću provodniča sa stezaljkama b i e galvanoskopa. Lijeva su mjesta spajanja na termobateriji otvorena, dok su desna mjesta spajanja zatvorena mjedenim poklopcem. Dok je temperatura lijevo i desno na mjestima spajanja jednaka, ne teče provodnicama nikakva struja i



Sl. 14. Termobaterija.

kazalo se galvanoskopa ne otklanja ni na koju stranu (pokazuje na nulu, kao u slici). No kako se lijeva otvorena strana baterije, makar i veoma malo, ugrije ili ohladi, pa bilo to i za jedan dio stupnja topline, teče električna struja, elektroni se u čitavom krugu gibaju, i magnetska se igla otkloni na jednu ili na drugu stranu. Otklon će biti to veći, što je veća elektromotorna sila baterije, a ta je opet to veća, što je veća razlika temperatura između lijevih i desnih mjesta spajanja. Očito je dakle, da po otklonu igle možemo suditi o razlici temperatura. Pomnijim je pokusima utvrđen zakon:



Sl. 15. Osjetljiv termometar.

„Elektromotorna sila (= razlika napetosti u voltima) termobaterije upravo je razmjerna razlici temperatura, dok su te razlike male“.

Tek na tom se zakonu mogao osnovati novi osjetljivi termometar. Taj nam zakon naime kaže: kada je otklon igle dvostruk, onda je i razlika temperature dvostruka i t. d. Na našoj slici na pr. izlazi iz posude *v* na pipac *c* stlačeni (komprimirani) uzduh; taj je po nauku o toplini svagda nešto hladniji od uzduha u sobi. Ako taj hladniji uzduh baš udara

na otvorenu stranu termobaterije, ta će se nešto ohladiti, postaje električna struja u našem zatvorenom krugu i igla se galvanoskopa otkloni na jednu stranu. Običan termometar sa živom ne bi te male razlike u temperaturi stlačenoga i okolishnoga uzduha ni pokazao!

Ako u našoj slici galvanoskop naknadimo veoma osjetljivim galvanometrom, mogu se njime mjeriti razlike temperaturā, koje nisu veće od 1 milijuntine stupnja! Rubens je na pr. g. 1897. sagradio termobateriju od 20 elemenata, u kojoj je svaki element sastavljen od žica željeza i konstantana (to je slitina od 60 dijelova bakra i 40 dijelova nikalja), debelih tek 0.1 mm. — 20 mjesta spajanja (sl. 16) stoji u pravcu, jedno nad drugim, i raskovana su u male pločice s premjerom od 0.5 do 0.8 mm. Na ta mjesta udaraju zrake topline. Ako se ova Rubensova termobaterija spoji s osjetljivim galvanometrom, dobije se neobično osjetljiv aparat za najmanje razlike u temperaturi. Svijeća je na pr. još u daljini od 10 m dala na galvanometru otklon od 2 centimetra!



Sl. 16.
Rubensova
termobaterija

Ako treba odrediti temperaturu baš na jednoj točki, na pr. u korijenu ili u kon. biljke, uzima se samo jedan termoelement zgodna oblika, kakij je u slici 17, („termoelektrična igla“) pak se utakne šiljak, gdje su kovine (željezo i novo srebro) spojene, na ono mjesto, gdje treba mjeriti temperaturu.

U posljednjim se godinama termoelementima otvorilo novo područje primjene za mjerenje veoma visokih temperatura („pirometar“), za koje se obični termometar sa živom ne može upotrijebiti: njegovo područje mjerenja naime ne ide preko 300°. Da se sagradi „termoelektričan pirometar“, treba sastaviti u element žice dviju kovina, kojima se ni u veoma visokoj temperaturi, kakva je na pr. u pećima, u plamenima i dr., ne mijenja struktura. Ako se temperatura na jednom mjestu spajanja veoma visoko dignu, bit će već elektromotorna sila jednoga elementa tolika, da dađe vidljiv otklon igle. Slika 18. pokazuje takav termoelektričan pirometar od Hartmanna i Brauna u Frankfurtu. Element je

Sl. 18. Termoelektrični pirometar od Hartmanna i Brauna.



sastavljen od žice kemijski čiste platine i žice od platinrodija (90%, platine i 10% rodija), koje su 150 cm dugačke i zatvorene u materijalu oporu spram vatre. Donji kraj, gdje su žice spajane, ulazi u peć, a slobođni su krajevi $1\frac{1}{2}$ m daleko od vrućega prostora, pak im se temperatura može i običnim termometrom izmjeriti. Stezaljke se na tom kraju spoje s galvanometrom u drugoj sobi. Ovaj pirometar mjeri temperature do 1600° .

Obični termometar od žive ne može da mjeri temperature niže od -30° , no mi danas mnogo radimo i s temperaturama do -190° , jer to je temperatura tekućega uzduha. Treba dakle termometara zgodnih i za brzo mjerenje ovako niskih i još nižih temperatura. I za tu je svrhu sagradjen termoelement sastavljen od željeza i konstantana. Primjena je njegova po predjašnjem jasna, tek spominjem, da se njime lako mjere temperature do -200° .

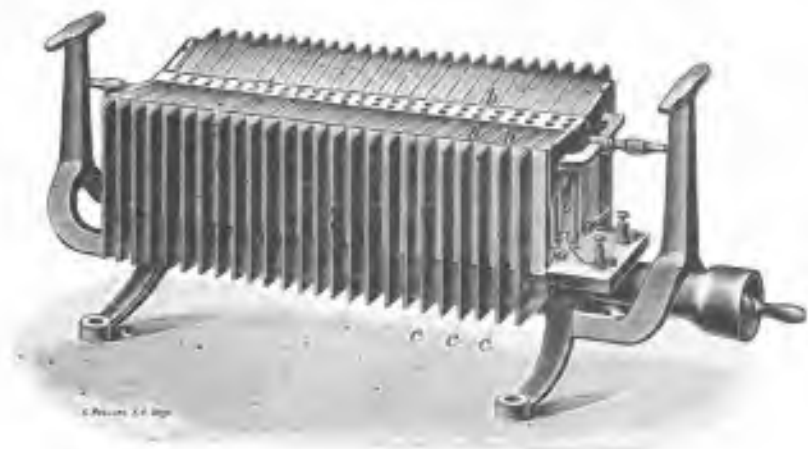
Napokon neka nadje ovdje mjesta još i Gölcherova termobaterija (sl. 19.), kojoj je elektromotorna sila cak 4 volta, pak se može upotrijebiti kod običnih električnih pokusa mjesto galvanskih elemenata. Sastavljena je od 66 elemenata spojenih u seriji (= jedan iza drugoga), a svaki je element složen od nikalja i slitine, u kojoj je antimon. Nikalj ima oblik cjevčica *a, a*, kroz koje odmah dolazi plin, koji će bateriju grijati. Cjevčice toje na ploči u aparatu. Na gornjem je kraju svake cjevčice priiotan spojni komad, a taj se završuje posudicom, u koju se ulila slitina antimona. Ta je slitina antimona savita u koljeno *b, b*, a na krajevima su prilotane pločice bakrene *c, c*, koje služe za ohlađivanje i spajanje elemenata medju sobom. Na gornje otvore dolaze mali dimnjaci od azbesta. Za grijanje treba rasvjetni plin samo zapaliti i nakon



Sl. 19. Termoelektrična igla.

10 minuta raspolažemo napetošću od 4 Volta. Na sat se troši 170 litara plina. Gdje je dakle rasvjetni plin uveden, tu je ova baterija veoma zgodna za obične pokuse.

Termobaterija se može, kada radi t. j. kada daje električnu struju, veoma zgodno isporučiti s poznatim parostrojem. Tu se vodena para najprije ugrije do visoke temperature; para radi tim, da se naizmjenice kod tih visokih temperatura rasteže i kod niskih steže. Za rastezanje joj parni kotao daje nužnu množinu topline, a za stezanje joj hladna voda oduzima topline zgušćujući pri tom paru. Razlika se ovih dviju množina topline u parostroju pretvara u mehaničnu radnju. Kod termo-



Sl. 19. Gülicherova termobaterija.

baterije uvodimo na jednim mjestima spajanja također topline, a na drugim joj oduzimamo topline ohladjujući ih. Razlika se tih množina topline ovdje ne pretvara u mehaničnu radnju nego u elektricitetu!

Kako je toplina najmoćniji pokretač u prirodi, mislio bi čovjek, da će i pretvorbom topline u elektricitetu dobivati najveće učinke. Termobaterija to poriče: njezini su učinci neznatni. Veliki problem: toplinu izravno i jeftino pretvarati u elektricitetu, još nije riješen. Riješenje bi i nauku i praktični život posve preinačilo. No tko zna, hoće li se uopće roditi čovjek, koji će taj prevažni problem riješiti!

Nešto zastranismo, no vidik nas u budućnost izmuruje!

4. Inducirane električne struje U Seebeckovom smo otkriću našli drugi znatniji izvor „električnim strujama“. Te su struje također jednake struje t. j. teku neprestano i istim smjerom (Gleichstrom, courant continu), ali nam ih je otkrio — slučaj.

Nije bilo tako kod otkrića, koje hoćemo da sada opišemo. Michael Faraday, koji se je od knjigoveškoga šegrtu sam svojim trudom, bez škola, razvio do jednoga od najznamenitijih fizičara, mučio se gotovo čitav svoj vijek jednim problemom, ali ga je i riješio tako sjajno, da se je na njegovom trudu mogla dići sva ponosna zgrada moderne elektrotehnike.

Problem je bio ovaj: kad se blizu nabita vodića smjesti drugi vodić, postaje on influencijom električan; dakle je jednostavno prisuće električnoga naboja dosta, da blisku vodicu dađe također električan naboj. Ne bi li se, pitao se Faraday, i kod električne struje moralo nešto slična dogoditi? Ne bi li i električna struja, koja teče u zatvorenu krugu, morala u bliskom krugu, sačinjenu od žice, također probuditi „električnu struju“, koja bi tekla u tom drugom krugu?

Nakon mučnih i često bezuspješnih pokusa ipak je našao svoju misao potvrđenu i izmamio je prirodi tajnu, koju je do tada pomnjivo skrivala!

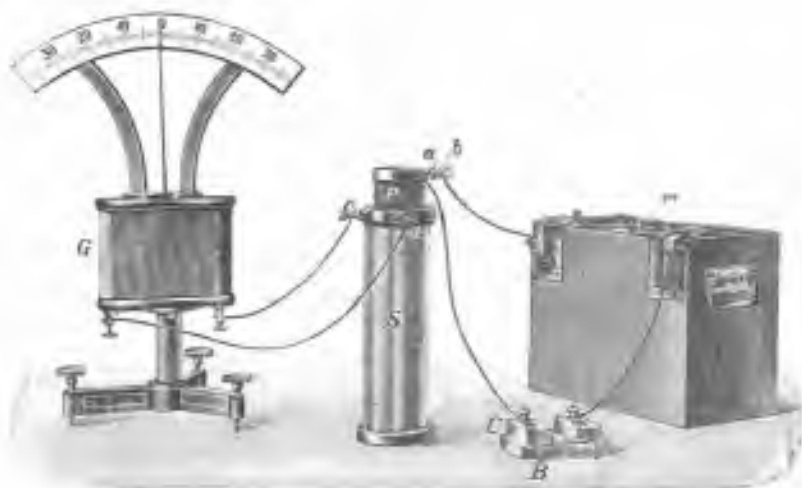
Jest, istina je:

Kada u jednom zatvorenom krugu teče električna struja, javlja se u bliskom drugom zatvorenom krugu zaista druga električna struja u zgodnim prilikama.

Te je prilike Faraday sam posve ispitao, pak možemo ovdje posve poći njegovim tragom.

Jednomu se i drugomu krugu za struje kod ovih pokusa daje zgodan oblik. Obje se žice namotaju na šuplje drvene valjke S i P u priloženoj slici 20. Krajevi namotane žice (izolirane!) ulaze svagda u dvije stezaljke (na krugu S u stezaljke c i d , na krugu P u stezaljke a i b). Taj je oblik poradi toga osobito zgodan, što mogu upotrijebiti veoma dugačke žice na malu prostoru i što mogu oba kruga lako i veoma jako približiti jedan drugomu. Ovakom namotane žice označivat ćemo odsada kraće riječima

„svitak žice”. Raspored je osnovnoga pokusa sada pri-
hćeno jasan po slici. Unutrašnji svitak žice P sastavljen je s gal-
vanskom baterijom E , ali preko „prekidača” struje UB .
(To su dvije zdjelice pune žive, u koje se može prebaciti žica B .
Kad je žica B u živoj, struja teče iz baterije u svitak S , kad se
 B odvrne, struja je prekinuta : u svitku P nema struje.) Izvanji
svitak žice S nije ni u kakvoj svezi sa strujom baterije i unu-
trašnjega kruga, tek mu je blizak. No zato je izvanji svitak S
sastavljen s galvanoskopom G , pak će nam taj svagda odati
otklonom igle, ima li u izvanjem krugu S struje ili ne. Pokus



Sl. 20. Osnovni pokus Voltaindukcije.

sam teče ovako : Koljeno se prekidača B preklopi u zdjelice
sa živom. U istom su trenu elektroni u čitavom unutrašnjem
krugu već u stanju gibanja : unutrašnjim svitkom po te k la
je „električna struja” i teče sada u njem neprekidno, dok se
žica prekidača ne isklopi iz žive. Dok ta struja u unutrašnjem
svitku teče neoslabljena, nema u izvanjem svitku ni traga ka-
kovojoj „električnoj struji” ; to odaje igla galvanoskopa, koja
sveudilj mirno stoji na nuli skale. No u času, kada struju unutraš-
njega kruga „otvori š” ili „prekine š” (izvadiš B iz žive !),
otkloni se igla galvanoskopa naglo, ali samo na čas
(na momenat), pa se odmah vrati natrag. Očito se je u času,

kad sam prekinuo struju unutrašnjega kruga, pojavila u izvanjem krugu „električna struja“; no ta je struja žalibože trajala samo jedan tren („trenutačna struja“ = „momentana struja“), pak je opet električni mir u izvanjem svitku žice. Taj i ostaje, dok opet ne preklopiš žicu *B* u živu, pak time struju ponovno pošalješ u unutrašnji svitak. U tom času, kad si struju opet „zativorio“, otkloni se igla galvanoskopa opet, ali i sada samo na jedan trenutak i to na suprotnu stranu. Dakle i kod zatvaranja se struje rodi u izvanjem krugu samo trenutačna struja, no suprotnoga smjera spram predjašnje.

Te su dvije trenutačne struje zaista postale samim prisućem one prve struje, poradi toga im je Faraday dao ime „inducirane struje“. Rezultat pokusa možemo sabrati u rečenicu:

„U času zatvaranja i otvaranja struje u prvom krugu, budi se u drugom bliskom krugu po jedna trenutačna (momentana) električna struja. Struja je zatvaranja svagda suprotnoga smjera spram struje otvaranja“.

Treba još ispitati, u kojem su odnošaju te trenutačne inducirane struje spram jednake struje u prvom krugu, zvat ćemo ovu „prvotna struja“ ili „primarna struja“. To je lako riješiti, ako ju na časak pustimo kroz naš galvanoskop *G*. Smjesta izlazi:

„Inducirana trenutačna struja ima kod otvaranja isti smjer kao prvotna struja, a kod zatvaranja suprotni smjer“.

Između električne struje, što ju daje galvanska baterija ili termobaterija, pak ovih induciranih struja postoji znamenita razlika, koju želim već ovdje istaknuti. Struja je baterije jednaka“, a to će reći ona teče trajno: ima svagda isti smjer i istu jakost, dok teče. Obje su inducirane električne struje trenutačne ili momentane t. j. one teku samo jedan tren, pak onda posve prestanu.

Istina je, ja mogu lako postići, da ove inducirane struje veoma brzo dolaze jedna iza druge. U tu svrhu samo treba

da žicu B neprestano i veoma brzo iz žive izvlačim i opet u nju utičem. No ipak ostaje svaka struja trenutačna i prestane posve prije nego druga dodje, a ta je druga spram prve još k tomu i suprotnoga smjera, a ova opet posve prestane prije nego što dodje treća trenutačna struja, opet suprotnoga smjera spram druge i t. d. Mi možemo dakle na ovaj način dobiti tek veoma brz niz samih trenutačnih električnih struja naizmjenice suprotnoga smjera, a to je električna struja, kojoj dajemo ime „izmjenična struja“ (Wechselstrom, courant alternatif). Galvanske baterije i termobaterije daju „jednaku struju“ (Gleichstrom, courant continu), a indukcijom dobivamo „izmjeničnu struju“, sastavljenu od samih trenutačnih struja suprotnih smjerova.

U našem smo osnovnom pokusu dobili inducirane trenutačne struje tim, što smo prvotnu struju u krugu P otvorili i zatvorili. No jasno je, da smo isto mogli postići i drugim načinom. Nije trebalo uopće struju unutrašnjega kruga otvoriti i zatvoriti! Mjesto toga mogli smo svitak P , u kojem teče neprekidna struja, naglo izvući iz svitka S (= struju otvoriti), pak onda opet iz daleka naglo utaknuti u svitak S (= struju zatvoriti). Mogli smo u jednu riječ prvotnu struju odmicati od drugoga svitka i njemu opet primicati, dakle naizmjenice tamo i amo gibati. A mogli smo dabogme i prvi svitak pustiti na miru, a drugi svitak indukcije S tamo i amo gibati. Izlazi dakle i ovo.

Da dobijemo trenutačnu induciranu struju treba samo jedan svitak spram drugoga pomaknuti. Želimo li pak cioniz takih struja dobiti, treba svitke naizmjenice tamo i amo pomicati jedan spram drugoga. Dobit ćemo tako „izmjeničnu struju“. Inducirana struja ima kod približavanja obih svitaka suprotan, a kod udaljšivanja njihova isti smjer kao prvotna struja.

U ovoj našoj spoznaji je najvažniji osnov današnje elektrotehnike:

Gibanje se svitaka može pretvoriti u električne struje. Za svako gibanje treba neka mehanična radnja. Dakle: mehanična se radnja pretvara ovdje u elek-

tricitetu, i u tom je baš bila neobična važnost Faradayeva obreta induciranih struja.

Vijerni našem mišljenju, da je elektriciteta tvar razdijeljena u najmanje drobnice — elektrone —, koji su u jednu ruku vezani s atomima i molekulima, a u drugu s eterom u okolini, moramo se i ovdje pitati, kako da si rastumačimo ovu novu električnu pojavu — pojavu indukcije? Duševnomu oku našem ona već nije tako jako nerazumljiva. Dok su oba kruga u svom prirodnom stanju, elektroni su u njima ih na miru ili su tek dionici molekularnih gibanja, koja idu na sve moguće strane, pak se u svom djelovanju na okolišni eter uništavaju. Eter ne može da dodje ni u kakvo napeto stanje. Drukčije su prilike, kada se elektroni nekako riješe svojih spona, kada su slobodni.

Ako se oslobode na izoliranu vodicu, vidjesmo prije, da se u tili čas porazmijeste po njegovoj površini i svaki elektron izvodi i u okolišnom eteru neko poremećenje u njegovom prirodnom stanju, neku napetost etera — izvodi nama već poznato „električno polje“.

Ako su pak elektroni u prvom krugu u stanju neprekidnoga gibanja, djelovanje će njihovo na okolišni eter biti drukčije, nego kada miruju, ali stanje će etera ipak biti poremećeno. U času, kada gibanje elektrona u prvom krugu počinje, to novo napeto stanje okolišnoga etera naglo postaje, a u času kad gibanje elektrona u prvom krugu prestaje, to se napeto stanje okolišnoga etera naglo izgubi. Kako su pak i elektroni drugoga kruga ipak vezani uz okolišni eter, nije čudo, da će i oni nekako reagirati, kad se ta stanja u okolišnom eteru onako naglo mijenjaju. Ta se reakcija baš očituje u tom, da se i elektroni drugoga kruga bar na trenutak kreću na jednu i na drugu stranu, t. j. da u onim kritičkim časovima postaju trenutačne električne struje.

Bit će možda na mjestu mehanička slika. Zamašnjak se stroja jednolično vrti. Ne smijem kušati, da ga naglo ustavim, jer će kolo razmrskati spravu, koja hoće, da ga ustavi. I kod otvaranja struje se napetost u eteru naglo izgubila; je li čudo, da su se elektroni u susjednom krugu na čas uzdržali?

Nije ovdje mjesto, da tu sliku dalje raspravimo!

5. Magnetoindukcija. Michael je Faraday naučnik otkrio još jedan — četvrti — izvor „električnih struja“.

Po vremenu je bio posljednji, po svojoj važnosti za elektrotehniku na osvitku 20. stoljeća daleko je najvažniji. Raspored pokusa, koji će nam taj četvrti izvor električnih struja pokazati, neka bude ovaj.



Sl. 21. Osnovni pokus magnetoindukcije.

U slici 21. vidimo opet svitak žice *A*, koji je žicom provodnicom spojen s galvanoskopom *G*. No u svitku *A* nema predjašnjega svitka, kojim je tekla primarna struja (isp. sl. 20.), a nema ni baterije, iz koje je ta neprekidna struja dolazila. Mjesto svega toga uzeo je Faraday magnet *NS*, pak je s njim izvodio ove pokuse. Dok je magnet daleko od svitka *A*, u svitku je električni mir: galvanoskop pokazuje na nulu. No čim bi Faraday svoj magnet turio u svitak

žice *A*, pojavila bi se u žici trenutačna električna struja; to odaje galvanoskop otklonom igle na jednu stranu, na pr na desnu. Da je struja bila samo trenutačna odaje se time, što se igla s mjesta povraća na nulu, makar da magnet stoji u svitku *A*. Tek u času, kad je Faraday magnet naglo izvukao iz svitka, proletjela je opet trenutačna električna struja žicom, ali suprotnoga smjera spram predjašnje, jer se igla galvanoskopa sada otklonila na lijevo, ali se odmah i vratila na nulu. Pri tom se magnet može ili čitav turiti u svitak ili tek djelomice. Dakle zakon

Svako približenje magneta svitku i svako udaljenje magneta od svitka izvodi u žici trenutačnu električnu struju.

I te struje zovemo dabome „inducirane struje“, tek treba da ih i imenom razlikujemo od predjašnjih induciranih struja. Zovemo ovaj novi način za dobivanje induciranih struja „magnetoindukcija“, a predjašnjemu načinu dajemo ime „volta indukcija“, jer smo tamo trebali Voltinu bateriju i njezinu neprekidnu struju, da u zatvorenu krugu dobijemo inducirane struje.

Oba načina imaju, kako vidimo, isti efekt: induciraju u zatvorenu krugu trenutačne struje naizmjenice suprotnoga smjera. No u isti mah udara u oči velika prednost drugoga načina spram prvoga. U prvom trebamo i bateriju s prvotnom strujom i poseban svitak; u drugom mjesto svega toga samo jedan magnetski štapi! Pa kako je jednostavan pokus! Svaka promjena u položaju magneta spram svitka budi u njemu već jednu trenutačnu električnu struju! Ne moramo baš magnet približavati i udaljavati od svitka. Možemo učiniti i obrnuto magnet neka stoji na miru, ali se svitak njemu primiče ili od njega odmiče. Učinak je očito posve jednak: i sada će postajati u zatvorenom krugu svitka trenutačne električne struje naizmjenice suprotnih smjerova. Želimo li, da se te kratkotrajne struje u našem krugu brzo ponavljaju, ne trebamo ništa drugo raditi, nego magnet i svitak veoma brzo međusobno približavati i opet odmicati. U tom će slučaju u našem krugu teći cioniz zasebičnih električnih struja naizmjenice suprotnoga smjera, no između njih ima

svagda trenutak bez struje u žici. Govorit ćemo ukratko kao i prije: u žici teče „izmjenična struja”.

Da takova izmjenična struja u našem krugu teče, toga nam naš galvanoskop ne može odati, jer zasebične inducirane struje nastoje, da iglu otklone na suprotne strane, pak igla poradi toga ostane na nuli. Za odavanje izmjenične struje treba dakle drukčije galvanoskope sagraditi. To je nauka i učinila. Bit će drugdje prilike o njima govoriti.

Ovdje bismo tek još nekoliko stvari pribilježili o ovom novom vrelu električnih struja.

Kod osnovnoga pokusa rekosmo, da treba magnet u ta kuti u svitak. Mjesto toga mogli bismo pokus i ovako udesiti. U šupljini svitka stoji trajno štap od meka, nemagnetična željeza. On ima to osobito svojstvo, da sam postane magnetom, kada mu se primakne kakov magnetički pol (magnetička influenza¹). Ako tomu mekomu željezu zaista primaknemo pol našega magneta, ono će se pretvoriti u magnet i tim smo postigli očito isto, kao prije, kada smo u šupljinu utaknuli naš magnet: u zatvorenom se krugu svitka rodi inducirana struja, ali traje tek trenutak. Kada pol odmaknemo od mekoga željeza, izgubi se u njem s mjesta magnetizam; mi smo postigli isto kao prije, kad smo magnet izvukli iz šupljine svitka: u tom času proleti u krugu svitka ponovno trenutačna struja, ali sada suprotnoga smjera. Dakle: mjesto da magnet svitku primičemo i od njega odmičemo, možemo u mekomu željezu magnetizam brzo buditi i opet uništavati, pak ćemo dobivati cio niz induciranih struja naizmjenice suprotnoga smjera.

Ali ne samo kada se magnetizam budi i uništava, nego i rakodjer, kada se magnetizam, koji već postoji, uopće samo pojačava i oslabljuje, bude se u zatvorenom krugu trenutačne inducirane struje, pak ako se to jačanje i slabljenje magnetizma veoma brzo izmjenjuje, dobit ćemo opet čitav niz induciranih struja t. j. žicom teče „izmjenična struja”.

¹ Isp. Kučera: Crte o magn. i elektr. str. 20 i dalje.

Kod magnetoindukcije možemo dakle u svemu na 3 načina dobivati izmjeničnu struju: 1) međusobnim približavanjem i udaljivanjem magneta i svitka žice, 2) budjenjem i uništavanjem magnetizma u mekom željezu blizu svitka i 3) jačanjem i slabljenjem magnetizma blizu svitka žice.

No ako i imamo u magnetoindukciji dragocjen upravo izvor električnih struja, ne možemo još biti zadovoljni samim tim otkrićem i njegovom primjenom u elektrotehnici naših dana; javlja se odmah i naš razum s pitanjem: a kako to, da magnet može potjerati inače mirne elektrone u našem krugu, čas na jednu, čas na drugu stranu?

Što je zapravo magnet? Ako bismo smjeli suditi po njegovu djelovanju na elektrone u zatvorenu krugu, mogli bismo s mjesta zaključiti, da se on ponaša kao svitak žice, u kojem teče u usporednim krugovima jednaka električna struja, i u magnetu bismo prema tomu našim duševnim okom mogli gledati samo kružne električne struje, koje trajno teku na pr oko svakoga njegova molekula, pak bismo tu misao mogli dalje raspredati i ispitivati, koliko je osnovana. I zaista je to mišljenje već prije gotovo 100 godina niklo u glavi francuskoga fizika Ampere'a još prije, nego je Faraday otkrio bio ovdje opisanu magnetoindukciju. Po tom mišljenju magnetizam ne bi bio posebna prirodna sila. Svaki bi magnet bio tek nosilac onakih kružnih električnih struja, koje neprekidno teku oko svakoga njegova molekula. Ako je tako, onda razumijemo posve utjecanje magneta na elektrone u našem zatvorenom krugu. I magnet će naime u okolišnom eteru poremetiti njegovu ravnotežu i u njem izvoditi neku napetost, koja će opet utjecati na elektrone u našem zatvorenom krugu i njih na čas uzdrmati i krenuti

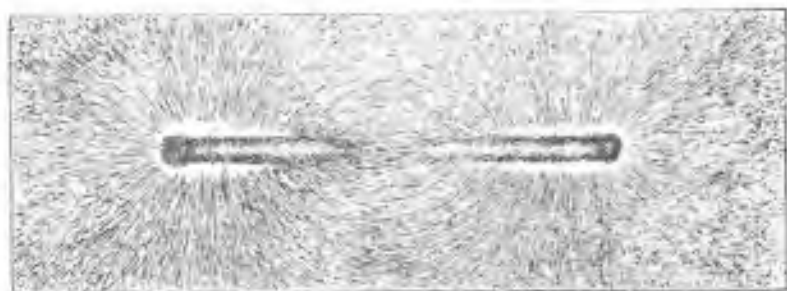
Ali je sada na mjestu pitanje, ima li kakvih znakova za to, da i magnet u okolišnom eteru izvodi nekakvo napeto stanje? Ima! Ti su znakovi pače mnogo očitiji, nego kod električnih naboja. Da je u okolini svakoga magnetskoga štapa eter u osobitu neobičnu stanju, da je dakle oko svakoga magneta „magnetično polje“ opazilo se na pojavi nekih osobna svjetlosti u

tom polju, na promjeni oblika nekih tjelesa u tom polju, ali najočitije ipak na sili, što ju izvršuje magnetsko polje na drugi magnet, koji ndje u taj magnetom uzburkani eter. Svaki se i najmanji komadić mekoga željeza pretvori s mjesta u magnet, čim se unese u kakvo magnetsko polje! Poradi toga se svako magnetsko polje najbolje odaje svojim djelovanjem na željeznu piljotinu. Magnetičan štap drži na svojim krajevima najviše piljotine (sl. 22), a u sredini gotovo ništa: magnetska su polja u okolini



Sl. 22. Magnetsko polje magn. štapa.

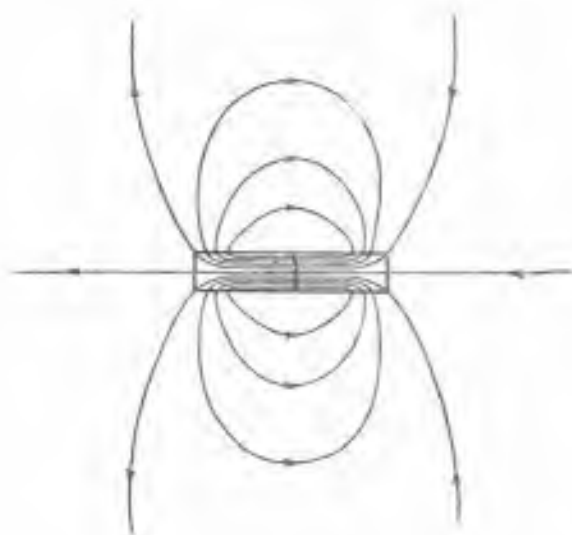
magneta očito jača, u sredini je polje u okolini magneta slabo. Krajevi magneta dakle bude u okolišnom eteru neko osobito njegovo napeto stanje, recimo „magnetično stanje“ etera. Točki, iz koje izlazi magnetsko polje, dajemo ime magnetski „pol“. Kad bismo u takvo magnetsko polje umjeli je dati magnetski pol (uzeli bismo dugačak magnetski štap, tako da je drugi njegov pol već u kraju, gdje je polje posve neznatno),



Sl. 23. Tečaj magnetskih silnica u polju.

mogli bismo na svakom mjestu odrediti i veličinu sile i smjer, u koji polje potiskuje taj pol. Kako prije u električnom polju, možemo i sada nacrtati „magnetske silnice“ (magn. Kraftlinien, lignes de force), ali ih možemo i jednostavnim pokusom pokazati: komadići se željezne piljotine u magnetskom polju moraju poredjati u smjerove silnica, ako su dosta

gibljivi. I doista vidimo jasno tečaj silnica u magnetskom polju (sl. 23.). Vidimo, kako sastavljaju kroz uzduh oba pola : teku dakle od jednoga pola kroz okolišni eter k drugomu polu. Velika je po tom do sada sličnost između električnoga i magnetskoga polja, ali ipak postoji između njih fundamentalna razlika¹. Kao što se kod električnih pojava svagda javlja pozitivna i negativna elektriciteta, tako se i ovdje svagda zajedno javljaju pozitivan (sjeverni) i negativni (južni) magnetizam. No pozitivan i negativan električni naboj možemo



Sl. 24. Magnetičko polje magn. štapa.

svagda prenijeti na posve rastavljena tjelesa, pozitivni se i negativni magnetizam ne daju ovako posve rastaviti: tijelo magnetsko, koje ima pozitivnoga (sjevernoga) magnetizma, mora svagda imati na drugom mjestu isto toliko negativnoga magnetizma. To potvrđuje posve i

pokus, ako razlomimo magnet u sredini : svaka je polovina potpun magnet, a na razlomljenim su mjestima suprotni polovi¹. Magnet prvobitni nije dakle u sredini bio nemagnetičan, samo magnetske silnice ondje nisu izlazile iz magnetu. Kad bismo naš magnet razdrobili u same male komadiće, dobili bismo same magnetske, pa kad bismo ih opet baš onako poredjali, kako su stajali u čitavom magnetu, ostavivši između njih tek veoma male prostore, dobili bismo u svim tim prostorima mala magnetska polja, ali im silnice ne izlaze van, one nam kazuju unutrašnje magnetsko

¹ Isp. Kučera, Crte o magn. i elektr., str. 27.

stanje našega štapa. Ako sada i to unutrašnje polje nacrtamo, dobijemo tek potpunu sliku magnetskoga polja našega štapa, kakova se vidi u slici 24.

Razbiramo iz te slike :

Magnetičke silnice izlaze iz pozitivnoga (sjevernoga) pola u uzduh, teku u krivuljama k negativnomu (južnomu) polu, ondje ulaze u magnet, pak u njemu teku natrag k pozitivnomu polu. To je ta fundamentalna razlika između električnih i magnetskih silnica.

Silnice magnetskoga polja nemaju nigdje ni početka ni kraja, one teku u zatvorenim krivuljama što izvan magneta, što u njemu. I električan naboj i magnet izvodi dakle u okolišnom eteru neko neobično, recimo, napeto stanje ; ta su stanja dosta slična, ali nisu posve jednaka ; možemo ih odsada razlikovati imenima „električno stanje etera” i „magnetičko stanje etera”. Ta napeta stanja etera traju samo tako dugo, dok su tu električni naboji ili magnetizini, koji ih izvedu i drže ; čim ovih nestane, električno se i magnetsko polje na tom mjestu prostora poruši : eter predje u svoje prirodno, obično stanje. Je li čudo, da se kod tih gradnja i rušenja elektroni u našem zatvorenom krugu na čas podrmaše i uzgibaše, dajući nam time inducirane električne struje?

Ni magnetoindukcija nije više duševnomu oku našem potpuna zagonетка ! Načinismo si sliku, model toga pojava. Koliko ta slika odgovara onomu, što se u istinu zbiva, toga ne znamo reći. Na to će tek dalje razvijanje fizike odgovoriti. No to smijemo reći, da se ova slika o tim pojavama najbolje podudara sa svim, što danas pouzdano znamo o električnim i magnetskim pojavama.

* * *

Da saberemo glavne rezultate još jednoć !

Radi li se o tom, da se elektroni u kakovu zatvorenu krugu vodića (žice ili tekućine i žice) stave u stanje gibanja, t. j. radi li se o tom, da se u tom krugu pojavi i održi električna struja, baš ne treba da imamo pred sobom nabitih vodića. Na jednom mjestu takova kruga treba da djeluju „elektromotorne

sile", koje će u najkraćem vremenu svagdje u krugu gibanje elektrona izvesti. Ako pak takve elektromotorne sile djeluju na više mjesta toga zatvorenoga kruga, mogu one ili pojačati ili oslabiti svoje djelovanje već prema smjeru, u kojemu pokreću elektrone kruga.

Na pitanje kako da dodjemo do tih elektromotornih sila, odgovara nauka na osnovi iskustva, da imamo velik izbor. Najvažni su izvori električne struje:

1) Kemijski procesi, kad su dvije različite kovine u okiseljenoj vodi. Elektromotorna sila djeluje ondje, gdje se dotiče tekućina s kovnim pločama. Dobivamo jednaku struju „galvanskih elemenata" (Gleichstrom, courant continu).

2) Grijanje onih mjesta, gdje su dvije različite kovine spajane (lotane). Ovdje izvodi toplina električnu struju. I ta je struja jednaka. Daju ju „termoelementi" i „termobaterije".

3) U zatvorenu krugu krenut će elektrone i bliska jednaka struja drugoga kruga. Treći je dakle izvor strujama „voltaindukcija". No ta struja nije jednaka, nego je sastavljena od niza zasebinih trenutačnih struja naizmjenice suprotnoga smjera: t. j. u krugu teče „izmjenična struja" (Wechselstrom, courant alternatif).

4) U zatvorenu krugu vodiča pokrenuti može elektrone napokon i blizak magnet. Četvrti je izvor električnim strujama „magnetoindukcija". No i ta je struja izmjenična.

Za današnju elektrotehniku ulazi u račun samo četvrti izvor struja — magnetoindukcija. Kako je čovjek umio ovaj na oko neznatni obret Faradayev iscrpiti u svoju korist, to baš imaju da pokažu retci, što dolaze. No kako bismo te primjene razumjeli, red je, da toj „električnoj struji" iz bližega pogledamo u oči, da joj posvetimo još malo pažnje, da joj svojstva i zakone upoznamo.

Počinjemo s jednakom strujom (Gleichstrom, courant continu).

IV.

Elektroni u stanju gibanja: jednaka električna struja. Osnovni zakoni te struje.

Stara je rečenica u nauci o prirodi i nebrojeno puta sjajno utvrđena: „*Naturae non imperatur nisi paretur*“ t. j. prirodi ne možeš biti gospodar, ako ne da joj se pokoravaš. Pokoravat joj se pak ne možeš, dok ne znaš, kako ćeš joj se pokoravati. Treba da najprije ispipaš „*prirodne zakone*“, kojima ćeš se pokoravati. Upotrijebivši te zakone i udešavajući svoj rad prema tim zakonima i samo prema njima — postajat ćeš sve više gospodarom prirode u svakom njezinom području t. j. naći ćeš putove, da priroda tebi korisno služi. A za tim ide i moderna elektrotehnika. Ona hoće da upregne električnu struju, što ju daju različni izvori struje, u korisnu službu čovjeka. No ta prirodna sila — elektriciteta — zna biti i veoma opasna čovjeku. Nije dakle drugo nego hajd na posao — mučan posao — pak traži i nadji *zakone* te prirodne sile, kako bi joj se onda nametnuo bar donekle gospodarom! I nama je red, da to sada učinimo za jednaku električnu struju, a podražuje nas na taj posao ne samo praktična korist, kojoj se od toga posla nadamo, nego i viši duševni užitak, što ga svaki put osjećamo, kad smo prirodi oteli kakvu tajnu, kad smo se kojoj istini o njoj dovinuli. S tom mislju idemo i sada na posao!

* * *

1. Jakost električne struje. Pred nama je koji od poznatih galvanskih elemenata, na pr *Daniellov*. Iz tekućina njegovih vire krajevi ploče od bakra i od cinka. Djelovanjem elektromotorne sile, kojoj je sijelo tamo, gdje se tekućine dotiču kovina, razvije se na svakoj kovini neka električna napetost, koju svagda možemo mjeriti u Voltima: na krajevima se ploča (polo-

vima) razmjestilo pozitivnih (na bakru) i negativnih (na cinku) elektrona određena množina. Kako se polovi sastave žicom spojnicom, pred nama je zatvoren krug, sastavljen od tekućine, obih kovnih ploča i žice spojnice, i u njem teče od bakra kroz spojnicu k cinku i kroz tekućinu natrag je d n a k a struja pozitivnih elektrona (negativni teku suprotnim smjerom). Elektromotorna sila to strujanje elektrona sveudilj podržava time, što na polovima održava istu napetost elektricitete. Naše umjetno oko za struju „galvanoskop” odaje tu struju otklonom igle. Kroz svaki prerez zatvorenoga kruga prolazi u svakom času određen broj elektrona, neka „množina elektricitete”, koju već znamo mjeriti na coulombe. Prvo je pitanje, prolazi li svakim prerezom zatvorenoga kruga bio on širok ili uzak, ista „množina elektricitete” ili možda širim prerezom veća, a užim manja u 1 sekundi? Da odgovorimo, neka nam posluži prispodoba s vodom, koja teče u cijevima vodovoda, za koje znamo, da su takodjer negdje šire, drugdje uže. Ako je tlak vode na jednoj strani cijevi (u rezervoaru) jednak, pak na pr u svakoj sekundi u cijev utiskava 500 cm^3 (= kubičnih centimetara) vode, a na drugom baš toliko vode izlazi. ostat će cijev svagda puna vode i kroz s v a k i prerez, bio on širok ili uzak, teče u svakoj sekundi ravno 500 cm^3 vode. U uskim partijama voda očito b r ž e teče, nego u š i r i m a, ali u 1 sekundi prodje kroz uzak i širok prerez ista množina vode, naime 500 cm^3 . Baš je tako i kod elektricitete: i kod zadane električne struje u zatvorenom krugu teče kroz s v a k i prerez kruga j e d n a k a množina elektricitete, isti broj coulomba.

Kolik je taj broj coulomba, to zavisi dakako u prvom redu od sile, koja elektrone tjera u tom krugu, a ta je sila ona uvijek jednaka razlika napetosti na polovima ili elektromotorna sila. Iskustvo nam pokazuje, da imamo s te strane vrlo različitih električnih struja: ima ih, gdje kroz prerez teče u 1 sekundi malen dio jednoga coulomba, a ima ih takovih, gdje teče kroz prorez mnogo coulomba u 1 sekundi; u govoru to iskustvo izrazujemo rečenicom: ima „slabih” i „jakih” električnih struja; mi govorimo dakle o „j a k o s t i” električne struje, a na pitanje, što je to „j a k o s t

struje", odgovaramo: to je množina elektricitete, mjerena u coulombima, koja u 1 sekundi teče kroz svaki prorez našega kruga". Kako bismo mogli „mjeriti" jakost makar koje struje, treba da odaberemo i za jakost struje neku jedinicu i da joj damo ime. Odredjemo:

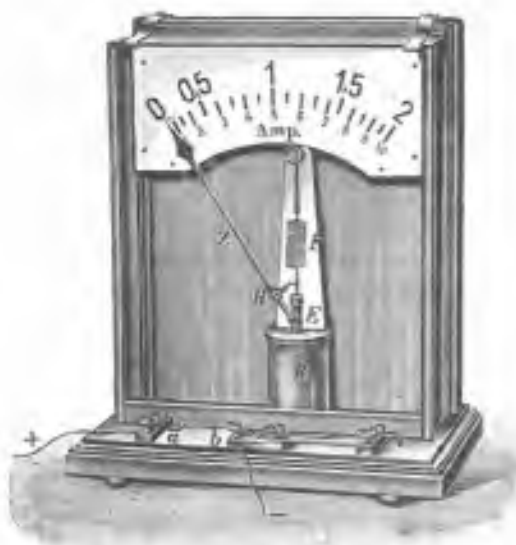
„Jedinicu jakosti" neka ima ona električna struja, kod koje u 1 sekundi baš 1 coulomb elektricitete teče kroz svaki prorez. Toj jedinici dajemo ime „1 amper" (1 A), pak njome izrazujemo od sada jakost svake električne struje. Ako dakle velimo: „ova struja ima jakost od 15 ampera" ili kraće: „ova struja ima 15 ampera", reći će to, da u tom zatvorenom krugu u svakoj sekundi protječe kroz svaki prorez baš 15 coulomba elektricitete. Za veoma se slabe struje uvodi manja jedinica: tisućina 1 ampera, kojoj dajemo ime „1 miliamper". Čitatelj će i sam opaziti potpunu analogiju s mjerenjem dužina. I tu trebamo odabrati neku dužinu za jedinicu: ta je „1 metar". Njom sada izrazujemo svaku drugu dužinu. „Tijelo je dugačko 50 metara." ne znači drugo, nego da bi se 1 metar baš 50 puta dao složiti uz tu dužinu, t. j. isporodio sam svoju dužinu s jedinicom dužine. Struja ima 15 ampera, ne znači drugo, nego da je 15 puta tako jaka, kao odabrana jedinica jakosti.

No opazit će odmah svatko ovo: ako me zapane zadaća zaista izmjeriti koju dužinu u metrima, moram svakako imati tu dužinu „1 metar" izdjelanu što točnije. Želim li izmjeriti zaista jakost struje u Amperima, moram pred sobom imati spravu, kojom mogu i i više Ampera mjeriti, moram imati „ampermetar". No taku spravu nije tako lako na-



Sl. 25. Princip ampermetra i Voltmetra.

činiti kao „1 metar“, jer mi struje niti vidimo, niti inače osjećamo. Moramo se i opet uteći takim učincima električne struje, koje vidimo. Jedan već znamo: naše umjetno oko struje, naš „galvanoskop“ (str. 86.) On nam pouzdano odje otklonom magnetske igle, da se u zatvorenu krugu doista nama nevidljivi elektroni gibaju. Nešto nam kazuje i o jakosti struje: što jača struja, to veći otklon igle. No to nam nije dosta, mi trebamo „ampermetar“, kojim ćemo posve izvjesno izmjeriti: ta struja ma toliko i toliko ampera. Da bismo ga sagradili, upotrijebimo



Sl. 26. Ampermetar do 2 Ampera.

ovaj učinak električne struje: Na dašici (sl. 25) stoji poznati nam svitak žice R , kojim teče struja. Nad šupljinom valjka visi na spiralnom peru F štap nekoga željeza E (djelomice je u šupljini). Ako kroz svitak R zaista pustimo struju, povući će ona željezni štap nešto dublje u svitak; no povući će ga to dublje, što je jača struja. Čim

struja prestane teći svitkom, povuče pero F štap E s mjesta natrag na predjašnje mjesto. Ovaj je učinak struje vrlo zgodan, da sagradimo ampermetar. Jedanput za svagda zabilježimo na štapu, kako ga je duboko uvukla struja od 1, 2, 3, ... ampera i zabilježimo ra tim mjestima te brojeve ampera. Ako kasnije kada opazimo, da ga je struja nepoznate jakosti uvukla do broja 5 A, znađemo, da je jakost te struje = 5 ampera.

Na toj se osnovi mogu graditi ampermetri najrazličnijega oblika, no svim je tim oblicima glavna svrha, da se broj ampera može jasno, točno i iz daleka čitati, a to na našem obliku

nije ispunjeno. Slika 26. pokazuje zgodan oblik ampermetra od Hartmanna i Branna u Frankfurtu n. M. Tu se vidi i svitak R i pero F i komad željeznoga štapa E. No s njim je još spojeno odugačko kazalo, tako da se kreće na desno, kada štap ulazi dublje, a na lijevo, kada izlazi. Kazalo ide pred skalom, na kojoj su amperi na pravom mjestu zabilježeni. Ovaj ampermetar mjeri samo do dva ampera, ali mjeri desetine ampera. Kod ampermetara za praksu redovno su svi dijelovi osim kazala i skale zatvoreni u kutiji, kako se ne bi lako oštetili. Slika 27. pokazuje takav ampermetar, koji mjeri struje od 0 do 200 ampera.

Imademo sada već 2 aparata za mjerenje električnih veličina: 1) U II. odsječku (str. 63.) opisasmo „elektrometre“ od Brauna i Exnera, koji nam mjere „napetost“ elektricitete na svakom nabitom vodiću u voltima, dakle električnu napetost, što ju izvide elektroni u stanju mirovanja, kada su se već konačno razmjestili po površini vodića; 2) ovdje opisasmo „ampermetar“, spravu, koja nam u amperima mjeri jakost električne struje t. j.



Sl. 27. Ampermetar do 200 ampera.

mjeri množinu elektrona, koji u 1 sekundi prolaze kroz s v a k i prerez zatvorenoga kruga. Elektroni u stanju mirovanja, daju dakle napetost u voltima („daju „volte“), elektroni u stanju gibanja daju „jakost struje“ u amperima.

K prvomu aparatu za mjerenje napetosti „elektrometru“ imamo spomenuti ovo. o električnoj se napetosti ondje sudi po otklonu listića. No ako su napetosti male n e, a to jesu kod galvanskih elemenata i baterija, ovi instrumenti već nisu dosta osjetljivi, a ni za porabu dosta praktični, da s m j e s t a pokažu napetost na kojem nabitom vodiću ili na

kojem polu elementa ili baterije. Poradi toga grade danas na posve istoj osnovi, kao i ampermetre, drukčije aparate za mjerenje napetosti (ili točnije za „razlike napetosti“ ili za „elektromotorne sile“), koji kazalom svojim s mjesta pokazuju napetost u voltima, pak ih poradi toga i zovu „voltmetri“. Taki „voltmetar“ pokazuje sl. 28. Izvanje mu je lice posve jednako ampermetru; u unutrašnjoj je konstrukciji ta bitna razlika, da svitak R (sl. 25.) u ampermetru svagda ima samo nekoliko zavoja debele žice, a svitak voltmetra veoma mnogo zavoja veoma tanke žice; zašto je to, očitovat će nam se kasnije. Iz te posve slične konstrukcije izlazi, da se



Sl. 28. Voltmetar do 120 Volta.

u istom instrumentu može udesiti i „ampermetar“ i „voltmetar“. Treba samo zgodno omotati oko istoga šupljega valjka dvije izolirane žice, jednu za ampere, drugu za volte. Naša slika 26. pokazuje taki zajednički aparat: donji brojevi pokazuju napetosti u voltima do 10 volta.

2. Ohmov zakon. Ako imamo dobar „ampermetar“ i dobar „voltmetar“, možemo pristupiti ri-

ješavanju osnovnoga pitanja električne nauke: O čemu zavisi jakost električne struje?

Jasno je naime: kad znamo o čemu sve zavisi ta jakost, moći ćemo tek pristupiti drugomu važnomu pitanju: kako da gradimo električne strojeve, koji će nam davati što jače struje uz primjerenu cijenu?

Postavljeno je pitanje za nas, koji želimo da upoznamo modernu elektrotehniku, upravo osnovne važnosti, pak će i našim čitateljima biti milo, ako ovdje nadju o njem iscrpljivu pouku

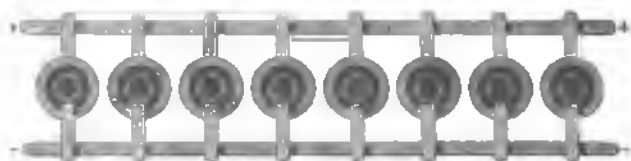
A) Uzmimo, da imademo pred sobom 4 galvanska elementa posve jednake veličine, na pr. 4 „Daniellova“ elementa

(ploče su kovne u njem . bakar i cinak ; tekućine : okiseljena voda i rastopina modre galice). Elektromotorna sila, koja u svakom djeluje kod dotika ploča i tekućina izvodi na svakoj ploči neki električni naboj, dakle i na kraju ploča neku razliku napetosti, koju možemo našim voltmetrom odmah odrediti. Neka bude ta razlika napetosti jednaka baš „1 volt“ : Napetost je bakrene ploče za 1 volt veća od napetosti cinkove. Što je uzrok toj razlici napetosti? Očito elektromotorna sila u elementu ! Ta ona ju izvodi i neprestano podržaje, a baš time pokreće elektrone u čitavom zatvorenom krugu na gibanje. Nismo dakle pogriješili, kada smo za mjeru te elektromotorne sile našega elementa uzeli baš tu razliku napetosti, što ju je ona izvela, pak smjedosmo i ovako govoriti : „elektromotorna sila“ našega Daniella je 1 volt, a pri tom svagda mislimo .

$$\text{elektromotorna sila} = \text{razlika napetosti u voltima.}$$

Ova „elektromotorna sila“ našega Daniella ostaje u svim prilikama — to nam direktno kazuje naš voltmetar — jednaka. Ma što mi radili s našim elementom, i razlika napetosti ostaje točno = 1 volt. Na pr. mi postavimo elemenat na staklenu ploču, tako da je posve izoliran od Zemlje, za koju uzimamo, da joj je električna napetost svagda = nuli (isp. stranu 61.). Tim nismo htjeli reći, da naša Zemlja nema nikakve električne napetosti. Mi samo električne napetosti onih tjelesa, s kojima baš radimo, isporodjujemo s napetošću naše Zemlje, pak od te brojimo volte gore (pozitivno) i dolje (negativno). Nešto posve sličnoga radimo i kod termometra. Kad velimo : temperatura je leda, kada se tali, jednaka nuli, nismo nipošto tim rekli, da u njem nema nikakve topline ; mi tek od toga stupnja njegove topline brojimo stupnje gore (+) i dolje (—). Izolirani elemenat, spojen s kakvim veoma osjetljivim „elektrometrom“ (ne voltmetrom), na pr. Thomsonovim, pokazuje spram napetosti Zemlje (= nuli) na kraju bakrene ploče napetost + $\frac{1}{2}$ volta, a na kraju cinkove ploče napetost — $\frac{1}{2}$ volta ; razlika je obih (+ $\frac{1}{2}$) — (— $\frac{1}{2}$) = + 1 volt, a to baš pokazuje i naš voltmetar. Ako sada sastavimo ploču cinka sa Zemljom, njezina se napetost izjednači

s mjesta s napetošću Zemlje t. j. nije više $-\frac{1}{2}$ volta, nego je sada = nuli ; b a k r e n a ploča sada ne pokazuje više napetost $+\frac{1}{2}$ volta, nego $+1$ volt ; razlika je obih napetosti . $(+1) - 0 = +1$ volt, kao i prije. Ako pak ploču bakrenu spojimo sa Zemljom, njezina se napetost s mjesta izjednači sa zemaljskom, ona nije više $= +\frac{1}{2}$ volta, nego je sada = 0 ; no za to pokazuje ploča cinka na Thomsonovu elektrometru, ne kao prije napetost $-\frac{1}{2}$ volta, nego -1 volt ; dakle je razlika napetosti sada opet : $0 - (-1) = 1$ volt, kao i prije. Mi možemo pače ploču cinka spojiti žicom s kakvim nabitim velikim vodičem, koji ima napetost, na pr. 1000 volta, pak će dakako i naša ploča od cinka s mjesta imati napetost od 1000 volta, no na ploči bakrenoj pokazat će se sada napetost od 1001 volta ; dakle je razlika opet = 1 volt i to : napetost je na bakru svagda točno za 1 volt veća nego na cinku.



Sl. 29. Paralelno spojeni elementi.

Ponovimo li te pokuse s ostalim Daniellima, pokazuju se posve jednaki rezultati : i njih svaki pokazuje u svim prilikama razliku napetosti na svojim polovima, jednaku točno 1 volt!

Izvodimo iz tih pokusa :

1. „Svaki galvanski element ima posve određenu elektromotornu silu, koju mjerimo voltima“.

Drugo je pitanje : n v e ć a v a li se možda elektromotorna sila elementa, ako uzmemo veće ploče od bakra i cinka ? Neka odgovori pokus.

Od naših 8 elemenata Daniellovih možemo lako sklopiti je d a n Daniellov element, koji ima 8 puta veće ploče : treba samo sve ploče od bakra medju sobom i sve ploče od cinka medju sobom spojiti s pomoću kratkih i debelih žica ili pločica, kako pokazuje slika 29. ; sve su bakrene ploče (nisu ravne,

nego su savite u oblik šupljega valjka !) spojene sa sinjom ++, a sve cinkove sa sinjom ——. Svi su bakreni valjci sada jedan bakreni valjak, ali 8 puta tako velik kao predjašnji, a svi cinkovi čine jedan cinkov valjak, 8 puta tolik kao prije. Nauka veli u tom slučaju, da su elementi „paralelno spojeni” ili „spojeni su jedan uz drugi”. Ispitajmo, kolika je elektromna sila toga novoga Daniella s pločama 8 puta većima! Naš voltmetar pokazuje baš 1 volt kao i prije! Dakle

2 Elektromotorna sila elementa posve je nezavisna od veličine i oblika ploča.

Dvije kratke žice od bakra i cinka, utaknute u spomenute tekućine, pokazuju razliku napetosti na polovima od 1 volta baš kao i dvije makar kako velike ploče. Dragocjena tekovina!

Treće je pitanje: kakva je elektromotorna sila drugih elemenata, u kojima su drukčije ploče i tekućine?

Ako ih imamo nekoliko pred sobom, odgovorit će nam naš voltmetar s mjesta, ako ga redom sastavljamo s njima. Evo rezultata:

Bunsenov	elemenat s 1 tekućinom;	elektromot. sila = 2.0	volta
Leclanché-ov	„	„	„ = 1.4 „
Daniellov	„ s 2 tekućine	„	„ = 1.01 „
Meidingerov	„	„	„ = 0.95 „
Bunsenov	„	„	„ = 1.88 „

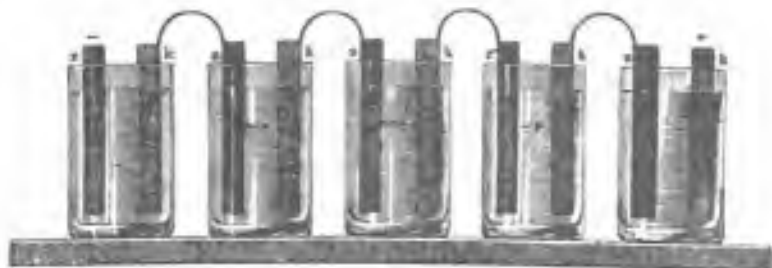
Iz tih pokusa izvodimo:

3. Elektromotorna sila elementa zavisi bitno od prirode obiju kovina i upotrijebljenih tekućina.

Svaka kombinacija ima svoju elektromotornu silu, pak je sada jasno, da će praksa izmišljati kombinacije sa što većom elektromotornom silom uz primjerene cijene. I zaista ima tih kombinacija sva sila.

Svaki elemenat daje strujanje elektrona u krugu, čim se taj krug zatvori makar kakovom žicom spojnicom, koja sastavlja pol više napetosti s polom niže napetosti. Ta će struja imati neku „jakost”, koju ću s mjesta čitati na ampermetru, ako ga uklopim u krug struje time, da na pr. naš

Daniell s pomoću dviju takih žica spojimo s ampermetrom. On će, recimo, pokazati, da teče struja, kojoj je jakost jednaka 0.5 ampera, kraće: „struja od $\frac{1}{2}$ ampera”.



Sl. 30. Elementi spojeni u seriju.

Bez ikakvih pokusa možemo sada zaključiti, kad bih u zatvorenom krugu imao 8 elektromotornih sila po 1 volt, koje



Sl. 31. 8 elemenata spojeni u seriju.

elektrone pokreću u istom smjeru, tekla bi kroz svaki prerez kruga u 1 sekundi i 8 puta tolika množina elektricitete, t. j. struja bi bila 8 puta tako jaka, imala bi jakost $0.5 \times 8 = 4$ ampera. No ništa lakše, nego u našem krugu namjestiti 8 elektromotornih sila po 1 volt! Treba elemente samo namjestiti i sastaviti, kako pokazuje slika 30: bakar (b) prvoga spojen je cinkom (c) drugoga i t. d. do posljednjega, ovdje p toga. Prvi bakar ima napetost veću za 1 volt od prvoga cinka, a tu istu napetost primaju i sva tjelesa s njim spojena; drugi cinak ima dakle također napetost veću za 1 volt, nego prvi cinak. No drugi bakar mora imati za 1 volt veću napetost od svoga cinka, dakle ima napetost za 2 volta veću od cinka u prvom elementu i tako ide dalje: posljednji bakar ima očito napetost za 5 volta veću od prvoga cinka t. j. elektromotorna je sila ove kombinacije svakako 5 volta. To potvrđuje posvema i mjerenje s našim voltmetrom. Za galvanske elemente ovako sklopljene veli nauka, da su „spojeni u seriju” ili da su „spojeni jedan za drugim”. Slika 31. pokazuje 8 elemenata spojenih u seriju.

Ako zaista na pr. 3 naša Daniella ovako sklopimo jedan za drugim, pokazuje nam voltmetar elektromotornu silu $= 1 \times 3 = 3$ volta, a naš ampermetar nam pokazuje jakost struje $= 0.5 \times 3 = 1.5$ ampera. Dakle :

Jakost struje raste u istom omjeru kao i elektromotorna sila.

Ako je elektromotorna sila osmerostruka, bit će i jakost struje baš točno osmerostruka.

Veoma dragocjeno otkriće ! Želim li dobiti što jačih struja (t. j. što više ampera), moram nastojati, da načinim što veću elektromotornu silu t. j. što veću razliku **napetosti** na polovima u voltima.

2000 naših Daniella imali bi 2000 volta elektromotorne sile, dakle bi morali dati struju od $0.5 \times 2000 = 1000$ ampera — ako na jakost struje ništa drugo ne **utječe** osim elektromotorne sile !

3. Otpor u struji. No ali taj „ako“ ovdje u istinu jako **utječe**. Na jakost struje povoljno utječe elektromotorna sila, ali nepovoljno jedan drugi faktor: **prolaženju** se elektronâ opire svaka tvar; neke tvari više, druge manje.

Električna struja nalazi dakle u svakom tijelu, kojim mora da prolazi, neki „otpor“. Samo se po sebi razumije, da će taj otpor jakost struje **umanjivati**: što je veći otpor u čitavom krugu, to manje elektronâ prolazi u 1 sekundi kroz svaki prerez, to je manja „**jakost struje**“. Izgleda, kao da se elektrom moraju verati među molekulima, pak se pri tom o nje taru.

Da taj otpor kod svih tvari nije jednak, to su već najprvi pokusi pokazali; kroz stakleni se nit elektroni uopće ne gibaju, otpor je u staklu i u svim drugim izolatorima (nevodivcima) neizmjereno velik; razmjerno najmanji je otpor u kovinama, ali i tu je u svakoj drukčiji. Naša električna struja mora da teče: 1. kroz kovne ploče u elementima, 2. kroz tekućine elementa, 3. kroz kratke žice ili pločice, koje ih spajaju i 4. kroz izvanju žicu spojnicu, koja vodi od jednoga pola baterije do drugoga, a može da bude dugačka mnogo i kilometara, de-

bela ili tanka. Ekonomija će dakako voljeti **t a n k e** žice spojnice, jer su jeftinije. Prema tomu možemo cjelokupni otpor našoj struji zgodno razdvojiti: u „**u n u t r a š n j i o t p o r**“ baterije t. j. otpor, što ga struja nalazi u pločama i tekućinama elemenata i u kratkim spojevima tih elemenata, i u „**i z v a n j i o t p o r**“, što ga struja nalazi u spomenutoj žici **p r o v o d n i c i**. Ne treba tek spominjati, da je:

$$\text{cjelokupni otpor} = \text{unutrašnji} \\ \text{otpor} + \text{izvanji otpor}.$$

Premda je gotovo zališno eksperimentom dokazivati, da cjelokupni otpor nepovoljno utječe na jakost struje, možemo i to pokazati lako pokusom. Unutrašnjega otpora u gotovoj bateriji našoj, pak ni u zadanom elementu ne možemo da mijenjamo po našoj volji; ali **možemo** lako mijenjati izvanji otpor time, da uklapamo u krug struje na pr. **s v e v e ć e k o m a d e** žice spojnice. Naša **p r e d j a š n j a** mala baterija od 3 Daniella imala je elektromotornu silu (napetost) od 3 volta, a davala je struju od 1.5 ampera, kad smo ju s ampermetrom sastavili kratkim žicama; no čim ih zamijenimo s **d u g a č k i m a**, ampermetar ide **z n a t n o** dolje, i jakost je struje opet pala na 0.5 ampera, premda je elektromotorna sila ostala 3 volta!

Zasluga je **u j e m a č k o g a** fizika **O h m a**, da je prvi pokazao (g. 1827.), **k a k o** otpor utječe na jakost struje. On je naimenashao: ako uz **s v e u d i l j** **j e d n a k u** elektromotornu silu (u našem primjeru = 3 volta) cjelokupni otpor struje u krugu postane **d v a p u t a**, **t r i p u t a** veći, **p a n e j a k o s t** te struje baš točno na **p o l o v i n u**, **t r e ć i n u** i t. d. Dakle:

J a k o s t je struje (uz istu elektromotornu silu) u obrnutom razmjeru s cjelokupnim **o t p o r o m** u krugu.

Osim elektromotorne sile (**E**) i otpora (**R** = resistentia) ne utječe ništa na **j a k o s t** (**I** = intensitas) električne struje. Oba su ova otkrića bila baš sudbonosna za razvitak moderne elektrotehnike, jer su nas uputila, što treba raditi, da **d o b i j e m o** u zatvorenim krugovima što **j a č e** struje: treba nastojati, da bude u njima što **v e ć a** elektromotorna sila ili napetost (**E**)

i ujedno što manji cjelokupni otpor (R). Bit će prilike, da o tom još kasnije više raspredamo, kako taj problem riješava elektrotehnika.

Sada ćemo tek obje tekovine sastaviti u jednu rečenicu, u glasoviti „Ohmov zakon za električnu struju“, koji možemo ovako reći:

U svakom je zatvorenom strujinom krugu jakost struje (I) jednaka elektromotornoj sili (E) razdijeljenoj cjelokupnim otporom (R)

$$\text{Jakost struje} = \frac{\text{elektromotorna sila}}{\text{otpor}}$$

ili kraće:

$$I = \frac{E}{R}$$

Ta je spoznaja čvrsti temelj, na kojem stoji današnja ponosna zgrada elektrotehnike. Ali ona sobom nosi za nas i novu zadaću. Tako je uvijek u prirodnoj nauci: tek si se dovinuo novoj tekovini, niču novi problemi!

Ako je naime otpor drugi faktor, koji bitno utječe na jakost struje, treba da sada proučimo iz bližega taj „otpor“, t. j. treba da ispitamo, o čem zavisi veličina toga otpora i kako bismo ga u svakoj prilici brzo i točno izmjerili. Jasno nam je, da bez toga nema napredovanja u elektrotehnici.

Navlastito je važno znati o čem zavisi izvanji otpor u žicama provodnicama, jer taj dio cjelokupnoga otpora možemo prema potrebi i po našoj volji mijenjati i udešavati. Pitanje je dakle: o čem zavisi otpor u žicama (navlastito od bakra, željeza, platine i dr.), jer struje naše redovno teku kroz take žice.

Na to pitanje odgovaraju razmjerno jednostavni pokusi, koje ćemo ovdje ukratko opisati:

1. Pred nama je baterija od 3 Daniellova elementa; u krug struje uklopljen je ampermetar i voltmetar; prvi pokazuje na pr., da u krugu teče struja od 1.5 ampera, dok drugi pokazuje elektromotornu silu od 3 volta; sva žica spojnika od bakra neka bude u tom slučaju dugačka na pr. 50 metara, a prerez

neka joj bude $= 1 \text{ mm}^2$. Ako mjesto 50 metara uklopimo u krug struje 100, 150, 200 metara, vidimo na ampermetru sve slabiju struju, pak možemo baš izračunati, kako se otpor mijenja dužinom žice. U ovom je pokusu naime elektromotorna sila svedjer ista (3 volta), ali i unutrašnji je otpor svedjer isti, pak i otpor u ampermetru. Mijenja se samo otpor u žici spojnici, koja je 2, 3, 4 puta duža postala, ali je ostala 1 mm^2 debela i od istoga materijala (bakra). Račun pokazuje, da dva puta, tri puta, četiri puta duža žica zadaje (uz istu debljinu i isti materijal!) točno dvostruki, trostruki, četverostruki otpor. Možemo dakle reći:

Otpor je žice određenoga prereza i materijala to veći, što je veća njezina dužina.

2. Mjesto žice bakrene dugačke 50 metara a prereza $= 1 \text{ mm}^2$ uklopimo sada 50 metara bakrene žice s prerezom od 2 mm^2 , dakle dvostrukoga prereza. Jakost struje sada nije 1.5 ampera kao kod predjašnje isto tako dugačke, ali za polovinu tanje žice, nego je sada znatno veća! Ponavljajući pokuse sa 50 metara bakrene žice debele 3 mm^2 , 4 mm^2 i t. d. možemo baš izračunati, kako se otpor sve više umanjuje, kada debljina bakrene žice raste, pak nalazimo:

Otpor je žice uz jednaku dužinu i isti materijal to manji, što je veći prerez žice.

3. U trećem bismo nizu pokusa uzeli opet 50 metara žice debele 1 mm^2 , kao i u prvom pokusu, ali samo bismo mjesto bakrene žice uzeli željeznu. Jakost struje neće biti 1.5 ampera, nego manja. Željezna žica dugačka 50 metara i debela 1 mm^2 zadaje dakle struji veći otpor, nego isto tako dugačka i debela žica bakrena. Iz tih pokusa razbiremo:

Otpor je žice uz istu dužinu i isti prerez još zavisao o tvari žice. Svaka tvar zadaje struji drukčiji otpor.

Na temelju ove posljednje spoznaje nije teško odrediti koliko je puta veći otpor na pr. u 1 metru željezne žice, nego u 1 metru bakrene žice istoga prereza; našlo se je, da je 6 i puta veći. Takove brojeve možemo dobiti za sve tvari, od kojih se žice grade, pak im dajemo ime „specifični otpor“ te tvari spram bakra.

I tako se naša nauka opet dovinula novoj dragocjenoj spoznaji, da otpor, što ga žice provodnice zađaju struji, zavisi od tri faktora : 1. od dužine žice ; 2. od njezinoga preseza i 3. od njezinoga „specifičnoga otpora“. Sve tri spoznaje zajedno daju drugi dio Ohmova zakona :

„Otpor je vodića jednak njegovomu specifičnomu otporu, pomnoženu s dužinom vodića i razdijeljenu s njegovim presekom“.

Kraće pisano :

$$\text{Otpor vodića} = \text{specifični otpor} \times \frac{\text{dužina vodića}}{\text{presež vodića}}$$

U znacima matematičkim se to još kraće bilježi :

$$R = s \cdot \frac{l}{q}$$

Iz toga zakona razbirmo činjenicu, da je otpor, što ga struja nalazi u žici, posve nezavisan od jakosti struje, koja u žici teče. Želimo li dakle mjeriti najrazličnije otpore struji, ne treba ništa drugo učiniti, nego otpor u žici određene dužine, određenoga preseza i odabranoga materijala uzeti za jedinicu otpora, toj jedinici dati posebno ime i onda s njom isporodjivati sve druge otpore. Tim smo naučili i otpore „mjeriti“. Pita se samo, koje bi nam žice otpor bio zgodna jedinica? Kod izbora te jedinice za otpor, koju možemo po miloj volji birati, ulazi u račun Ohmov zakon :

$$\text{Jakost struje} = \frac{\text{elektromotorna sila}}{\text{otpor}}$$

dakle takodjer

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ otpora}}$$

Bit će najzgodnije odabrati za jedinicu otpora onaj otpor, kod kojega će elektromotorna sila od 1 volta dati struju jaku baš 1 amper. To je otpor, što ga struji zađaje nit žive dugačak 106.3 centimetara a debeo baš 1 mm² kod temperature od 0°. Ime su dali

tomu otporu „1 o h m (1 Ω)“ u počast obretniku najvažnijega fundamenta elektrotehnike.

Ako dakle velimo: tijelo A zadaje struji otpor od 10 ohma, rekli smo time, da joj to tijelo zadaje tolik otpor kao nit žive, dugačak $106.3 \times 10 = 1063$ centimetara, ako taj nit žive ima prerez od 1 mm² i temperaturu od 0°.

Poradi toga se i „specifični otpori“ različnih tvari danas odredjuju spram žive kao odabrane jedinice za isporედjivanje.

Poradi velike važnosti tih brojeva za elektrotehniku evo nekoliko specifičnih otpora spram žive za najvažnije tvari po pouzdanim novijim mjerenjima.

Tablica specifičnih otpora spram žive (Hg)

Ime vodiča	Specif. otpor (lg = 1)	Ime vodiča	Specif. otpor (lg = 1)
Aluminiј	0.027	Novo srebro	0.3184
Bakar (čisti)	0.0162	Olovo	0.2083
„ (kupovni)	0.01754	Patentnikalј	0.364
Bizmut	1.389	Platinsrebro	0.261
Cinak (tutija)	0.0599	Platina	0.06944
Grafit	12	Plinski uglјen	67.7
Konstantan	0.53	Reotan	0.50
Kositer	0.1400	Srebro (meko)	0.01597
Manganbakar 12%	0.460	„ (tvrdo)	0.01730
Manganbakar 30%	1.135	Zlato	0.02183
Manganin	0.498	Željezo	0.1034
Nikalј	0.1319	Živa	1
Nikelin	0.455—0.555		

Tablica je vrlo zanimljiva i vrijedna, da se časak kod nje zaustavimo!

Od kovina zadaje struji najmanji otpor srebro; on je od prilike 60 puta manji od otpora žive (1 : 0.01597 = 60...); iza njega dolazi odmah b a k a r, pak sada razumijemo, zašto se za provodnice struje uzimaju b a k r e n e žice. Šteta, što

je bakar još preskup za dugačke provodnice, pak se mora naknaditi željeznim žicama, koje struji zadaju 6 puta veći otpor nego bakar ($0.1034 : 0.01754$).

U drugom su dijelu tablice ugljeni i neke slitine, koje se u novije doba sve više upotrebljavaju kod električnih aparata. Grafit zadaje struji 700 puta veći otpor, nego bakar ($12 : 0.01754$), ali je još uvijek dobar vodič elektricitete spram tekućina, koje struji zadaju kud i kamo veće otpore (ako su uopće vodiči elektricitete). Poradi toga se one tekućine, koje struju uopće još propuštaju, zovu „vodiči struje drugoga razreda“. Tako na pr. zadaje razrijedjena sumporna kiselina (30.4%) struji 14.500 puta veći otpor, nego živa, a kako se u elektriciteti upotrebljavaju kao vodiči drugoga reda rastopine kiselina i soli u vodi, treba još i to spomenuti, da se taj otpor znatno mijenja prema koncentraciji rastopine.

S pomoću tablice može sada čitatelj i sam izračunati otpore najrazličitijih žica. Na pr. kolik je otpor R bakrene žice s prorezom od 6 mm dugačke 80 metara kod temperature od 0° ?

Odgovor:

$$\text{Otpor u ohmima} = \text{specifični otpor} \times \frac{\text{dužina žice u metrima}}{\text{porez u mm}^2}$$

Budući da je specifični otpor bakra = 0.01754, izlazi:

$$\text{Otpor } R = 0.01754 \frac{80}{6} = 0.01754 \times 15 = 0.2631 \text{ ohma (1)}.$$

Za praktičnu porabu je zgodnije, ako si jedanput za svagda u ohmima izračunamo otpor žice svake kovine, dugačke 1 metar i debele 1 mm².

To je pak lako učiniti, ako se sjetimo, da je 1 ohm otpor živina nita, dugačkoga 106.3 cm. = 1.063 metara. Jedan metar toga živina nita ima otpor od $1 : 1.063$ ohma = 0.94073 ohma. Taj broj ohma treba pomnožiti sa specifičnim otporom materijala, od kojega je žica. Izlazi ova

Tablica otpora žice dugačke 1 m i s pro-
rezom od 1 mm² u ohmima

Ime:	Otpor u ohmima (zaokružen)
Aluminij	1/39
Olovo	1/41
Željezo	1/12
Zlato	1/49
Bakar	1/01
Nikalj	1/3
Platina	1/16
Srebro (meko)	1/66
Srebro (tvrd)	1/62
Bizmut	1 1/5
Cinak	1/10
Kositer	1/8
Novo srebro	1/4
Nikelin	1/3
Manganin	1/3

Sad će biti još lakše izračunati otpor makar kakve žice.
To ostavljamo marnim čitačima i čitačicama!

* * *

U predjašnjim recima upoznasmo osnovna tri faktora, koji ulaze u račun kod svake električne struje; ti jesu: 1. „elektromotorna sila” ili „razlika napetosti” na polovima; kratko danas običavaju reći: „napetost” struje; mjerimo ju „voltima”, a bilježimo slovom E ; 2. „jakost struje” ili množina elektricitete, što protječe u sekundi kroz svaki prerez kruga; mjerimo ju „amperima” i bilježimo slovom I ; 3. „otpor struji” u čitavom krugu, navlastito u provodnici žici; mjerimo ga „ohmima” i bilježimo slovom R .

U „elektromotornoj sili” ili u „razlici napetosti” na polovima gledamo uzrok, koji elektrone pokreće, da se stanu gibati i koji ih održaje u tom njihovom gibanju, doklegod djeluje.

Ova tri glavna faktora kod električne struje svezana su medju sobom osnovnim zakonom elektrotehnike obim dijelovima „O h m o v a z a k o n a“, koji nam kazuju, kako zavisi jakost struje od napetosti i otpora, a u drugom dijelu, o čem i kako zavisi o tom otpor u žicama provodnicama. Taj se fundamenat elektrotehnike može (isp. str. 000) za praksu zgodno ovako pisati :

$$1. \text{ broj ampera} = \frac{\text{broj volta}}{\text{broj ohma'}}$$

$$2. \text{ broj ohmova} = \text{spec. otpor} \times \frac{\text{metri}}{\text{kvadratni milimetri}},$$

pak si po tom može sada svatko i sam riješavati dosta zadaća električnih.

Evo i za to nekoliko primjera :

1. Neka baterija sastavljena je u seriju od 6 elemenata, za koje znamo, da imaju elektromotornu silu od 2 volta. Struja mora da teče kroz krug, koji joj zadaje cjelokupni otpor (umutražnji i izvanji !) od 3 ohma. Koliko je ampera jaka ta struja?

$$\text{O d g o v o r : jakost struje} = \frac{12 \text{ volta}}{3 \text{ ohma}} = 4 \text{ ampera.}$$

Tim će krugom teći struja jaka 4 ampera ili struja od 4 ampera.

2. Ako ista baterija šalje svoju struju kroz cjelokupni otpor od 12 ohma, davat će i s t a baterija struju

$$= \frac{12 \text{ volta}}{12 \text{ ohma}} = 1 \text{ amper.}$$

Isti izvor struje od 12 volta može dakle davati struje posve r a z l i č n e jakosti prema tomu, koliko ohma ima cjelokupni o t p o r. Svagda je broj ampera jednak broju volta razdijeljen na broj ohmâ.

3. Električna struja iz nekoga izvora ulazi u žarnicu, koja treba struju od 1 ampera, da sjajno svijetli. U tečaj te struje uklopljeni voltmetar pokazuje razliku napetosti od 10 volta između ulaza u lampu i izlaza iz nje. Kolik je otpor u žarnici?

O d g o v o r. Iz odnošaja :

$$\text{broj ampera} = \frac{\text{broj volta}}{\text{broj ohma}}$$

izlazi

$$\text{broj ohma} = \frac{\text{broj volta}}{\text{broj ampera}}$$

dakle u našem primjeru : otpor u žarnici = $\frac{10 \text{ volta}}{1 \text{ amper}} = 10 \text{ ohma}$.

Ova žarnica zadaje struji otpor od 10 ohma.

Svaka električna svjetiljka treba odredjenu jakost struje, da gori punom svojom svjetlošću. Imamo dvije vrste, bitno različne, električnih svjetiljaka ; u jednih se izvodi svijetljenje tim, da struja užari tanku žicu ; zovemo ih „ž a r n i c e" (Glühlampen, lampes à incandescence) ; u drugih se izvodi svjetlost t. zv. „Voltinim lûkom" (l'arc voltaïque, Voltascher Bogen), koji se načini među šiljcima ugljena, kada struja teče ; zovemo ih zgodno „l a m p e s r e g u l a t o r o m" (lampes à régulateur, Bogenlampen) ; kratko bismo ih hrvatski možda mogli zvati „lûčnice".

Žarnicâ se grade modeli najrazličnije snage, od m a l i h sa 1 do 8 svijeća, koje gore kod 2 ampera uz napetost od 3 do 30 volta, pak sve do v e l i k i h žarnicâ od 150—1000 svijeća, koje trebaju napetost od 110 volta i struju jaku od 6 do 25 ampera.

Najobičniji je model žarnica (lampa) od 16 svijeća, koja gori strujom od 0.8 ampera.

* * *

Mi ovoga odsječka ne bismo mogli završiti, a da se ne taknemo još jednoga slučaja prolaženja jednake električne struje u žicama provodnicama, koji je u modernoj elektrotehnici prijeko važan. Do sada smo naime uzimali, da električna struja od jednoga pola svoga izvora do drugoga pola teče j e d n o m j e d i n o m žicom : zatvoreni je krug struje bio j e d n o v i t. Sada izvedimo ovaj raspored pokusa :

Izvor struje neka bude baterija Q . (Sl. 32.) Od pozitivnoga pola elementa teče struja smjerom strjelice do stezaljke a . Tu se razdvaja, pak teče dalje i žicom abc i žicom adc do druge stezaljke c , gdje se razdvojene grane struje opet stječu, pak struja dalje teče jednom žicom do drugoga pola svoga izvora. Dok struja teče je jednom, nerazdvojenom provodnicom, jaakost je struje I , kako znamo, po Ohmovu zakonu svagdje i u provodnici i u unutrašnjosti elementa posve jednaka. A što je s jakošću struje u razdvojenim granama abc i adc ? Je li ista kao u nerazdvojenoj provodnici aQc ? Njemački je fizik Kirchhoff takve slučajeve „razdvajanja struje” osobito ispitivao i time nadopunio i raširio Ohmov zakon na različne slučajeve razdvajanja struje. Ovdje se tičemo najjednostavnijih.

Uklopivši ampermetar redom u nerazdvojenu granu aQc , pak u razdvojene grane abc i adc , razbiramo s mjesta: u različnim granama struje različne su jakosti struje.

Ako je na pr. razlika napetosti u stezaljkama a i c jednaka 65 volta, a otpor žice abc samo 5 ohma, dok je u grani adc 13 ohma, jasno je, da ista razlika napetosti od 65 volta tjera elektricitetu u isto doba i kroz abc i kroz adc . No u provodnici abc bit će



Sl. 32. Razdvajanje struje.

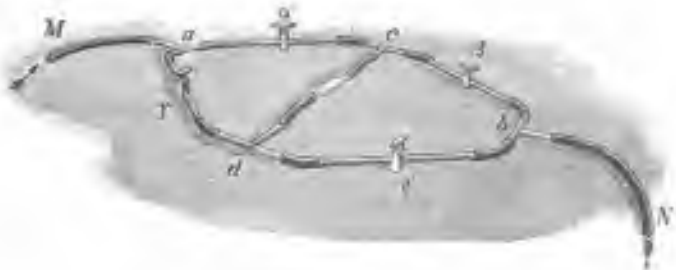
jakost struje $= 65/5 = 13$ ampera, a u provodnici adc bit će samo $65/13 = 5$ ampera t. j. u prvoj je grani struja $2\frac{1}{2}$ puta jača nego u drugoj.

Razbiramo i to, da jakost struje u pojedinim granama zavisi od otpora u njima; u grani s deseterostrukim otporom teći će 10 puta slabija struja! U nerazdvojenoj je grani aQc jakost struje jednaka sumi (zbroju) obiju predjašnjih jakosti, u našem primjeru 18 ampera.

Ako su slučajno otpori u obje grane adc i abc jednaki, na pr. u svakom 13 ohma, teći će svakom granom struja jaka $65/13 = 5$ ampera, a to je polovina jakosti nerazdvojene struje u aQc , koja ima jakost od 10 ampera.

Ovdje je raspravljen tek najjednostavniji slučaj razdvajanja struje. Osobito je zanimljiv još ovaj nešto zamršeniji slučaj,

koji ćemo najprije razložiti primjerom kod rastoka vode. Ako hoću da mi voda teče cijevima, treba da bude svagda sprijeđena k veći nego strag — samo ta razlika u tlaku tjera vodu kroz cijevi. Neka iz vodovoda na lijevoj strani taj veći tlak tjera vodu (sl. 33.) od M do a , onda od a preko c do b i ujedno od a preko d do b , pak onda dalje jednovitom cijevi do N , gdje voda ističe. Ako se sada cijevi acb i adb spoje trećom cijevi cd — zovnu je „most“ — kako će voda u mostu teći? Od c nastoji voda teći ka a od d nastoji iz cijevi $a d$ da teče k c . Kuda će dakle? Očito je moguće i jedno i drugo prema tomu, gdje prevladava tlak vode. No moguće je i treće: voda u mostu cd miruje! S pomoću četiriju pipaca α , β , γ , δ moći ću jakost strujanja u cijevima ac , cb , ad i db tako izravnati, da voda u cd uopće ne teče ni tamo ni amo, nego posve miruje, dok u cijevima ac , cb , ad



Sl. 33. Rastoke vode u cijevima s mostom.

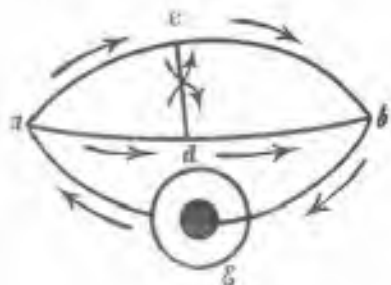
i db sveudilj teče smjerom strjelica. Kad bih na pr. usred cijevi cd namjestio lako kolešce, ono se ne bi okretalo! U mostu je mir!

Ovo zanimljivo razdvajanje vodene struje možemo i kod električne struje izvesti.

Iz izvora (sl. 34.) E teče struja, kao i prije nerazdvojena do stezaljke a , tu se razdvaja u grane acb i adb spojene na jednom mjestu žicom cd , koju i ovdje zovemo „most“. Dok struja u nerazdvojenom dijelu pak u granama ac , cb , ad i db neprekidno teče, kako kazuju strjelice, u mostu se sudaraju dvije suprotne struje, koje će se svakako slabiti. Ako su slučajno obje jednake jakosti, u mostu cd uopće neće biti struje, dok mače u čitavom krugu struja neprekidno teče. Uklopimo li u tom slučaju u provodnicu cd kakav galvanoskop

ili ampermetar, on neće pokazivati nikakva otklona kazala t. j. struja ima jakost **n u l u** !

Kada će se dogoditi taj osobito zanimljivi slučaj, da u mostu uopće nema nikakve struje? Odgovor je na dlanu. Treba da bude kod *c* i kod *d* jednaka **n a p e t o s t** t. j. jednak broj volta. Čim nema razlike u napetosti kod *c* i *d*, nema ni struje u *cd*, jer samo ta razlika napetosti tjera elektrone kroz provodnicu *cd*. Neka bude kao prije razlika napetosti u stezaljkama *a* i *b* jednaka 65 volta. Kako struja sada teče od *a* dalje u grane *acb* i *adb*, g u b i struja od svoje napetosti, svladavanje je naime otpora u provodnici svagda spojeno s g u b l j e n j e m n a p e t o s t i ; gubitak će napetosti očito biti to veći, što je veći otpor u onom komadu provodnice. Želimo li dakle da mostom *cd* ne teče nikakva struja, mora se od onih 65 volta na putu od *a* do *c* istrošiti jednak broj volta, kao na putu od *a* do *d*. No ako mostom *cd* ne smije da teče nikakva struja, možemo pomisliti kao da ga ni nema, pak je jasno, da će j a k o s t struje u komadu žice *ac* i u komadu *cb* biti posve jednaka, a isto tako mora da bude u komadima *ad* i *db* j e d n a k a jakost struje. To je pak samo onda moguće, ako je :



Sl. 34. Razdvajanje struje mostom.

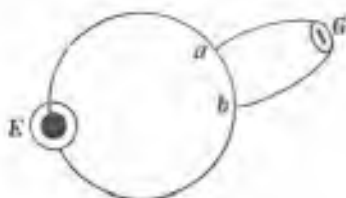
$$\frac{\text{otpor u } ac}{\text{otpor u } ad} = \frac{\text{otpor u } cb}{\text{otpor u } db}$$

Uzmimo na pr. otpor u *ac* = 12 ohma, otpor u *ad* = 4 ohma ; omjer obaju = 12/4 = 3. Otpor u *cb* = 18 ohma, otpor u *db* = 6 ohma ; omjer obaju = 18/6 = opet 3. U mostu *cd* u tom slučaju n e t e č e struja. Lahak račun po Ohmovu zakonu pokazat će, da je napetost u *c* i *d* posve jednaka.

Engleski je fizičar W h e a t s t o n e ovaj slučaj razdvajanja struje veoma umno znao upotrijebiti, da s njegovom pomoću isporedi o t p o r jedne žice s otporom druge žice, i tim se načinom mogu m j e r i t i otpori najrazličnijih žica i izražavati u ohmima. Poradi toga se ovaj zanimljivi slučaj razdvajanja

struje u nauci i danas zove „Wheatstoneov (čitaj: Witstonov) most”.

Nas ovdje više zanima onaj prvi slučaj razdvajanja. On nam daje namre u ruke praktično sredstvo, da izmjerimo razliku napetosti na makar koja dva mjesta u tečaju struje. Neka bude opet (sl. 35.) E izvor struje, a polovi neka imaju razliku napetosti = 65 volta. Spojeni su provodnicom, koja zadaje struji tolik otpor u ohmima, da njom teče struja jaka na pr. 5 ampera. Tjerajući elektrone kroz žicu izvršuje struja neku radnju i napetost se pomalo u provodnici troši. Kolika je još razlika napetosti izmedju *a* i *b*? Kod *a* i *b* uklopimo s pomoću žica ampermetar G. Razdvojili smo struju: jedan ogranak teče sada od *a* kroz amper-



Sl. 35. Mjerenje napetosti.

metar *k b* i ampermetar neka zadaje struji velik otpor na pr. 100 ohma, a drugi ogranak struje teče provodnicom *ab*. Elektrone tjera u jednu i u drugu granu razlika napetosti, koja postoji izmedju *a* i *b*, a mjeri se voltima. Ako nam sada ampermetar kraj svojih 100

ohma otpora pokazuje u svojoj grani još jakost struje od 0.5 ampera, znak je to, da je po Ohmovu zakonu

$$\text{broj amperâ} = \frac{\text{broj volta}}{\text{broj ohma}}$$

dakle takodjer :

$$\text{broj volta} = \text{broj ampera} \times \text{broj ohma} ;$$

u našem slučaju :

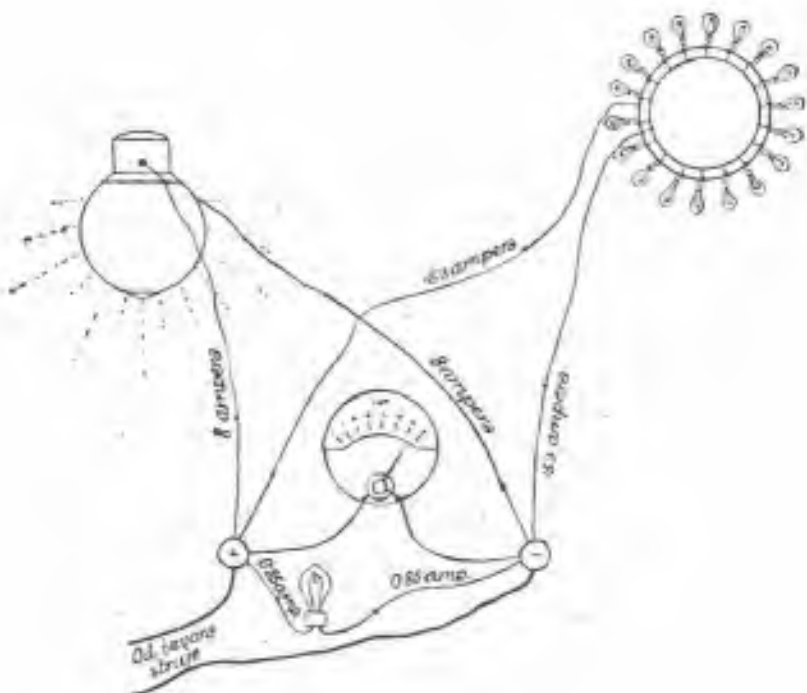
$$\text{broj volta} = 0.5 \text{ ampera} \times 100 \text{ ohma} = 50 \text{ volta t. j.}$$

izmedju mjesta *a* i *b* u našoj provodnici postoji još napetost od 50 volta.

Ako se ovako uklopi u tečaj koje struje ampermetar, veli elektrotehničar : „ampermetar je u sporednom priključku” (liegt im Nebenschluss, est en derivation). Da si pištedimo gornji račun, možemo skalu ampermetra odmah razdijeliti po voltima : mjesto da stoji na pr. na instrumentu napisano 0.5 ampera, možemo na tom mjestu napisati odmah

$100 \times 0.5 = 50$ volta. Takov se instrumenat onda i zove „voltmetar“. Prema tomu „voltmetar“ i nije drugo nego „ampermetar“ s veoma velikim otporom (obično 100 ohma), kako bi on što manje struje iz glavnoga kruga trošio.

Uključeni otpori ili balast-otpори. Još ćemo na tom mjestu jednu praktičnu primjenu ovih zakona istaknuti. Ako baš na stezaljke kojega izvora struje u sporednom



Sl. 36. Razdvajanje na više grana.

priključku uklopimo voltmetar, kazuje nam on „napetost na stezaljkama“ t. j. baš na krajevima izvanjega kruga struje, koja se unašoj slici (sl. 36.) razdvaja na 3 strane: u 1 žarnicu, u 1 lučnicu i u cio krug žarnica. Voltmetar pokazuje napetost od 65 volta. Izjednačujući se ova napetost kroz 1 žarnicu izvodi poradi velika otpora u žarnici samo struju od 0.85 ampera; no ista napetost od 65 volta, ako joj je prilike, izjednačiti se kroz krug žarnica, čini to s jakošću od 15.3 ampera,

a na putu kroz lučnicu jakošću od 8 ampera ; sve to poradi toga, što u svakoj grani nalazi drukčiji otpor. Kad bi napetosti od 65 volta dao, da se izjednači kroz moje tijelo, činila bi ona to jakošću struje, koja bi bila tek nekoliko tisućina jednoga ampera, nekoliko „mili ampera“ (1 miliamper = $1/1000$ ampera = 0.001 ampera), jer je otpor čovjekova tijela veoma velik.

Kada dakle trebamo, da nam u izvanjem krugu kojega izvora struje teče struja određene jakosti, kakva nam je baš najzgodnija u tom slučaju, postići ćemo to jednostavno



Sl. 37. Uklopljeni otpor.

time, da u tečaj struje pored onih aparata, koje baš rabimo, uklopimo još žica provodnica, kojima se dužina, a po tom i otpor može po volji mijenjati. Ove uklopljene žice zovu se „uklopljeni otpori“ ili „balast-otpори“, a grade se obično u obliku slike 37. Cio red spirala od novoga srebra ili konstantana (slitina od 58 dijelova bakra, 41 nikalja i 1 mangana) pričvršćen je na okviru. S pomoću poluge možemo sada u tečaj struje uklopiti ili nijednu spiralu ili njih više ili napokon

sve, a tim se otpor u tečaju struje sve više uvećava, a jakost struje umanjuje prema potrebi. Gdjekada daju takovu balast-otporu takodjer ime „regulator“.

Kratki spoj struje. U električnim je namještajima (instalacijama) veoma opasan „kratki spoj“ struje (Kurzschluss) i tih se spojeva treba osobito čuvati, jer mogu biti uzrok požaru. Ovdje je mjesto, da razložimo, što je kratki spoj struje.

Iz Ohmova zakona izlazi, da će jakost struje veoma narasti, ako se uz istu napetost na polovima otpor struje jako umanjuje. Uzmimo, da u kuću dolazi iz električne centrale struja napetosti od 110 volta. Od tih stezaljaka teče par dobro izoliranih žica provodnica usporedno, ali u maloj daljini jedna od

druge po čitavoj kući, gdje se na izabranim mjestima uklapaju aparati, u kojima struja radi (na pr. svjetiljke). U svim su tim aparatima otpori već tako odmjereni, da struja, kada udje u nje, ne dosegne prevelike jakosti, koja bi ih izvedenom vrućinom u žicama mogla oštetiti ili čak razoriti. No ako struja negdje u spomenutim usporednim glavnim provodnicama nadje put, da predje s jedne provodnice na drugu (na pr. tim, da jedna žica pokrije drugu ili da izolacija negdje popusti), bit će na tom kratkom putu otpor struji tako malen, da **j a k o s t** struje ondje naraste na velik broj ampera; žice se toliko ugriju, da izolacija plane, pak mogu i bliski upaljivi predmeti uhvatiti vatru. Elektrotehnik veli: dogodio se je „**k r a t a k s p o j**“ struje. Ako je na pr. napetost bila 110 volta, a otpor na mjestu kratkoga spoja samo $\frac{2}{3}$ ohma, imat će struja na tom mjestu jakost od 165 ampera, a ta može poroditi veliko zlo. Protiv kratkih se spojeva štiti u prvom redu veoma pomnivo namještanje izvrsno izoliranih žica, a u drugom redu, tako zvana „**o s i g u r a n j a**“, koja prejaku struju prekine prije, nego što može počinuti štetu.

* * *

Da saberemo tekovine ovoga članka! Kako cijevi vodo-voda tečenju vode, tako i žice provodnice zadaju prolaznju elektrona neki otpor, koji je to veći, što je žica duža i što je tanja, ali je zavisan i od tvari žice. Mjerimo te otpore u ohmima. **J a k o s t** struje, koja teče u sustavu žica provodnica zavisna je 1. od razlike napetosti na krajevima i 2. od čitavoga otpora u sustavu, a spojena je s tim veličinama po Ohmovu zakonu:

$$\text{Jakost struje} = \frac{\text{razlika napetosti}}{\text{čitavi otpor.}}$$

Napetost mjerimo voltima, jakost struje amperima a otpore ohmima. Znamo li dvije veličine, izračunamo lako treću.

Razlaganja su ovoga članka možda čitatelju bila nešto suviše stručna i dugočasna. Ne mogosmo im se ugnuti, ako nam je cilj, da razumije tekovine elektrotehnike, o kojima će dalje biti govor.

V.

Moderni izvori jednake električne struje. Dinamo za jednaku struju.

1. Dinamo za jednaku struju. U trećem članku opisani obret Faradayev, da se gibanjem žica provodnicâ u magnetičkom polju kojega magneta u tim žicama izvode trenutačne električne struje, rodio je modernu elektrotehniku. Dado smo tomu obretu ime „magnetoindukci ja“. Opisan je na str. 103.—106.

Iz samoga rasporeda pokusa izbija, da treba pri njem izvršivati neko gibanje, ako hoćemo da dobijemo električne struje. A da se to gibanje izvede, za to treba izvršivati radnju ili točnije „mehaničnu radnju“. Možemo dakle reći: mehaničnu radnju pretvaramo pri Faradayevu pokusu u električnu struju.

I baš je u tom golema i osnovna važnost Faradayeva obreta: on nam je dao u ruke zgodno sredstvo, da mehaničnu radnju pretvaramo u električnu struju. I starije su galvanske baterije davale električne struje — ali na osnovi pretvaranja kemijske radnje u elektricitetu, no ta je kemijska energija bila i preskupa i previše nezgodna, da bi iz fizičnih radionica naučnjaka mogla preći u tehničku praksu.

Malo vremena nakon obreta Faradayeva pokušali su različni fizici, da sagrade strojeve, kako bi pokazali induciranu struju u veliko. Spominjemo samo imena Pixij, Clarke, Page. No kako su te struje bile izmjenične, trebalo je najprije pretvoriti ih u jednake s pomoću posebnih sprava „komutatorâ“, koji su bili velika neprilika poradi nesigurna djelovanja i prevelika trošenja mehanične radnje uložene u stroj, tako te dobivena struja nije bila u dobru omjeru spram utrošene radnje, a bez toga nema velike primjene u industriji.

Nastojanje se dakle skupilo oko toga, bi li se dao naći praktičan način za izvodjenje jednake struje (a ne

izmjenične) s pomoću magnetoindukcije. Nakon nekih drugih pokusa riješio je to pitanje Gramme tek g. 1879. Pitanje je ovako stajalo: može li se s pomoću gibanja žica provodnica u magnetskom polju dobiti elektromotorna sila svagda jednaka? Takova naime elektromotorna sila daje i jednaku struju. Svaka promjena u elektromotornoj sili izvodi i promjenu u jakosti struje t. j. struja više nije jednaka, nego promjenljiva, a Grammeu se radilo o tom, da dobije baš jednaku struju, a ne struju koja najprije teče jednim smjerom, onda oslabi do ničice, pak za tim teče suprotnim smjerom i oslabivši opet do ničice, prima ponovno prvi svoj smjer.

Kako da dodjemo do onakove stalne elektromotorne sile? Treba da iz bližega uočimo Faradayev obret!

Medju polovima potkovasta magneta postoji jako magnetsko polje; magnetske su silnice veoma guste, teku u usporednim pravcima od sjevernoga pola kroz uzduh k južnomu; u jednu riječ: magnetsko je polje ovdje jednoliko ili homogeno (sl. 38.); tek na krajevima polja, u većoj daljini od polova, postaju silnice krivulje. Faradayev obret nam kaže: ako se u tom magnetskom polju giba žica provodnica tako, da siječe silnice, javlja se u provodnici elektromotorna sila. Kolika je ona u voltima i o čem joj zavisi veličina?

Pokus pokazuje, da u provodnici elektromotorna sila postoji samo tako dugo, dok se provodnica u polju giba i silnice siječe; čim provodnica stane, nema u njoj ni elektromotorne sile, koja bi elektrone tjerala na gibanje. Izgleda tako, kao da su te nevidljive silnice zbilja tvarni konci, koji zadaju gibanju provodnice neki otpor, pak ih ona mora da raskida. Pri tom se izvršuje neka mehanična radnja za svladanje toga otpora i ta se mehanička radnja s mjesta prometnula u elektricitetu, koja teče u zatvorenu krugu provodnice. (Sl. 38.)

No iz toga s mjesta izlazi, da je otpor silnica to veći, što su gušće, što ih je više na svakom četvornom centimetru.

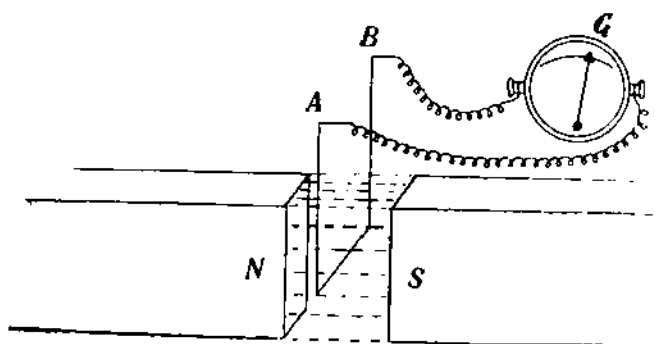
Gibamo li sada našu provodnicu od jednoga kraja polja, gdje su silnice veoma rijetke, jednakom brzinom kroz najgušći dio polja do drugoga kraja polja, pokazuje nam galvanometar

u najjaču struju ondje, gdje su silnice najgušće; struja je prema krajevima polja sve slabija.

U provodnici izvedena elektromotorna sila razmjerna je dakle broju silnica presječenih u svakom času: što je veći taj broj, to više volta napetosti dakle to veća elektromotorna sila.

Iz toga pak dalje izlazi: naša će provodnica u svakom času to više silnica presjeći, što se brže giba kroz polje i što bude duža.

Želimo li dakle na osnovi Faradayeva obreta u praksi postići što većih električnih učinaka, mi ćemo morati u magnetskom polju što gušćih silnica gibati veoma du-



Sl. 38. Indukcija struje u vodiću, koji se giba u magn. polju.

gačke žice provodnice i to što većom brzinom, kako bismo što više silnica presijecali u svakom času.

Tim smo našli put, kojim nam treba ići. No eto jada iznenada! Magnetička polja naših i najjačih magneta vrlo su ograničena; ne sežu daleko, a jaka su uopće samo među polovima; vodić, koji se brzo giba kroz polje za čas je iz njega izišao, pak nema više u njem nikakve elektromotorne sile. Valja dakle s vodićem natrag u suprotnom smjeru krenuti. No u tom se slučaju u njemu već javila elektromotorna sila suprotnoga smjera, koja elektrone tjera u suprotnom smjeru. A to baš treba zapriječiti.

U drugu ruku u malenu polju ne mogu sinjestiti veoma dugačkih provodnica, ako ne da ih namotani na valjak i tim stisnem na što manji prostor.

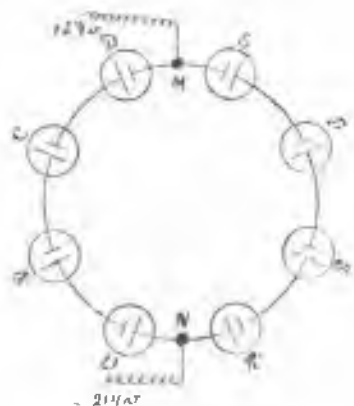
Iz svega toga razbira čitatelj već konture puta, kojim je Gramme morao poći, da riješi praktično ovo pitanje. Gibanje provodnice amo i tamo mora se prometnuti u zgodnu vrtnju provodnice u magnetskom polju, a provodnica sama bit će namotana u spiralu na valjak ili na kolot!

2. Grammeov kolot. Kako iz temeljnih zakona magneto-indukcije izlazi, gibanje žice provodnice u magnetskom polju tamo i amo daje izmjenične struje u provodnici. Na prvi se mah čini gotovo nevjerovatno, da se ipak žice među polovima magneta dadu i tako razmjestiti, da se kod vrtnje žica u njima indukcijom budi ne izmjenična, nego jednaka struja t. j. struja, koja neprekidno teče i ima svagda isti smjer!

Najprije je taj osobito zgodni raspored žica provodnica našao Talijan Pacinotti, no općeno je postao poznat tek po Gramme-u, pak se po njem danas i zove „Grammeov kolot“ (1870.). On je osnova svih modernih dinamo-strojeva za jednake jake struje, pak je red, da i našim čitateljima pokažemo, kako je u njem jednostavno i umno riješena zadaća: inducirane izmjenične struje pretvoriti u jednaku struju. Gotovo Kolumbovo jaje!

Sudimo, da ne ćemo zlorabiti strpljivost čitatelja, ako pokušamo, da razumijevanje toga bitnoga osnova moderne elektrotehnike njemu omogućimo.

Nadovezujemo na svakomu poznat slučaj. U slici 39. vidimo 8 običnih galvanskih elemenata razmještenih u krugu; u lijevoj polovini kruga su 4 elementa A, B, C i D, a u desnoj E, F, G i H. Svaki element ima svoju stalnu razliku napetosti na polovima; neka bude = 1.2 volta (rekli bismo takodjer svaki element ima „elektromotornu silu“ = 1.2 volta). To će reći: pozitivni pol prvoga elementa A (označen k r a ć o m



Sl. 39. 8 galv. članaka paralelno spojenih.

crticom) ima za 1.2 volta višu napetost električnu od negativnoga njegovoga pola (označenoga dužom crticom). Ako sada žicom sastavimo pozitivni pol prvoga elementa *A* (kraću crticu) s negativnim polom drugoga elementa *B*, preuzet će i on jednako električno stanje. No pozitivni pol drugoga elementa ima opet za 1.2 volta višu napetost od svoga negativnoga pola, dakle za 2.4 volta višu od negativnoga pola prvoga elementa *A*. Sastavivši još elemente *B* i *C*, pak *C* i *D* isto tako žicama, razbirmo, da će pozitivni pol 4. elementa *D* imati napetost za 4.8 volta višu, nego što ju ima negativni pol 1. elementa *A*. Ako na pr. uzmemo, da negativni pol prvoga elementa *A* ima napetost -2.4 volta, ima pozitivni pol 4. elementa napetost $+2.4$ volta, jer je $+2.4$ volta $- (-2.4$ volta) $= +4.8$ volta. — Četiri elementa na desnoj polovini kruga *E*, *F*, *G*, *H* baš su suprotnim načinom spojena: pozitivni su polovi njihovi (kraće crtice) na lijevoj, a negativni na desnoj strani (duže crtice). I ova 4 elementa daju na pozitivnom polu četvrtoga *E* napetost za 4.8 volta višu nego na negativnom polu prvoga *H*. Dok su ove dvije serije po 4 elementa otvorene, u njima ne teče nikakva struja, tek je na pozitivnom kraju elementa *D* u lijevoj seriji napetost $+2.4$ volta, a kod *A* na negativnom polu napetost -2.4 volta, a isto tako na pozitivnom kraju elementa *E* napetost $+2.4$ volta, dok je na negativnom polu elementa *H* opet napetost -2.4 volta.

Ako mi sada pozitivne polove susjednih elemenata *D* i *E* spojimo žicama, koje se sastaju u *M*, a negativne polove susjednih elemenata *A* i *H* žicama, koje se stiču u *N*, ne će ni sada u zatvorenu krugu žica provodnica teći nikakva električna struja, jer si suprotne i jednake elektromotorne sile kod *M* i *N* drže ravnotežu, pak ne mogu elektrone u žicama potjerati ni na koju stranu; baš je tako, kao da u tom zatvorenom krugu nema nikakve električne napetosti, kao da je krug od žica u svom običnom prirodnom stanju: od svih 8 elemenata ovako spojenih nema baš nikakve koristi!

Ali ipak nam može od njih doći koristi. Mi znamo, da u žici izmedju *D* i *E* kod *M* postoji za 4.8 volta veća napetost električna nego u žici izmedju elemenata *A* i *H* kod *N*, i obje

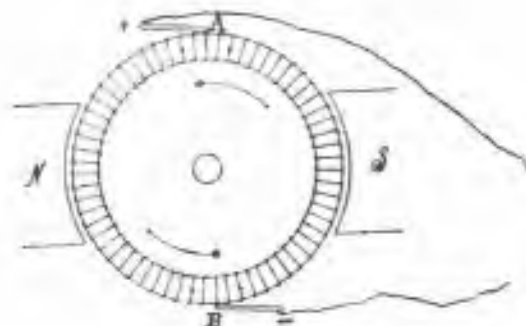
serije elemenata nastoje tu razliku napetosti trajno uzdržati, one se u tom podupiru. Ako ja sada u točkama *M* i *N* pričvrstim žice provodnice, pak ih na pr spojim s električnom lampom, stvorio sam novi zatvoreni krug provodnicâ, u kojem se sada ona razlika napetosti od 4.8 volta može izjednačivati u obliku električne struje, koja će sada teći od točke *M* kroz lampu k točki *N*; pa kako elektromotorne sile obiju serija naših elemenata potrošenu razliku napetosti s mjesta i ne prekidno naknadjuju, jasno je, da će našim krugom *M*—lampa—*N* teći jednaka električna struja elektromotorne sile od 4.8 volta. Ako ta struja u žici provodnici i u lampi nadje sveukupni otpor od 9.6 ohma, bit će jakost struje po Ohmovu zakonu :

$$\text{jakost struje} = \frac{4.8 \text{ volta}}{9.6 \text{ ohma}} = 0.5 \text{ ampera.}$$

Pred nama je zapravo veoma čudan slučaj : 8 elemenata spojismo* u zatvoreni krug provodnicâ i ne dobismo nikakve struje, kao da u krugu ni nema nikakvih elektromotornih sila, a ipak ih je 8, svaka po 1.2 volta ! Tek kada na određenim mjestima toga kruga u *M* i *N* pripojismo drugi zatvoreni krug provodnica, dobismo jednaku električnu struju, koja ima napetost (ili elektromotornu silu) od 4.8 volta !

Baš to isto postigao je i Gramme svojim zgodnim namještajem zatvorena kruga provodnicâ u magnetičkom polju medju polovima jaka magneta. On je naime medju polove magneta *N* i *S* (sl. 40.) namjestio najprije kolut od meka željeza, koji se je dao okretati oko osovine namještene u njegovu središtu. Tim je već nešto postigao. Željezo upija magnetičke silnice, koje teku kroz uzduh od *N* k *S* i time postaju gušće t. j. polje postaje jače, kako evo pokazuje slika 41. Taj je kolut Gramme obavio žicom provodnicom u velikom broju spirala i oba je kraja žice sastavio (slotao). Tim je dobio veoma dugačku provodnicu u svom magnetičkom polju i ujedno zatvoreni krug. Dok kolut s omotanom provodnicom miruje, nema nikakvih elektromotornih sila. No čim se stane kolut jednoliko vrtjeti oko svoje osovine, bude se u provodnici oмотaој oko njega elektromotorne sile na način, koji posve odgovara

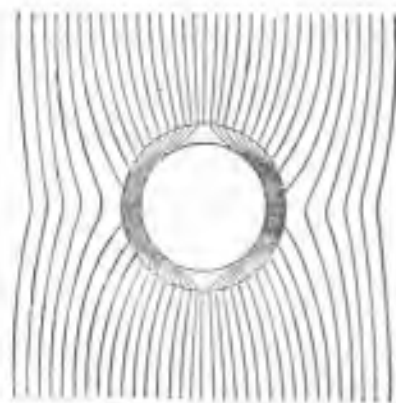
našem predjašnjem slučaju sa serijom od 8 elemenata. (sl. 39.) Elektromotorne sile u lijevoj strani koluta odgovaraju posve onima četiriju lijevih elemenata *A—D* i daju kod *A* (sl. 40.) neku



Sl. 40. Grammeov kolut.

+ 25 volta a kod *B* — 25 volta. Ove suprotne i jednake elektromotorne sile iz lijeve i desne polovine koluta i tu si drže ravnotežu, pa u provodnici koluta, makar da se on vrti u magn. polju i makar da provodnica čini zatvoren krug, ne teče

n i k a k v a struja, ali ipak između točaka *A* i *B* postoji razlika u napetosti od + 25 volta — (— 25 volta) = 50 volta. Da tu veliku razliku napetosti, što ju daje kolut, kada se vrti, korisno upotrijebimo, pripojit ćemo u točkama *A* i *B* drugi zatvoreni krug provodnica i u njemu ćemo uklopiti aparate, kroz koje će se razlika napetosti od 50 volta moći izjednačivati u j e d n a k o j električnoj struji.



Sl. 41. Silnice u kolutu željeznom.

Dok je 1) jakost magnetskoga polja ista, dok je 2) brzina vrtnje jednaka, bit će u točkama *A* i *B* sveudilj jednaka elektromotorna sila od 50 volta, a u zatvorenu krugu provodnica, koji ide od *A* preko aparata do *B*, teći će j e d n a k a struja t. j.

struja neprekidna, struja uvijek istoga smjera, a ako otpor u tom krugu ostane jednak i struja jednake jakosti.

Zadaća: dobivati mehaničnim gibanjem provodnica u magnetskom polju jednaku struju riješena je ovim kolutom potpuno. Jasnije je to: 1. što jače magnetsko polje, t. j. što gušće silnice, to će veća biti inducirana elektromotorna sila u kolutu; 2. što duža namotana žica, to veća elektromotorna sila (ili napetost) u kolutu kod *A* i *B*; 3. što brža vrtnja koluta, opet to veća elektromotorna sila kod *A* i *B* u kolutu. Ove misli vodičice moraju sada tehničara voditi, da u praksi načini na toj osnovi strojeve, koji će davati što veće napetosti u voltima.

Kako su te misli pretvorene u čin, pokazat će retci što dolaze.

No prije da saberemo, što doznasmo o tom prezanamljivom kolutu!

Vrtnja koluta izvodi u čitavoj lijevoj polovini u zavojima provodnice elektromotorne sile jednakoga smjera, a u čitavoj desnoj polovini opet jednakoga smjera, samo su te elektromotorne sile obiju polovina suprotne. Na krajevima svake polovine *A* i *B* postoji dakle elektromotorna sila (razlika napetosti), kojoj je pozitivni pol na pr. kod *A*, a negativni kod *B* (+ 25 volta i — 25 volta). I desna polovina koluta daje kod *A* i *B* napetosti + 25 volta i — 25 volta, pak se pozitivni polovi obiju polovina stiču kod *A*, a negativni kod *B*, tek su elektromotorne sile obiju polovina suprotnoga smjera.

Čitava elektromotorna sila, koja postaje na lijevoj i desnoj strani koluta ostaje, usprkos vrtnji, stalna, makar da se elektromotorna sila svakoga pojedinoga zavoja mijenja tečajem vrtnje. Te se pojedine promjenljive elektromotorne sile zbrajaju tako, da daju ipak stalnu sumu, jer za koliko se u jednim zavojima slabe za toliko se u drugim jačaju. Naš se kolut dakle može uzeti za dva izvora elektromotorne sile, koji su kod *A* i *B* sastavljeni jednakim polovima. Dok se kolut ovako vrti u magnetskom polju, te se elektromotorne sile izjednačuju, jer su suprotne i jednake: u kolutu nema struje, kolut „leti prazan“ kaže elektrotehničar. Za njegovu vrtnju

ne treba više mehanične radnje, nego što treba, da se svlada otpor trenja.

No stvar se bitno mijenja, ako polove *A* i *B* spojimo s drugim izvanjim zatvorenim krugom provodnicâ i aparata. Sada rađo obje polovine koluta i svaka šalje u izvanji krug polovinu čitave struje uz napetost na polovima *A* i *B*, koju trajno i konstantno izvode obje polovine koluta. No sada treba i mnogo veća mehanična radnja, da se kolut uzdrži u istoj svojoj brzini vrtnje!

3. Siemensov dinamo električni princip. Iz predjašnjega opisa razbira čitatelj i sam, da je izum Grammeova koluta prvi osnovni izum, koji je elektrotehniku u posljednja 3 deset-godišta devetnaestoga vijeka stvorio i gotovo u tren oka digao do velike moći. No on sam toga ne bi bio učinio. Morao je k tomu doći još jedan izum, što ga je 1867. učinio Nijemac Werner Siemens. Stroj, koji će nam s pomoću indukcije davati jake električne struje, mora očito, da ima dva bitna dijela: 1. Jak magnet u obliku potkove, koji medju bliskim svojim polovima stvara što jače magnetično polje i 2. Grammeov kolut, koji se u tom polju može vrtjeti što većom brzinom. No ište se jak magnet! Naši umjetni magneti od čelika, makar se i složili u „magnetički snop“,¹ daju razmjerno slaba magnetička polja, ne pristaju dakle za jake struje, što ih treba industrija.

Mnogo jača polja imaju elektromagneti, j. meko željezo, omotano žicom, kojom neprekidno teče jednaka električna struja. I zaista su gradili s početka strojeve s takvim elektromagnetima.² No sada je na mjestu ovakvo umovanje: da bude magnetičko polje elektromagneta jako, trebam jaku jednaku struju na pr. iz baterije elemenata. No ako već imam jaku jednaku struju iz baterije, je li razborito i ekonomično graditi drugi stroj, koji će davati opet jaku jednaku struju? I drugo pitanje niče: ne bi li bilo moguće stvar udesiti tako, da onu istu jednaku struju, što ju šalje Grammeov

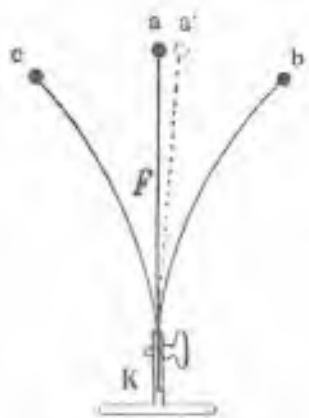
¹ Kučera, Crte o magn. i elektr. Zagreb. 1891. Izdala „Matica Hrvatska“ str. 32—34.

² Isporedi za starije strojeve: Kučera, Crte o magn. i elektr. Str 199.—212.

kolut u izvanji krug aparata povedemo i oko elektromagneta, pak da nam ona sama naš elektromagnet znatno pojačava. To su pitanje sebi u isto vrijeme od prilike postavili **Werner von Siemens** i Englez **Wheatstone**, pak su ga odmah upravo sjajno riješili i tim je tek zapravo stvorena moderna elektrotehnika. Evo toga preznaamenitoga riješenja!

Osobito je svojstvo mekoga željeza — a iz takova se željeza grade elektromagneti — da se s mekim željezom, koje je samo je d a n p u t bilo magnetično, dogodi neka čudna u n u t r a š n j a promjena. Kad naime meko željezo izadje iz magnetičkoga polja, trebalo bi da izgubi posve svoj magnetizam. Toga

medjutim kod njega baš poradi one čudne unutrašnje promjene nikada nema: ono ostaje t r a j n o magnetično, ali veoma s l a b o; taj slabi zaostali magnetizam u njem zovu učenim imenom „r e m a n e n t n i magnetizam“ (ostatak magnetizma), a onoj čudnoj promjeni u unutrašnjosti željeza, koja je uzrok tomu ostajanju nekoga magnetizma u željezu, daju još učenije ime „h i s t e r e z a“ (hysteresis). Ta se unutrašnja pretvorba željeza može lijepo isporučiti s trajnim savijanjem e l a s t i č n o g a pera. Neka bude



Sl. 42. Razjašnjenje histereze.

pero od čelika *F* osnovno učvršćeno u stezaljki *K* (sl. 42). Na gornjem ga kraju ponovno savijamo na lijevo i na desno, ali samo malo, da ne bismo prekoračili granicu elasticitete. Radnja ili energija, što ju naši mišići ulažu u savijanje pera, sabire se u peru kao „e l a s t i č n a s i l a“ pera i čim pero ispustimo, ta ga sila povratu u predjašnje stanje. Pero se pri tom ne će ni ugrijati. No savijmo sada pero preko granice elasticitete njezine na desno do *b*, pak ćemo opaziti, da se ne će posve povratiti u predjašnji položaj *a*, nego samo do *a'*. Htijući ga sada saviti do *b'*, moramo najprije uništiti svojom radnjom trajni o s t a t a k predjašnjega savijanja od *a'* do *a*. I to se sada ponavlja kod svakoga novoga savijanja tamo i amo:

svaki se put nešto od uložene radnje troši na zaostatke predjašnjih savijanja i ta se utrošena radnja javlja kao toplina: pero se ugrije! Ta toplina zna postati i dosta velika, ako unutrašnje trenje čestica uvećamo, na pr. kada hoćemo da žicu prekinemo bez kliješta, savijajući ju naglo tamo i amo.

Nešto je posve sličnoga nesretna „histereza“ kod željeza. Ako ga samo jedanput magnetiziramo, ostaje u njem trajna magnetska promjena. Ako ga sada izlažemo čestim i brzim promjenama njegovoga magnetskoga stanja, javljaju se i u njem trajne unutrašnje promjene. Svladavajući te promjene, gubimo jedan dio uložene radnje u obliku topline, koja se i te kako neugodno javlja kod modernih električnih strojeva.

I naš spomenuti „ostatak magnetizma“, tek je jedan pojav te „histereze“, koja električarima inače zadaje dosta brige. No u našem im je slučaju taj ostatak magnetizma u željezu veoma dobro došao!

Komad željeza pa i najčišćega, koji je samo jedanput u svom životu bio magnetski, sačuva u sebi trunak toga magnetizma, on ostaje trajno slabašan magnet; medju njegovim polovima dakle postoji za uvijek veoma slabašno magnetsko polje. I u je sada upelo umovanje Siemens a i Wheatsstone a, da odgovore na pitanje: ne bi li se struja, dobivena iz Grammeova koluta, dala sama upotrijebiti, da jača elektromagnet? Može se upotrijebiti, odgovoriše oni! I u tom jestnom odgovoru leži zapravo rodjenje današnje elektrotehnike. Evo ovako.

U magnetsko slabašno polje elektromagneta, koje postoji medju njegovim polovima, namjestimo Grammeov kolut i zavrtimo ga. Magnetske silnice polja dostatne su, da u kolutu bude indukcijom slabašnu elektromotornu silu. Ma kako slabašna bila, ona će u izvanjem krugu provodnica, koje priklapamo kolutu kod *A* i *B* (sl. 40.), dati slabu struju. Umjesto da tu struju ravno vodimo u aparate, gdje ju trebamo, mi ju najprije odvedemo od mjesta *A* provodnicom oko elektromagneta, pak onda tek dalje u aparate. Ta će tlašašna struja magnetizam elektromagneta nešto pojačati, a tim i njegovo magnetsko polje. No ovo jače magnetsko polje budi opet u Grammeovu kolutu jaču elektromotornu silu, koja opet u izvanjem krugu daje

još jaču struju, a ova sa svoje strane u elektromagnetu budi još jači magnetizam itd. Samo nekoliko sekundi će proći, što se kolut u polju vrti i magnetizam će elektromagneta naglo rasti; nakon toga vremena naraste i elektromotorna sila u kolutu do neke određene veličine, kod koje stane; ta zavisi od pojedinosti u konstrukciji koluta i elektromagneta, od brzine, kojom se može kolut vrtjeti, od „magnetičke nasićenosti” željeza i dr.

U ovim je retcima opisan veliki izum **Siemensov** i **Wheatstoneov**, koji se u nauci zove „**Siemensov dinamo-električni princip**” ili „**princip vlastitoga uzbudjivanja**” (*Selbsterregung, machine s’amorce d’elle meme*).

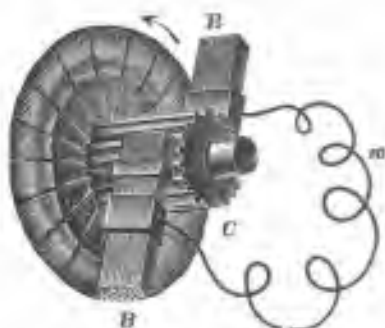
* * *

Izum „**Grammeova koluta**” (1869) i izum „**Siemensova principa vlastitoga uzbudjivanja**” (1867.) stvorili su današnju elektrotehniku. Idemo da vidimo, kako su ove izume u praksi izveli!

4. Dinamo za jednaku struju u današnjim oblicima. Izvedeći praktični svoj kolut, **Gramme** je željezan kolut (sl. 43.) omotao velikim brojem odijeljenih svitaka žice, kako ih vidimo na slici. Oba kraja omotane žice odveo je sa svakoga svitka na osovinu kola i tamo se završuju u bakrene štapiće. Štapići su jedan od drugoga izolirani i svaki od njih čini spoj između kraja žice na jednom svitku i početka žice na slijedećem. Imamo dakle na osovini toliko bakrenih štapića, koliko je svitaka žice, i preko tih štapića su svi svitci tako spojeni, da daju jedan neprekidni omot željeznoga koluta. Na onim dvjema bakrenim štapićima, koji odgovaraju mjestima *A* i *B* naše slike 40, stružu „kefe” *B* i *B*, koje s njih skidaju struju i vode u izvanji zatvoreni krug *w*, u koji se sada mogu po volji uklapati aparati na pr. žarnice i dr. Kako vidimo, jedan dio omota žice smješten je na osovini koluta, ali struja se ne skida, kao u slici 40., ravno s oboda koluta, nego s onoga njegovoga dijela, koji je na osovini koluta *C* razmješten. Taj dio zovu „**sabirač struje**” ili „**kollektor**”. U praksi namiještaju kefe na ona mjesta sa-

birača, gdje one najmanje bljeskaju t. j. gdje su iskre između sabirača i kefica najmanje. Ta su mjesta spram točaka *A* i *B* u našoj slici 40. nešto malo po strani s razloga, kojih se ovdje ne tičemo. Ono bljeskanje, koje se ponavlja kod svakoga prijelaza štapića ispod kefice, veoma razara i sabirač i kefice, a troši i dio upotrijebljene radnje, pak ne da, da se potpuno iscrpe snaga stroja. Na osnovi veoma duhovitih istraživanja današnji su strojevi tako dotjerani, da je bljeskanje kefica gotovo uništeno.

Prijedjimo sada na izvodjenje Siemensova principa! Na slici 44. vidimo najprije elektromagnet *M*; polovi su mu izdubljeni sa strane, da među njima nadje mjesta Grammeov kolut *R* s keficama *a* i *b*. S kefice *a* vodi provodnica najprije



Sl. 43. Grammeov kolut.

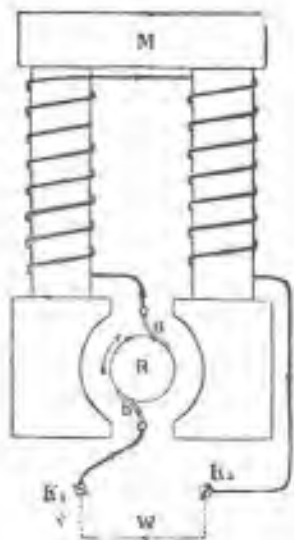
oko elektromagneta pak u stezaljku K_2 odavde tek dalje u izvanji krug struje *W*, pak preko stezaljke K_1 do druge kefice *b* na kolutu. Razbiramo dakle: kolut *R*, elektromagnet *M* i izvanji krug struje čine jedan jedini nerazdvojeni zatvoreni krug struje, u koji su spomenuti dijelovi uklopljeni jedaniza drugoga. Svaka polovina Grammeova koluta

daje svoju polovinu struje, koja teče u izvanji krug, tako da u izvanjem krugu teče struja dva puta tako jaka kao u kolutu. Zavrtimo sada na tako udešenu stroju kolut *R*! Poradi ostatka magnetizma elektromagnet *M* ima među svojim polovima veoma slabašno magnetsko polje. Vrtanjem se koluta u tom polju budi u njemu slabašna elektromotorna sila, koja iz kefice *a* šalje slabašnu struju najprije oko elektromagneta *M*, onda preko stezaljke K_2 na pr. u elektr. lampu kod *W*, a odavde preko K_1 natrag u keficu *b*. Slabašna ova struja pojača elektromagnet *M*, ovaj dobiva jače magnetsko polje među svojim polovima, ovo jače polje izvodi u kolutu jaču elektromotornu silu, ova šalje sada u izvanji krug jaču struju i nakon par sekundi elektromagnet je došao do velike jakosti a struj ima ve-

liku elektromotornu silu i daje jaku struju. Kako vidimo, ovdje teče čitava struja stroja i oko elektromagneta M ; njegova žica treba da je debela i kratka, kako bi on samo malen dio elektromotorne sile utrošio, a najveći dio njezin da ostane za ostali dio W izvanjega kruga.

I sada čitatelj ima pred sobom potpuno jasnu, nadamo se, sliku onoga osnovnoga stroja moderne elektrotehnike, kojemu dajemo ime „dinamo“ ili „dinamo stroj“. On sastoji od ovih bitnih dijelova: 1. elektromagnet M , koji daje jako magnetsko polje; zovemo ga poradi toga „poljski magnet“ (Feldmagnet, franc.: l'electro) 2. Grammeov kolut s kolektorom; zovu ga danas „induktor“ ili „kotva“ (Anker) ili napokon „armatura“. — Taj stroj s pomoću vrtnje koluta u magnetskom polju izvodi električnu struju i to baš jednaku struju. On dakle riješava savršeno zadaću: mehaničnu radnju ili energiju pretvarati direktno u jednaku električnu struju.

Nešto je drukčije Wheatstone riješio istu zadaću. On je od prilike ovako umovao. Da mi „poljski magnet“ postigne svoju najveću moguću jakost, za to ne treba izvanredno jakih struja. Ako dakle ja *sve* jaku struju, što ju daje kolut za izvanji krug, šaljem najprije okolo elektromagneta, trošim na magnetiziranje željeza u tom magnetu više struje nego što treba. Ne bi li se dala stvar tako udesiti, da od struje izvanjega kruga, što ju dobivam iz Grammeova koluta, odvojim samo jedan dio, pak taj dio pošaljem oko poljskoga magneta sa zadaćom, da on samo budi nužno magnetsko polje, a da ne služi i drugim svrhama. Što saznasmo o razdvajanju struja i o jakosti njihovoj u pojednim granama razdvojene struje (str. 130. i dalje), daje odmah



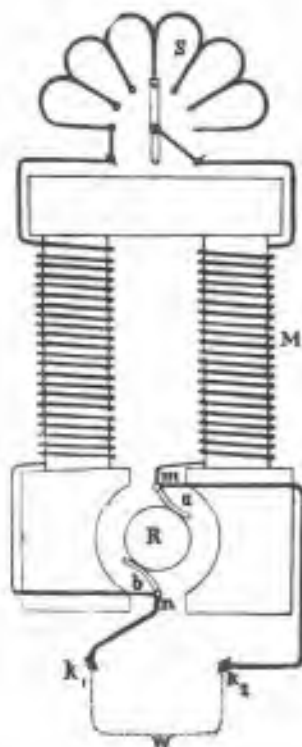
Sl. 44. Princip dinama s glavnim priključkom.

riješenje toga pitanja. Iz kefica se koluta a i b (sl. 45.) struja neposredno vodi k stezaljkama k_1 i k_2 , gdje će ulaziti u izvanji krug w , da ondje u lampama ili u drugim aparatima radi. No od te se struje odmah kod kefica (kod m i n) odvaja druga žica, koja jedan dio struje vodi oko elektromagneta M , da ga magnetizira. U tu se granu obično još uklopi poseban „otpor“ S , s kojim ću moći iavhati jakost te odvojene struje, koja

teče oko magneta; zovu ga „otpor za regulaciju“. S pomoću poluge mogu naime po volji više ili manje od njegove žice uklopiti u tečaj ove odvojene grane naše struje, pak time i mijenjati prema potrebi njezinu jakost. Kako za magnetiziranje elektromagneta ne treba veoma jake struje, jasno je, da ćemo odvojenu žicu uzeti tanku i dugačku, kako bi kroz nju tekla struja razmjerno male jakosti, dok bi najveći dio struje ostao za izvanji krug, gdje poglavito treba da radi. Kod Siemensova je omatanja moralo biti baš obrnuto: omot je sastojao od kratke i debele žice.

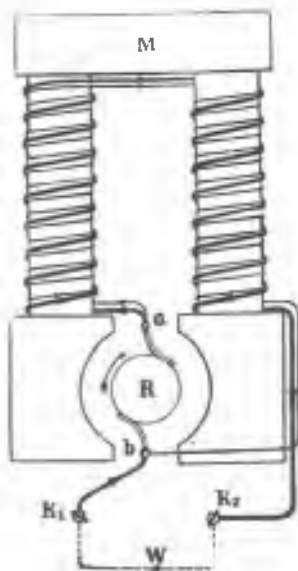
Kako bismo ove dvije vrste dinama odmah i u govoru razlikovali, dajemo prvomu načinu omatanja ime: „omatanje u seriji“ (Serienwickelung, excitation en serie), a drugomu „paralelno omatanje“ ili „odvojeno omatanje“ (Nebenschlusswickelung, excitation en dérivation)

a prema tomu dajemo i jednom i drugom stroju posebno ime: dinamo motan po Siemensu zove se „dinamo s glavnim priključkom“ (sl. 44.) (Hauptschlussmaschine, machine excitée en serie), a dinamo motan po Wheatstoneu zove se „dinamo sa sporednim priključkom“ ili „shunt-dinamo“ (sl. 45.) (Nebenschlussmaschine oder Shuntmaschine, machine a excitation en dérivation).



Sl. 45. Dinamo sa sporednim priključkom.

Spomenuo bih ovdje još i treći način omatanja poljskoga magneta. Možemo elektromagnet magnetizirati i glavnim strujom izvanjega kruga, što ju daje kolut, kao u prvom slučaju, i ujedno odvojeno granom njezinom, kao u drugom slučaju, tako da oko elektromagneta teknu dvije izolirane žice. Pokazuje nam to omatanje slika 46. Od kefice *a* ide žica izvanjega kruga (debelo izvučena) najprije oko elektromagneta *M* pak u stezaljku *K₂*, u aparate *w* i preko stezaljke *K₁* natrag u keficu *b* koluta *R*. No ujedno se od nje odmah kod kefice *a* odvaja druga grana, koja teče opet oko elektromagneta (tanko izvučena), ali ne ide u aparate, nego se ravno vraća kefici *b*, gdje se opet glavnom krugu priključuje. Ovako motani dinamo zove se „*dinamo s pomiješanim priključkom*“ ili po engleskom „*compound-dinamo*“ (Compoundmaschine, machine compound). Razbiramo dakle, kako elektrotehničari raspolažu različitim načinima, da grade diname za jednaku struju. Kada se koja vrsta u praksi upotrebljava i zašto, u to se ovdje ne možemo upuštati; to su već stručne stvari. Tek spominjemo, da prema zadaći, koju dinamo ima da izvrši, elektrotehnika upotrebljava sve tri vrste. No 90% svih dinama, koji se danas grade, pripada u drugu vrstu (shunt-dinamo) i glavna im je primjena kod mreža za električnu rasvjetu. Treća se vrsta upotrebljava u centralama električnih tramvaja.

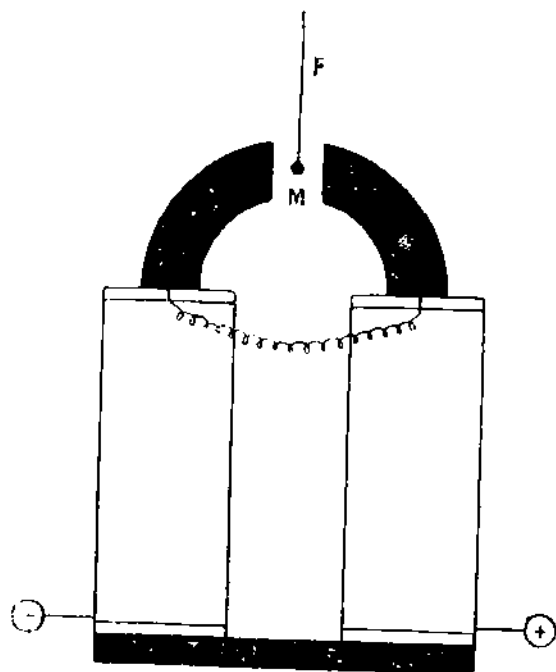


Sl. 46. Compound-dinamo.

5. Siemensovo vreteno. Ma kako nam se savršen činio Grammeov kolut za pretvaranje mehanične radnje (na pr. naših mišića) u jednaku struju, i on je u praksi pokazao manjaka: u dijelovima žice, koji su u unutrašnjosti koluta, ne budi se struja, oni su tek zališan otpor struji; a ima i drugih neprilika.

Jednu bih rado istaknuo. Izvedimo veoma zanimljiv pokus. Među polovima još neprobudjena elektromagneta visi na koncu *F*

bakrena kuglica M (slika 47). Zasučimo konac, pak ćemo vidjeti, kako se kuglica naglo vrti medju polovima. Probudimo sada elektromagnet s pomoću uvedene struje. Kuglica, koja se je čas prije brzo vrtjela, s t a n e kao začarana! Zašto? Kuglica se vrti sada u magnetskom polju i s i j e č e silnice. U unutrašnjosti se kuglice stvara neka elektromotorna sila, pa kako kuglica nije drugo nego veoma kratak zatvoreni krug struje s veoma ma-

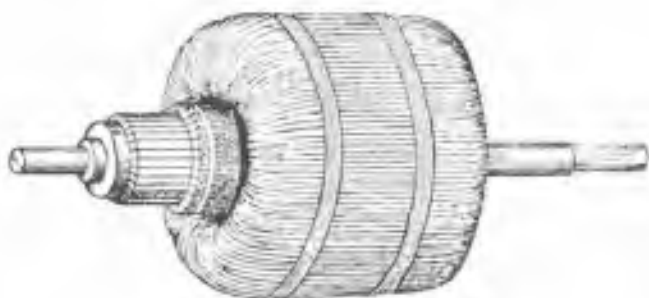


Sl. 47. Pokus za Foucaultove struje.

lenim otporom, postale su u kuglici utjecajem te elektromotorne sile veoma jake električne struje. One ugriju kuglicu, pretvaraju se u toplinu, a da postane toplina, treba da troše radnju ili energiju. Otkuda tu energiju uzimaju? Iz energije, što smo mi rukom dali kuglici, zaskavši joj konac. No ta je vrlo malena i za tren je potrošena, pa kuglica s mjesta stane. Daju ovim strujama, što se javljaju u

u n u t r a š n j o s t i svake kovine, koja se vrti u magnetskom polju ime „Foucaultove struje” (čitaj: Fukolove), po francuskom fizičaru, koji ih je otkrio. I naš željezni Grammeov kolut, kad se vrti u magnetskom polju, dobiva u svojoj unutrašnjosti te „Foucaultove struje”, no on ne će stati, jer mu mi neprekidno dajemo dosta nove energije, da ne stane. No te su Foucaultove struje vrlo neprilične poradi toga, što se ne prestano javljaju kod vrtnje koluta, pak poradi toga i nepre-

stano u kolutu dižu temperaturu, željezo se ugrije ! I izolacije se omotanih žica ugriju, pak se to i mirisom često osjeća. Pod svaku cijenu treba te vrlo neprilичne Foucaultove struje u k l o n i t i, jer kvare žice, ali troše i veliku množinu mehanične energije, koju kolutu dajemo. To se u praksi i postizava tim, da se željezni kolut ne načini od jednoga komada željeza, nego se složi od t a n k i h komada lima, odijeljenih među sobom papirom ili vrstom pokosti (laka), ili pak od lakirane žice. Tim se znatno nveća otpor onim unutrašnjim strujama, kratko spoje-nima, a tim se opet jako umanjuje jakost tih tako škodljivih etruja i na nje se troši tek veoma malen dio uvedene mehanične snergije. Uništiti ih posve nikako ne možemo : one postaju



Sl. 48. Siemensovo vreteno ili kotva u obliku hubnja.

svagda, kada se kotva vrti, pa i onda, kada se „p r a z n o“ vrti ; iznuzeti su samo strojevi s glavnim priključkom.

Ovako se u dijelove moraju svagda poradi tih nesretnih Foucaultovih struja rastaviti željezne mase, koje treba da se vrte u magnetičkom poljima, dok toga kod mirnih masa ne treba činiti, jer se Foucaultove struje javljaju samo kod g i b a n j a tih masa.

No ako se i m i n i m a željezna masa veoma brzo i često zasebice magnetizira i magnetizam u njoj uništi ili pretvara u suprotni t. j. ako kroz nju teku, kako električari kažu, „m a g n e t i č n e s t r u j e“, koje se naglo izmjenjuju u suprotne ili se bar naglo i često u svojoj jakosti mijenjaju, treba željezne mase rastaviti u komade !

Ova neprilika sa toliko škodljivim Foucaultovim strujama, pak neke tehničke neprilike, bijahu povod nastojanju, kotvu u

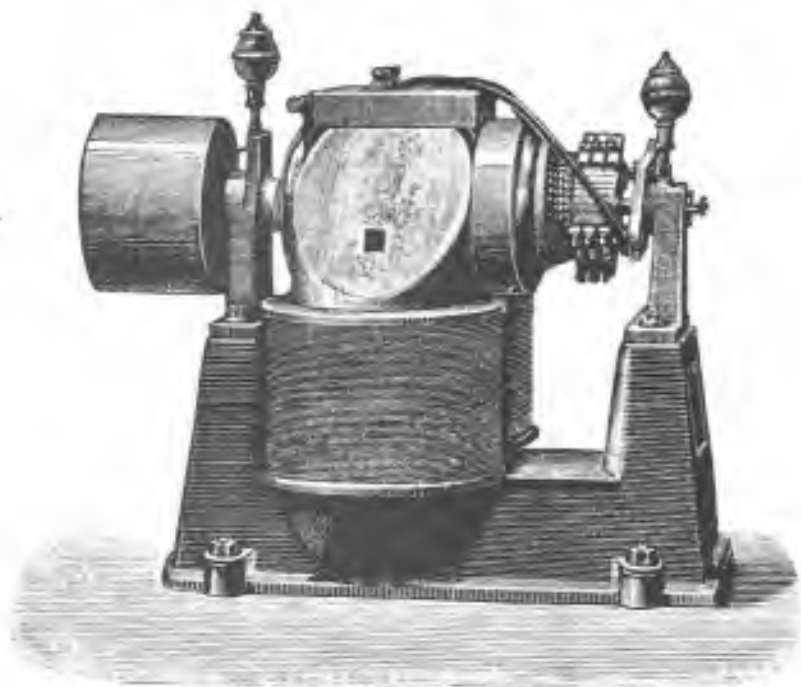
obliku koluta naknaditi kotvom drugoga oblika, koja je bolja. To je izumio Siemens načinivši kotvu u obliku „bubnja“, tako zvano „Siemensovo vreteno“ (sl. 48.). Njegova je kotva željezan valjak, koji se može vrtjeti oko svoje osovine. Žica je namotana u svitcima na obsegu njegovu, ali po dužini, tako da na jednoj strani pokriva čelo valjka, a na drugoj se strani svršava na osovini valjka u „sabirač“ ili „kolektor“ struje, gdje se krajevi žica pojedinih svitaka sastavljaju. Pojediniosti motanja amo ne idu. Ističemo, da se kod ove kotve gotovo čitava dužina žice korisno iscrpljuje za stvaranje struje, ali je namatanje teško. Danas se svi dinami grade s ovim kotvama, kojima dajemo ime „Siemensovo vreteno“ ili „kotva-bubanj“ (Trommelanker, bobine Siemens ili tambour). Prije 40 godina toliko slavljani Grammeov kolut danas je u elektrotehničkoj praksi tek povjesna uspomena! Tako brzo raste elektrotehnika.

6. Nekoliko tipova novijih dinama za jednaku struju.

Zelja, da se dobiju izvori jednake električne struje sa što većom naponu (elektromotornom silom) i po tom što jačih struja, dovela je prije svega do proučavanja uvjeta, od kojih je zavisna veličina elektromotorne sile (ili napetosti) takova dinama. Mi ih već poznajemo: 1. Elektromotorna je sila to veća, što je jače magnetsko polje; 2. ona je to veća, što je bliža kotva stroja polovima poljskoga magneta; 3. ona je to veća, što je veća brzina, kojom se vrti kotva medju polovima magneta, dakle što se više puta u 1 minuti kotva okrene oko svoje osovine. Ako se na pr. kotva medju polovima okrene u 1 minuti 100 puta, velimo, da je „broj okreta“ ili „broj toura“ (od franc. tour = okretaj) u toga stroja jednak 100; 4. ona je to veća, što je veći broj omota žice na kotvi stroja (na Grammeovu kolutu ili na Siemensovu bubnju). Kolut, koji ima 800 takvih omota, daje uz iste druge prilike dva puta toliku elektromotornu silu kao kotva sa 400 omota.

Iz toga razbirmo, da iz inače gotova stroja možemo veću ili manju elektromotornu silu dobiti, ako 1. mijenjamo broj omota žica na kotvi i 2. ako mijenjamo njezin broj okreta u minuti.

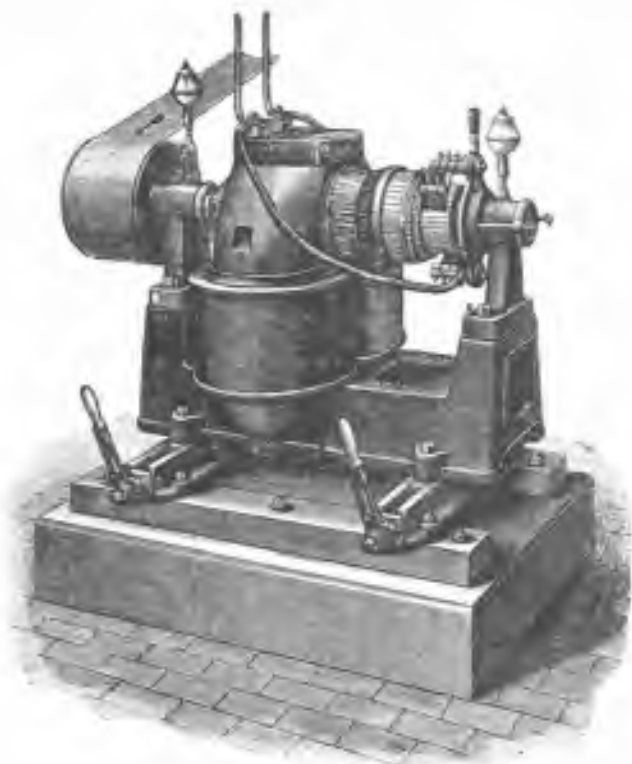
Ta elektromotorna sila, što ju dobivamo u stroju, izvršujući na kotvi neku mehaničku radnju (rukama, parom i dr.), pokreće elektrone u omotima žice na kotvi, u žicama oko poljskoga magneta i u izvanjem krugu struje, u koji su uklopljeni različni aparati na pr. električne lampe. Ona dakle sama sada izvršuje radnju, a pri tom sebe uništjuje: elektromotorna se sila u tečaju struje gubi. Želimo li, da nam struja



Sl. 49. Hoffmannov dinamo za jednaku struju. (Siemens et Halske.)

stroja neprekidno izvršuje svoje spomenute tri radnje, nema druge, nego u nj neprekidno uvoditi novu radnju, kako bi se gubitci elektromotorne sile neprekidno naknadjivali. No radnja, što ju struja ima da izvrši, dvojaka je: 1. unutrašnja t. j. pokretanje elektronā u žicama kotve i u omotu oko poljskoga magneta i 2. izvanja t. j. u izvanjem krugu struje, u koji su uklopljeni aparati. U našim predjašnjim slikama je to radnja, izvršena na putu od stezaljke K_1 do K_2 .

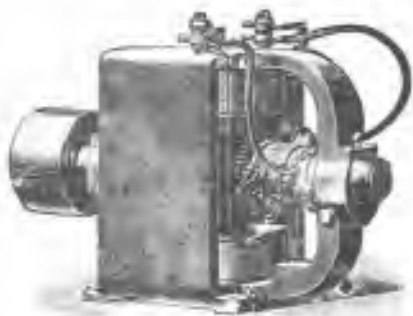
Kako se već za unutrašnju radnju utrošio jedan dio elektromotorne sile stroja, bit će na stezaljkama K_1 i K_2 napetost elektricitete (= elektromotorna sila) već nešto manja od prvobitne njegove elektromotorne sile, i toj umanjenoj elektromotornoj sili, koja jedina izvršuje za nas najvažniju radnju u aparatima i z v a n j e g a kruga, daju ime „napetost ste-



Sl. 50. Noviji Hoffmannov dinamo za jednaku struju. (Siemens et Halske)

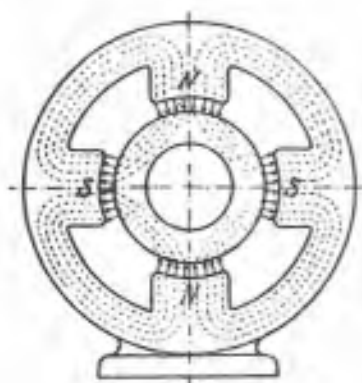
z a l j a k a'' (Klemmenspannung). Nas dakle u praksi ne zanima toliko cjelokupna elektromotorna sila stroja, koliko „napetost stezaljaka''. No ta „napetost stezaljaka'' po naravi odnošaja ne može da bude kod našega stroja svagda jednaka, jer se kod njega jakost struje, koja teče u unutrašnjem i izvanjem krugu stroja, očito m i j e n j a prema otporn struji n i z v a n j e m krugu. Što veći taj otpor, to s l a b i j a struja,

to slabije i magnetsko polje, a to manja inducirana elektromotorna sila. Dakle: napetost stezaljaka kod svakoga dinama bitno zavisi od toga, kolik je otpor struji u izvanjem krugu. Čim se taj promijeni, mijenja se smjesta i napetost stezaljaka. Različna omatanja strojeva žicama daju i različne napetosti, a tim su za gradnju različitih tipova dinama rečena nužna načela. Nekoliko novijih tipova (uzoraka) prikazujemo čitateljima u priloženim slikama. Svi su u svojim osnovnim dijelovima jednaki, a i u njihovu radu nema osobitih razlika. Kako bi se međjutim praktična vrijednost stroja kratko označila, običaj je o stroju kazati ove njegove karakteristike: 1. kolik je redoviti (normalni) broj okreta (tura) njegove kotve (u 1 minuti), 2. koliko smije da bude u tom slučaju najveća jakost struje u amperima (a da se pri tom žice ne ugriju preko 70°C !) i 3. kolika mu u tom slučaju pripada napetost stezaljaka u voltima. Tako se na pr. veli: taj stroj daje 80 ampera uz napetost stezaljaka od 110 volta, ako je broj okreta 1000. Stroj jeve gradi danas nekoliko tvornica svjetskoga glasa u velikih kulturnih naroda. Za naše prilike u prvom redu utječu njemačke tvornice, među njima osobito: Siemens i Halske, pak Ganz et Comp. i dr. Prva slika pokazuje (sl. 49.) Hoffmannov veći dinamo za jednaku struju iz tvornice Siemens et Halske. Kotva je Siemensovo vreteno (bubanj), polovi ga poljskoga magneta gotovo svega oklapaju. Desno vidimo na osovini vretena sabirač (kolektor) i na njem obje kefice, a gore stezaljke K_1 i K_2 , iz kojih se struja vodi u izvanji krug. Slika 50. pokazuje taki dinamo novije konstrukcije. On je još dotjeraniji u smjeru, da se magnetsko polje što bolje iscrpe: polovi poljskoga magneta još uže obuhvaćaju Siemensovo vreteno (bubanj); poljski je magnet



Sl. 51. Noviji dinamo sa zatvorenim magnetom. (Siemens i Schuckert.)

što manji, kako bi magnetski krug bio što manji. Na desnoj je strani osovine vretena sabirač sa keficama, a na lijevoj ploča, koja obuhvaća remen, koji dolazi od sile, koja će okretati bu-



Sl. 52. Slika silnica u dinamo s 4 pola.

sile, koja će vrtjeti kotvu. Manji primjerci ovoga stroja moraju činiti 1500 okretaja u minuti, a veći oko 800, da daju svoju redovitu napetost. Tjera ih obično parostroj ili plinski stroj. Zovu ovake strojeve: dinamo sa zatvorenim su-



Sl. 53. Dinamo s 4 pola. (Siemens i Schuckert.)

stavom poljskih magneta". Silnice se ovdje ne „rasipavaju“ kao u drugih konstrukcija. Kako u takovu slučaju teku silnice magnetskog polja pokazuje slika 52. za 4 pola. Silnice teku sada tako, da se smjer elektromotorne sile u svakom zavoju žice

banj u magnetskom polju (od parostroja ili dr.). Iz tvornice Siemens-Schuckert u Berlinu i Nürnbergu prikazujemo manji dinamo (model Gc) (slika 51.). Kotva je Siemensovo vreteno (bubanj); polovi su kratkoga poljskoga magneta gore i dolje namješteni u četverouglastu okviru i obuhvaćaju posve kotvu. Gore su na okviru obje stezaljke, desno na osovini kolektor s keficama, a lijevo opet ploča za remen „pogona“ t. j.

Do sada smo imali diname sa dva magnetska pola, među kojima se jedna kotva vrti. No možemo oko kotve namjestiti i više poljskih magneta na pr.

dva sa 4 pola, tri sa 6 polova i t. d.

na kotvi četiri puta mijenja kod svakoga okretaja, a ne dva puta kao prije. Posljedica je, da uz istu brzinu vrtnje i jednaku jakost polja postaje dva put tolika elektromotorna sila. Želim li pak imati istu elektromotornu silu, treba da se kotva za polovinu sporije vrti: dinamo s 4 pola treba da za istu elektromotornu silu čini samo polovinu, dinamo sa 6 polova samo trećinu, dinamo sa 8 polova samo četvrtinu okretaja u svakoj minuti. No sada trebamo i više parova kefica: toliko parova kefica, koliko je parova polova. Slika 53. pokazuje taki dinamo od Siemens a i Schuckerta sa 4 pola.

Za praksu je to veoma važna novotarija! Što veću radnju treba da izvršava dinamo, to veće treba da budu sve njegove protege (dimenzije). No ako se kotva velikoga premjera veoma brzo vrti, razvija se i znatna centrifugalna sila, koja ju nastoji rastrgati. Da ta centrifugalna sila ne postane prevelika, treba umanjiti brzinu vrtnje, a želiš li ipak dobiti jednaku elektromotornu silu, nema druge nego uzeti više parova magnetičkih polova. I tako se razvio tip velikih dinam a, koji se



Sl. 54. Dinamo sa 12 polova.

pola ko vrte, ali imaju više parova polova. Mjesto da se taki veliki dinami s pomoću remena spoje s parostrojem ili plinskim motorom, pokazalo se zgodnije, spojiti ih direktno s osovino m parostroja, tako da je dinamo na mjestu kola zamašnjaka, što ga obično vidimo na parostrojima. To su onda „p a r n i d i n a m i” (Dampdynamo) ili „d i n a m i g e n e r a t o r i”. Taki se i manji dinami vide osobito na brodovima. Taki dinamo za neposredni priključak osovini parostroja sa 12 polova pokazuje slika 54.

U ovim dinamima, sastavljenima neposredno sa „p o g o n o m” (motorom, a to je parostroj ili plinski stroj) imamo

danas najsavršniju konstrukciju dinamama, buduću da se u takovu spoju radnja pogona bez ikakvih umetaka, koji bi jedan dio te radnje utrošili, izravno prenosi na dinamo i u njemu pretvara u električnu struju, a ta će onda sa svoje strane izvršavati radnju, koju joj namjenjujemo.

7. Efekt stroja i stupanj njegova djelovanja. Iz predjašnjega je članka prijazni čitalac i čitalica jamačno razabrao i temeljito razumio djelovanje i konstrukciju našega ponajvažnijega novovjeka izvora krepih električnih struja — „d i n a m a z a j e d n a k u s t r u j u“. No za praktičara elektrika stoji pored pitanja o osnovama i načinu djelovanja toga našega ponosa novovjeke fizike i važno pitanje, je li taj izvor električne struje „p r e s k u p“? Toj je naime struji namjena, da nam izvršuje najrazličnije radnje: da nam rasvijetljuje ulice i kuće, da tjera najrazličnija kola, da velikom industrijalcu tjera različne strojeve u tvornicama, a malom obrtniku njegove sprave i njegovo orudje, rataru da ore, sije i vrši, kemičaru, da oklapa predmete zlatom, srebrom, nikaljem i t d. Ta nema uopće prirodne sile, koja bi se tako mnogostrano i tako lako dala pretvarati u najrazličnije radnje. No sve te radnje, što će ih snažna električna struja izvršivati, plaćat će onaj, koji ju troši (trošilac = konsument), baš kako plaća radnika za radnju njegovih mišića ili po izvršenoj radnji ili na dan, gdjekada i na sat. I električna je struja takav moderni radnik, koji se plaća po satu za izvršenu svoju radnju. Je li taj radnik skup spram dosadanjih radnika, koji su nam te radnje izvršivali?

Tomu pitanju treba da se sada primaknemo i u oči pogledamo. Ako treba da plaćam radnju, treba da ju znam i mjeriti, jer je plaća svakako prema veličini izvršene radnje.

U običnu životu plaćamo radnju mišića najmljenoga radnika obično po „r a d n o m d a n u“ (na pr. 8 sati na dan rada), pri čem uzimamo, da on čitavo vrijeme jednako i marljivo svoj posao radi. Dakako, da se tu možemo dosta prevariti. Slab, bolehljiv i star radnik u tom će vremenu uz najbolju volju mnogo manje izvršiti radnje nego krepak, zdrav i mlad radnik. Ovaj ima mnogo veću „e n e r g i j u“ (= sposobnost za izvršivanje radnje), on mi predstavlja veću „z a l i h u r a d n j e“, nego prvi, pa kad najnim radnika, pazit ću kau

dobar gospodar na dobrotu te „radne sile”. Po iskustvu prilično ćemo pogoditi, da pravo ocijenimo u ovom slučaju energiju naše radne sile, premda i najmladji i najkrepčiji radnik može da bude lijencina, pak nam sud nije osnovan.

No čim nam radnju izvršuje druga kakva prirodna sila na pr. slap vode, nemamo po iskustvu pouzdana mjerila za njezinu „energiju”, pak treba da se sada pozabavimo s tim, kako da ju prosudimo. Pri tom će nam se naš duševni obzor opet proširiti jednim od najvažnijih pojmova u tehnici — pojmom „efekta” jednoga stroja.

Naš dinamom treba „pogon”, da nam daje električnu struju t. j. na njegovoj kotvi treba, da se neprekidno i jednako izvršuje „radnja” okretanja, ako hoćemo, da nam on daje iskanu elektromotornu silu, na pr. 110 volta. Tu radnju izvršuje obično parostroj ili plinski motor, koji je s dinamom skopčan. No može da bude to i slap vode (na pr. Galovački bûk naših Plitvičkih jezera¹). Svaki zna, da taki slap ima veliku silu t. j. on može da izvršuje veliku radnju, on ima veliku „energiju”.

Po čem da sudimo kolika je energija slapa? Kako da saznamo, koliko nam radnje on može da izvršuje na pr. u svakoj sekundi vremena.

Općenu smo mjeru za radnju već razložili na drugom mjestu (isporedi str. 59. i 60.). Znamo, da se svaka radnja mjeri umnoškom od sile, koja radi, i puta, na kojem je radila:

$$\text{Radnja} = \text{sila} \times \text{put}.$$

Kad sam na pr. silom svojih mišića digao utegu od 1 kilograma 1 metar visoko, veli svaki tehničar, da je sila mojih mišića izvršila radnju od 1 meterkilograma. Pri tom se ne pita, u kojem je vremen u mišić tu radnju izvršio, tek se konstatira, da ju je izvršio. Tehničari s tom jedinicom obično mjere sve radnje, s kojima oni imaju posla. Fizičar bi rekao u ovom primjeru, da je sila mišića izvršila 981.000 erga radnje, jer je njegova jedinica za mjerenje radnjâ „erg” toliko puta manja od jedinice tehničara. Mi ćemo, budući u tehnici, ostati ovdje kod jedinice „1 meterkilogram” ili „1 kilogrammetar”.

¹ Isp. Franić: Plitvička jezera. Zagreb 1910. str. 73.

No tehničaru nije nipošto svejedno, u kojem vremenu mu sila izvršuje 1 kilogrammetar radnje. Za nj je to vrijeme baš najvažniji faktor! On pita kolika je r a d n j a u 1 s e k u n d i? Toj radnji, izvršenoj u 1 sekundi, daje on ime „e f e k t” ili „u č i n a k” sile.

Povratimo se sada opet slapu! O čem visi veličina radnje, što ju on može davati u svakoj sekundi? Ili: u č i n a k (efekt) slapa o čem visi? No to je bar jasno, reći će svatko! Što je slapu veća v i s i n a t. j. r a z l i k a visine izmedju njegove gornje i donje površine, to će veća biti radnja, što ju može izvršivati. No on može biti veoma visok, ali ipak malu radnju izvršivati. Taki su na pr. „Slapovi Plitvice“ na našim jezerima.¹ To će biti, ako u svakoj sekundi malo litara vode daje; to osobito dobro zna mlinar. No može u slapa biti i mnogo vode, a njegov učinak ili efekt ipak neznatan. Kako to? Reći ćete i sami: ako mu je v i s i n a malena na pr. nekoliko centimetara. I takih je slapova na našim Plitvicama, na pr. Brzice Gavanovca.²

Dakle: da bude u svakoj sekundi od slapa izvršena radnja, njegov „u č i n a k” ili „e f e k t”, što veća, treba da bude slap 1) što viši i 2) da daje što veću množinu vode. Ako na pr. slap u svakoj sekundi daje na dnu 10 litara (= 10 kilograma) vode, i ta voda pada s visine od 25 metara, kažemo sada posve izvjesno: „e f e k t” ili „u č i n a k” je toga slapa jednak 250 meterkilograma t. j. njegova je energija tolika, da mi on u s v a k o j sekundi daje 250 kilogrammetara radnje. Učinak se njegov dakle mjeri posve izvjesno: u m n o š k o m od težine vode, što ju daje u svakoj sekundi (a to je u našem slučaju sila) i visinom (u metrima).

$$\text{E f e k t} = \text{sila} \times \text{razlika površina} \\ (\text{visina slapa}).$$

Spominjemo, da se efekt može i drukčije izračunati. Ako na pr. znam, da mi je neka sila u 34 sekunde izvršila u svemu 3400 kilogrammetara radnje, jasno je, da je efekt (učinak) te sile $= 3400/34 = 100$ kilogrammetara:

$$\text{E f e k t} = \text{radnja u 1 sekundi}.$$

¹ Franić: str. 120. ² Franić: str. 112.

Ako mi pak sila u svakoj sekundi izvrši baš 75 kilogrammetara radnje, veli tehničar, da je njezin efekt (učin) „konjska snaga“ (Pferdestärke = PS ili engl. horse power = HP), dakle :

konjska snaga (PS, HP) = 75 kilogrammetara radnje u 1 sekundi.

Znam li jednom efekt ili učinak moga slapa, ništa nije lakše, nego izračunati ukupnu radnju ili energiju, koju on izvođi za dva, tri, osam i t. d. sati.

Razvijanje industrije ide sve više za tim, da iscrpe prirodne „radne sile“, kao što su slapovi, da ih pretvori u „radnike“ čovjeka. Doći će dan, kad će i slapovi naših Plitvica biti takvi radnici, dok se kulturni svijet već danas mnogo služi takim radnicima. Spominjemo slapove Niagare u Americi.

8. Efekt i energija izvora elektricitete. Watt i kilowatt

Prenesimo sada ove nove pojmove na naš izvor električne struje — na dinamo, u kojem se rađja električna struja, zvana da izvršuje najrazličnije radnje, pak mn poradi toga rado daju takodjer ime „generator“ (= „roditelj“) struje. Slap mora da ima negdje visoko svoj „izvor“ ili „vrelot“, iz kojega voda teče i slap hrani. Za nas je dinamo taj izvor, koji hrani naš „električni slap“ t. j. struju, koja teče u izvanjem krugu. Da bude „jak“ treba da i on ima „veliku visinu“ i „veliku množinu“ — ali ne vode, nego elektricitete. Velikoj visini slapa ovdje odgovara razlika napetosti elektricitete t. j. velika elektromotorna sila, velik broj „volta“ na pr. 110 volta, 220 volta i t. d., a velikoj množini vode odgovara ovdje velika „jakost struje“, velik broj ampera, jer jakost struje i nije drugo, nego množina elektricitete, što protiče žicom u svakoj sekundi. „Efekt“ ili „učin“ našega izvora struje mjeri se, kao i prije, umnoškom od elektromotorne sile i jakosti struje:

Efekt struje = elektromotorna sila
× jakost struje ili

Efekt struje = broj volta × broj ampera.

Tomu produktu dajemo sada novo ime. U čast Englezu Wattu, koji je usavršio parostroj, dobio je ime „Watt“, pa velimo, efekt svakoga električnoga izvora mjerimo — ne kilogrammetrom ili konjskom snagom, kao kod slapa nego — „wattom“, ali pri tom pamtimo:

radnja od 10 Watta = od prilike 1 kilogrammetar radnje ili

radnja od 736 Watta = radnja od 1 konjske snage u svakoj sekundi.

Kako već danas u praktičnom životu imamo u kulturnijim krajevima već dosta posla s mjerenjem takovih „električnih radnja“ ili „energija“, a što dalje bit će toga sve više, nužno je, da si svaki obrazovan čovjek te mjere što bolje razjasni i upamti. Za to evo još nekoliko primjera.

1. Galvanski članak ima elektromotornu silu od 2.2 volta i daje struju od 5 ampera jakosti. On mi izvršuje u svakoj sekundi radnju od $2.2 \times 5 = 11$ watta, a to će reći on izvršuje u svakoj sekundi od prilike radnju od 1 kilogrammetra¹ t. j. kao da u svakoj sekundi diže 1 kilogram visoko 1 metar!

2. Izvor struje ima 20 volta napetosti i daje struju od 10 ampera. Kolik je efekt?

Odgovor. U svakoj sekundi izvršuje radnju od $20 \times 10 = 200$ watta. Efekt je dakle te struje 200 watta ili 20 kilogrammetara t. j. ona daje toliku radnju, kao da diže u svakoj sekundi utegu od 20 kg. 1 metar visoko (točno: 2.04 mkg.).

Kod snažnih električnih izvora, kaki su baš naši dinamti, zna jedinica za efekt „1 watt“ biti premalena, kako nam je na pr. za velike dužine premalena jedinica „1 metar“, pak ju slažemo u 1000 m = 1 kilometar. To radimo i ovdje pa određujemo:

radnja od 1000 watta u 1 sekundi = 1
kilowatt = 1.36 konjske snage (PS, HP) = 102
kilogrammetra u 1 sekundi.

Kilowatt je dakle za trećinu veći od konjske snage, pak ćemo po tom lako „kilowatte“ i „watte“ pretvarati u konjske snage.

Znamo li pak odrediti radnju našega električnoga izvora u 1 sekundi, znamo li dakle njegov „efekt“ ili „učinak“ u wattima

¹ Točno: $11 \times \frac{1}{9.81}$ mkg. = 1.12 mkg.

ili kilowattima ili u konjskim snagama, lako ćemo odrediti i čitavu njegovu radnju na pr. za 1 sat.

Gore spomenuti naš izvor na pr. dao bi nam za 1 sat radnju od $200 \times 3600 \text{ watta} = 720.000 \text{ watta}$ ili 720 kilowatta ili 7200 kilogrammetara.

3. U žici teče struja jaka 20 ampera, a na krajevima te žice je razlika napetosti 150 volta. Kolik je efekt te struje t. j., koliko je radnju kadra nami davati u s v a k o j sekundi?

Odgovor: Efekt $= 20 \times 150 = 3000 \text{ watta} = 3 \text{ kilowatta} = 4.08 \text{ konjskih snaga}$

To će reći struja može u svakom komadu tako dugačke provodnice ovu određenu radnju izvršiti, u čitavoj žici provodnici ili u čitavom krugu struje dakle sumu svih tih radnja pojedinačnih

4. Dinamo za jednaku struju ima „napetost stezaljka“ (vidi str. 158.) od 110 volta i daje u izvanjem krugu struju jaku 80 ampera. Kolik je efekt?

Odgovor: Efekt $= 110 \times 80 = 8800 \text{ watta} = 8.8 \text{ kilowatta} = 8.8 \times 1.36 = 11.968 \text{ konjskih snaga (PS, HP) = 12 PS.}$

To će reći: taj je dinamo kadar nama u svakoj sekundi davati radnju od 12 konjskih snaga.

9. Trošenje radnje u krugu struje. Utrošeni efekt. Izvor električne struje kadar je neprekidno izvršivati radnju, on nam da je radnju. No ta se radnja u zatvorenu krugu, kojim teče struja, pomalo i troši. U što? U prvom redu znamo, da svaka provodnica struji zadaje otpor, a taj otpor treba neprestano svladavati, da se mogu elektroni kroz provodnicu protiskivati. O čem visi to trošenje radnje? Kako da nadjemo, koliko je radnje na pr. u s v a k o j sekundi utrošeno ili kolik je efekt, što ga je otpor u provodnici utrošio?

I ta utrošena radnja zavisi od jakosti struje i od otpora u provodnici. Ako na pr. provodnicom teče struja od 1 ampera, pak u njoj nadje ve o m a m a l e n otpor, protiskivat će elektrone uz m a n j u r a z l i k u napetosti, nego li druga struja od 1 ampera jakosti, koja nadje u svojoj provodnici veoma velik otpor, pak treba veliku napetost struje, da ih protiskuje. Jasno je, da prva struja izvršuje mnogo manju radnju u svakoj sekundi od druge ili druga provodnica u t r o š i

u svakoj sekundi mnogo više radnje od prve. I radnja utrošena u svakoj sekundi zavisi dakle. 1. od jakosti struje koja se protiskuje i 2. od napetosti, koja ju protiskuje kroz provodnicu:

Utrošeni efekt u zatvorenu krugu = jakost struje $\times$ napetost.

I on se mjeri „wattom“. Na pr. Žarnicu hrani struja od 110 volta i njom teče struja od 0.5 ampera. Koliko radnje ta žarnica troši u svakoj sekundi ili kolik je utrošeni efekt?

Odgovor:

Utrošeni efekt = $110 \times 0.5 = 55$ watta = 5.5 kilogrammetara.

2. U provodnici teče struja od 4 ampera uz napetost od 10 volta. Koliko radnje utroši u svakoj sekundi?

Odgovor:

Utrošeni efekt = $4 \times 10 = 40$ watta = 4 kgm.

Ako dakle od ovih triju veličina: efekt, jakost struje i napetost struje znamo dvije, možemo u svakom primjeru treću izračunati. Na pr.:

3. Kolik efekt utroši žarnica, koja uz napetost od 100 volta treba struju od 2 ampera, da gori punom svjetlošću svojom?

Odgovor:

efekt utrošeni = broj volta $\times$ broj ampera = $100 \times 2 = 200$ watta.

4. Komad provodnice troši 54 watta radnje u svakoj sekundi, kada njime teče struja od 1.5 ampera. Kolika je razlika napetosti na krajevima provodnice?

Odgovor: Broj volta = $\frac{\text{broj watta}}{\text{broj ampera}} = \frac{54}{1.5} = 36$ volta.

5. Svjetiljka troši uz napetost od 110 volta 55 watta. Kolika je jakost struje, koja njom teče?

Odgovor: Broj ampera = $\frac{\text{broj watta}}{\text{broj volta}} = \frac{55}{110} = 0.5$ ampera.

10. Stupanj djelovanja kod dinama. Ako struja iz dinama u svom izvanjem krugu neprestano troši radnju, treba da tu radnju neprekidno odnekuda prima, jer je osnovni zakon

prirode — potvrđen nebrojenim iskustvima — da se od ničega radnja ne stvara. Da nadovežemo na naš gore spomenuti dinamo (str. 167. 4))! On je imao efekt od 12 konjskih snaga t. j. bio je kadar davati nam u svakoj sekundi 12 konjskih snaga radnje u svom izvanjem krugu. No da njime takova struja teče, treba da se njegova kotva doličnim brojem tourâ neprekidno okreće, a da to bude, treba, da na njoj izvršuje neku radnju parostroj, plinski stroj ili turbina tjerana slapom vode, dakle „p o g o n” (Triebkraft, force motrice). Koliko radnje treba da izvršuje taj pogon u svakoj sekundi? Na svaki način veću radnju, nego što ju daje nama dinamo, jer ona radnja ne daje samo efekt u izvanjem krugu dinamama, nego mora da pokreće elektrone i u unutrašnjosti dinamama, mora da svlađava otpore trenja u svim osovinama, mora da se bori protiv histereze i Foucaultovih struja u kotvi, i protiv topline, koja se razvija i t. d. Istina je, za nas je koristan samo onaj dio u svakoj sekundi uložene radnje, koji se očituje u izvanjem krugu našega dinamama i taj je bio 12 PS. Idealan bi slučaj bio, da nam dinamo daje svu u nj uloženu radnju. No taj nije nikada ispunjen: jedan se dio uložene radnje izgubi svagda, a praksa može tek da ide za tim, kako bi omjer između uloženoga efekta i korisnoga efekta bio što bolji. Na pr. naš dinamo daje u izvanjem krugu efekt od 12 konjskih snaga; parostroj ili turbina ulaže pak u nj efekt od 18 konjskih snaga; izlazi da je korisni efekt stroja tek $\frac{12}{18}$ ili $\frac{2}{3}$ od uloženoga efekta ili: tek 66 $\frac{2}{3}$ % od uložene radnje daje nam dinamo, a 33% uložene je radnje izgubljeno. U tom omjeru između efekta u izvanjem krugu struje i uloženoga efekta imamo pouzdanu mjeru za „dobrotu” našega dinamama, pak poradi toga tomu važnomu omjeru dajemo i posebno ime „stupanj djelovanja” našega dinamama. Dakle:

$$\text{stupanj djelovanja dinamama} = \frac{\text{elektr. efekt u izv. krugu struje}}{\text{čitav uloženi efekt}}$$

Danas je gradnja dinamama već dotle dotjerala, da je taj stupanj djelovanja kod manjih dinamama, koji se brzo vrte, 75 do 80%, dok je kod velikih dinamama polagane vrtnje dosegao već i 95%.

Tehnika je dakle s te strane već daleko doprla : dinamo je danas već tako savršen stroj, da nam g o t o v o svu uloženu radnju vraća. To ga je i učinilo tako važnim u modernoj tehnici.

* * *

Da saberemo naše nove spoznaje o dinamu !

Kada se kolut od žice vrti u magnetskom polju, on postaje sijielo elektromotorne sile, koja u jednoj polovini koluta ima isti smjer, ali u drugoj suprotan. Gramme je na toj osnovi g. 1879. sagradio zgodan kolut od meka željeza, omotan mnogo puta žicom, u kojem se kod vrtnje javlja elektromotorna sila, koja je u svakoj polovini koluta stalna (konstantna), ali je u obje polovine koluta suprotnoga smjera. S pomoću kefica se ta elektromotorna sila skida s koluta i ona daje jednaku struju u izvanjem krugu : Ako se ta ista struja najprije pošalje oko elektromagneta, da pojača njegovo magnetsko polje (Siemensov princip), dobijemo osnovni stroj moderne elektrotehnike „dinamo za jednaku struju“. Razlikujemo prema omatanju poljskih magneta 3 vrste takih dinama : dinamo s glavnim priključkom, dinamo sa sporednim priključkom i dinamo s pomiješanim priključkom (compound-dinamo).

Za oznaku svakoga dinama daju se ove karakteristike njegove u praksi : 1. kolik treba da bude redoviti broj okreta kotve u 1 minuti ili „broj okreta“ ili „broj toura“ ; 2. kolika smije da bude u tom slučaju najveća jakost struje u amperima i 3. kolika je u tom slučaju „napetost stezaljaka“ u voltima.

Za pogon se dinama upotrebljavaju (pored sile čovjekovih mišića, vjetra, bencinskih motora kod malih dinama) parostroj, plinski stroj, turbine na vodi i u najnovije vrijeme turbine na paru. U izravnom spoju pogona s dinamom imamo najsavršeniji tip dinama („parni dinamo“, „turbodinamo“). Dinamo ne daje svu u nj uloženu radnju pogona, no njegov je korisni efekt danas dosegaó već 95% uložena efekta.

VI.

Dinamo kao pogon ili elektromotor jednake struje. Električno prenošenje radnje.

1. Dinamo kao pogon ili motor. Dinamo za jednaku struju jedan je od najvećih i za čovjeka najkorisnijih izuma. On je veoma sjajno riješio pitanje: mehaničnu energiju (koja je na pr. u slapu vode, u parostroju) pretvoriti u električnu jednaku struju velike napetosti, koja nam može da služi u najrazličnije svrhe na pr. za rasvjetu električnom svjetlošću žarnica ili ugljena. No pravom će tkogod primijetiti, da rasvjeta baš nije tako važna primjena tih jakih električnih struja, što ih dobivamo iz dinama jednake struje. Ta mi imamo već otprije cio niz različnih načina za rasvijetljivanje i bez električnih struja, pak nam je novi električni način rasvjete tek dobro došao, kao poboljšanje starijih, dakle tek kao korak dalje u u d o b n i j e m životu modernoga kulturnoga čovjeka, ali ne kao p r i j e k a p o t r e b a svakidanjega života. U tom se životu u borbi za opstanak ističu posve druge, kud i kamo veće i važnije potrebe. Tu je obrtnik sa svojim zanatom, koji ga hrani, tu je ratar sa svojim poljem, koje i njega i mnoge druge hrani, tu je tvorničar, koji nam svojom „industrijom“ izvodi u veliko najpotrebnije stvari svakidašnjega života. U svim tim granama treba „r a d i t i“, ili da se više naučno izrazimo treba izvoditi „m e h a n i č n u r a d n j u“. Tu radnju mali obrtnik i ratar izvodi s pomoću svojih mišića, u njima je ona „e n e r g i j a“, koja može tu radnju dati; pomaže mu u tom njegovu „orudje“ ili „a l a t“, da izvrši više mehanične radnje i u kraćem vremenu. U industriji već zove „radnik“ u pomoć i zamršeniye strojeve, no na koncu konca ipak je „e n e r g i j a r a d n i k o v i h m i š i ć a“ izvor izvršenoj radnji.

Divna li izuma, kad bi nam električna struja iz dinama mogla tu mehaničnu radnju izvršivati! Snagu čovjekovu, koja

se danas toliko troši u ratarstvu, u obrtu i u industriji na to, da izvršuje dan na dan odredjenu množinu „kilogrammetara radnje“ naknadila bi električna struja naših dinamama, a čovjekova bi se snaga dala uzgajanjem u školama upotrebljavati u više duševne svrhe. Promislimo samo tu misao! Danas od kulturnoga čovječanstva radi jedva od 1000 ljudi jedan oko toga, da proširi znanje čovjeka o najrazličnijim pitanjima, pak da onda to znanje upotrijebi na korist toga kulturnoga čovjeka. Pa ipak kraj tako malenoga broja umnih radnika što su oni nama do danas privrijedili samo za ovo 300 posljednjih godina, što rade? Ta preobrazili su čitav život kulturnoga čovjeka! Kakim bi pak korakom čovjek na Zemlji napredovao, da se mjesto je dno ga od 1000 takovu umnomu radu posvećuje njih 30 od svake stotine ljudi! Nema tako bujne fantazije, koja bi nam znala slikati napredovanje kulturnoga čovjeka i udobnost njegova života uz tolik broj umnih radnika. Nauka — navlastito nauka o prirodi — primijenjena na praktične svrhe, napredovala bi uz onaj trista puta veći broj umnih radnika malo drukčije, nego što može da napreduje danas, gdje najveći broj ljudi troši svoju snagu u izvršivanju svakidanih mehaničkih radnja, dok umni kapital, koji u mnogomu leži — naprosto propada. Tko bi se usudio reći, koliko talenta, koliko umnoga kapitala — a to je ipak najveći kapital čovjekova koljena! — danas gine i uginе posve ne upotrijebljena!

Dakle nastojmo, da nam mehanične radnje u što većoj mjeri izvršuju prirodne sile, a snagu čovjeka navraćajmo sve više na umnu radnju. Među prirodnim silama, sposobnima izvršivati mehanične radnje u prvom je redu električna struja, pak smo evo opet kod našega krasnoga dinamama za jednaku struju s novim pitanjem: bismo li ga mogli upotrijebiti kao zamjenika radnje čovjekovih mišića, bi li nam on mogao poslužiti kao „pogon“ ili „motor“, da izravno izvršuje mehaničnu radnju mjesto nas?

Naš je dinamo i s te strane veoma zanimljiv izum, jer su na istaknuto pitanje fizičari mogli jestno odgovoriti: dinamo nam može služiti i kao pogon ili motor!

Misao je gotovo na dlanu. Da kotvi dinamo dađem odredjenu brzinu vrtnje, kako bi mi ona dala električnu struju

nužne mi napetosti i jakosti, treba da trošim neku množinu mehanične radnje u svakoj sekundi. Tu mi radnju izvršuje parostroj, turbina, gdjekada i moji mišići. Obrnuto: ako ja u mirnu kotvu dinamama od nekuda uvodim električnu struju iste one napetosti i jakosti, dobit ću jamačno od kotve predjašnje gibanje: kotva će se od uvedene struje vrtjeti onako, kako je prije nju vrtio njezin pogon, parostroj, turbina ili ruka. No čim se kotva onom istom svojom brzinom vrti, ona mi može izvršivati mehaničnu radnju, gdje god trebam: dinamama je sada „pogon” ili „motor”. Ovu misao, izvedenu iz osnovnoga prirodnoga zakona o održanju i pretvorbi energije, što ga je prvi uočio početkom 19. stoljeća Francuz Carnot, potvrdio je pokusom g. 1873. na Bečkoj izložbi H. Fontaine. Namjestio je dva posve jednaka Grammeova dinamama 1 kilometar razdaleko. Prvi dinamama gonio je plinski motor (ovdje pogon), a električna jednaka struja, što ju je davao, tekla je žicama u kotvu drugoga posve jednakoga, mirnoga Grammeova dinamama. Koliko se je zbilja stao vrtjeti i ta je vrtnja bila toliko snažna, da je mogla s pomoću remena tjerati sisaljku za vodu, koja je dizala vodu. Drugi je dakle Grammeov dinamama doista bio ovdje motor ili pogon za sisaljku, on nam je izvršivao radnju, dižući vodu, koju bi inače morao da izvršuje radnik! A sila, koja je vrtnju njegove kotve izvodila, nije bila ni plin, ni para, ni voda, ni ruka — nego električna struja, koja je dolazila iz prvoga stroja: pred nama je dakle „električni pogon” ili „elektromotor” i taj elektromotor nije ništa drugo, nego onaj isti dinamama, koji nam, gonjen drugim pogonom, daje naše moderne jake električne struje! Dinamama je dakle pravi čarobnjak. Možeš ga upotrijebiti kao vrelo jakih električnih struja, ako raspolažeš kakvom silom, koja će ga tjerati; u tom je slučaju on „roditelj struje” („generator”); no možeš ga upotrijebiti i kao pogon ili motor, ako raspolažeš dosta napetom jednakom strujom, koju ćeš neprekidno uvoditi u njegovu kotvu, u ovom je drugom slučaju naš dinamama „električni pogon” ili „elektromotor”.

Iza prvoga pokusa Fontaineova na izložbi u Beču od g. 1873. misao se ova brzo dalje razvijala. Osobito su znameniti pokusi

Francuza Marcela Depreza iz g. 1878., kada je on prvi pretvorio Siemensov dinamo u takav električni pogon ili elektromotor. D'Arsonval je g. 1881. izvodio na malom modelu Deprezova elektromotora velik broj pokusa, pak je pokazao, da nam i taj mali aparat može lijepo poslužiti, ako ne trebamo u sekundi više od 2—3 kilogrammetra radnje. Sa strojem, teškim zajedno s magnetom jedva 2 kg., dobivao je s pomoću jednake struje iz 5 Bunsenovih članaka 51 kilogrammetar radnje u 1 minuti, a kotva se okretala u minuti 204 puta! Drugi mali model s kotvom teškom 400 grama i magnetom teškim 1700 grama razvijao je u 1 sekundi 2.5 kilogrammetra radnje i kotva mu se u 1 minuti okretala 3000 puta! Mogli bismo dakle načelo „električnoga pogona“ ili „elektromotora“ za jednaku struju naprosto ovako izraziti:

Kotva se dinama stane živo vrtjeti u magnetskom polju svoga poljskoga magneta, čim se u nju pusti odnekle jednaka struja, i vrti se stalnom brzinom u tom polju, dokle god njom teče ta struja.

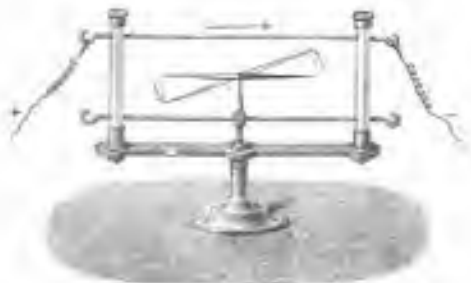
S pomoću remenja ta se vrtnja prenosi dalje na stroj, koji treba da radi.

To je osnova glasovitoga „elektromotora za jednaku struju“.

Mjesto da tjeraš radne strojeve s pogonima toplinskim (parostroji, parne turbine i plinski motori) ili s pogonima vode (turbine), možeš ih sada tjerati i „električnim pogonom“, a taj je naš dinamo, ako u nj uvodiš odnekle jednaku struju.

2. Zašto dinamo može služiti i kao pogon? Čas prije istaknutim načelom elektromotora mogli bismo se zadovoljiti i sada opisati nekoliko tipova njegovih i način primjene. No kako je ova knjiga namijenjena obrazovanim Hrvatima, ne smijemo stati kod tvrdnje: tako jest i svaki treba da to vjeruje, ni ne pitajući: a zašto se kotva dinama stane sama od sebe tako živo vrtjeti, kada u nju uvodimo sa strane jednaku struju? Svaki obrazovan čovjek traži — i ima pravo da traži — odgovor na ovo pitanje. Odgovor će nam međutim i s druge strane dobro doći.

U električnoj izložbi g. 1883. u Beču izložila je i Danska (Danemark) svoje uspjehe na tom području i ukasila svoju izložbu poprsjem, pod kojim je stajalo ime „Oerstedt“, a kraj poprsja jednostavna magnetična igla, na kojoj je taj muž g. 1820. otkrio odnošaj izmedju električne struje i magneta, koji nas ovaj čas zanima. U stalku stoji mirno magnetička igla (sl. 55) (sjeverni pol na crnom kraju) u svom prirodnom položaju sjever-jug. Iznad nje je žica, kroz koju možemo poslati struju smjerom jug-sjever, spojivši ju s kakvim izvorom struje. Igla se trgne, otkloni sa sjevernim polom na lijevo i ostaje otklonjena, dok struja kraj nje teče; čim struju prekineš, igla se vrati u svoj predjašnji položaj. Igla očito nastoji, da se smjesti okomito na smjer struje, ali ne može, jer ju zemaljski magnetizam vuče natrag u položaj sjever-jug.



Sl. 55. Oerstedtov pokus.

U ovom je rasporedu pokusa bila igla gibljiva, a struja čvrsta. Promijenimo u misli raspored pomislimo iglu čvrstu u svom namjestaju, a žicu provodnicu gibljivu. Budući da djelovanje struje i magneta ide za tim, da se jedno postavi okomito na drugo, sada će se provodnica okretati tako dugo, dok se postavi okomito na smjer magnetičke igle. Rezultat je:

Električna struja i magnetičko polje izvršuju jedno na drugo mehanične učinke, kad su si bliski.

Ako je magnetičko polje čvrsto, a provodnica struje gibljiva, giba se provodnica struje u tom polju, a ako je struja čvrsta, giba se magnet sa svojim poljem u nekom određenom smjeru. Prvi je slučaj i pokus potvrdio. *AB* (sl. 56) je magnet (sjeverni pol *A*), koji leži na stolu (dakle čvrst, nepomičan); iznad njega gibljiva provodnica struje, koja s početka stoji u smjeru *AB* (istočkan položaj); čim iz baterije pošalješ u žicu struju, žica se trgne iz meridijana i nakon nekoliko njihaja

stane o k o m i t o na osovinu $A B$ magneta i o s t a n e u tom položaju. Ako u provodnici s m j e r struje obrnemo, provodnica se okrene za 180° t j. ona je i sada postavi o k o m i t o na osovinu magneta, ali u obrnutu položaju.

J a s n o je dakle: kad bismo mogli svagda baš u času, kada provodnica struje stane o k o m i t o na osovinu magneta, obrnuti smjer struje, provodnica bi se u t o m magnetičkom polju neprekidno vrtjela tražeći položaj mirovanja, kojega ipak ne može nikada da nadje.



Sl. 56. Otklon struje.

Pitanje je sada samo, kako se može ta misao praktički izvesti i kako se može odrediti smjer te neprekidne vrt-nje u magnetičkom polju?

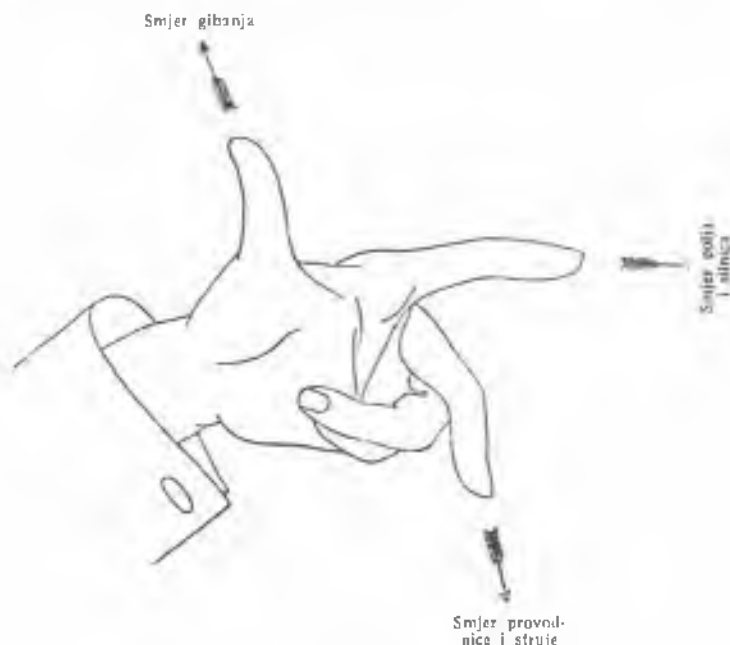
Kako bismo u ova okretanja gibljivih provod-nica u magnetičkom polju unijeli neki red i pregled, treba da si na osnovi spo-menutih pokusa najprije složimo pravilo, po kojem ćemo unaprijed znati od-

rediti, kako će se provodnica struje u polju okretati? Na to nam pitanje odgovara općeno poznato Ampérov¹o plivačko pravilo: sjeverni se pol magneta svagda otklanja na lijevu ruku plivača, koji pliva sa strujom i gleda na magnet.¹ No zgodnije je ovdje tako zvano „pravilo lijeve ruke“. Ako ispružiš na lijevoj ruci palac, kažiprst i srednji prst, kako pokazuje slika 57, odredio si time tri međusobno okomita smjera u prostoru. Kažiprst namjesti u smjer magnetičkih silnica polja (dakle u smjer sjever-jug). Srednji prst pokazuje provodnicu struje i ujedno s m j e r struje, koja u njoj teče. P a l a c ti onda kazuje, k u d a će se gibati provodnica struje u tom polju.

¹ Kučera, Crte o magnetizmu i elektricitetu. Zagreb 1892. Str. 170.

Ovo jednostavno pravilo u svakom slučaju daje pouzdan odgovor. Jasnije je na pr. : ako smjer struje obrneš, t. j. kažiprst obrneš za polovinu punoga okreta, gibat će se provodnica suprotnim smjerom spram prije.

No što je tomu **u z r o k**, da se provodnica struje u magnetskom polju ovako trgne, pak kao da je oživjela, postavlja se svojom ravninom baš o k o m i t o na smjer magn. silnica? Neće nam biti preteško, domisliti se tomu uzroku. Željezo



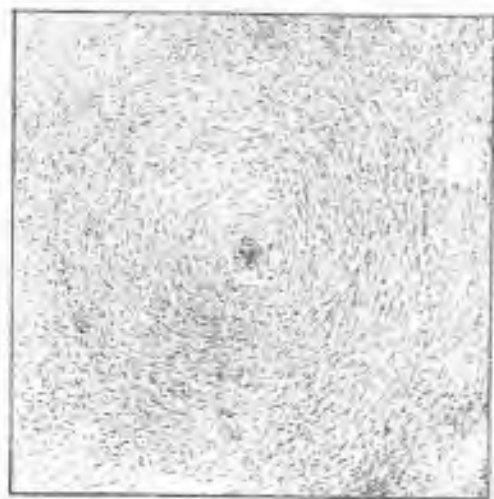
Sl. 57. Pravilo lijeve ruke.

postaje magnetom, ako mu približimo magnet t. j. ako ga smjestimo „u polje” kojega magneta. No mi znamo, da se željezo takodjer pretvara u magnet, ako oko njega teče električna struja. Iz te činjenice moramo izvoditi, da i provodnica, kojom teče električna struja, mora da ima svoje „magnetičko polje” i svoje „magnetičke silnice”, jer samo tako razumijemo, da će se željezo od te struje pretvoriti u magnet. Svaka električna struja stvara oko sebe „magnetično polje” s magnetskim silni-

cama, pak izvršuje po njemu u svojoj okolini i magnetske sile kao kakav trajni magnet.

To pokus zaista potvrđuje! Ako žicu provodnicu, kojom teče struja, protakneš kroz list papira (sl. 58.) okomito, poredjaju se drobnice željezne piljotine oko žice, kako pokazuje slika: magnetske silnice upravne struje jesu *kružnice*, koje teku oko žice kao svoga središta.

Saviješ liu provodnicu u oblik koluta (sl. 59), razbiraš, da magnetske silnice imaju svagdje smjerove naslikanih strijelica tj.

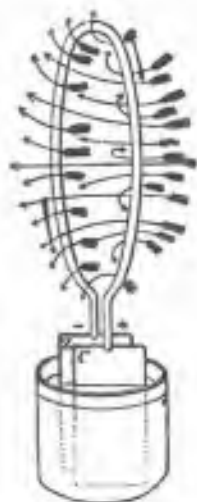


Sl. 58. Magnetičko polje struje.

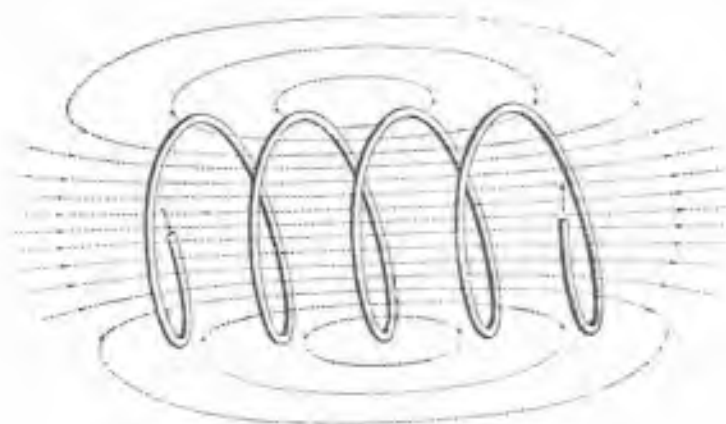
one na jednoj strani izviru iz ravnine koluta, teku u kružnici oko žice provodnice kroz uzduh i uviru opet na drugoj strani koluta u nj: silnice prolaze kroz ravninu koluta okomito. Načiniš li napokon od mnogo ovakvih koluta spiralu (zavoynicu, sl. 60.), razbiraš, da u njezinoj unutrašnjosti silnice teku usporedno s njezinom osovinom, na

jednoj strani (u slici: desno) izviru iz spirale, teku kroz uzduh u zatvorenim krivuljama k drugom kraju spirale i ondje u nju opet uviru. U oči udara velika sličnost magnetskoga polja ovake spirale s magnetskim poljem magneta (sl. 24. na str. 108). Zovu se take spirale savite od žice provodnice takodjer „solenoidei“ (σώλην = zavoj), pak je za nas veoma zanimljivo, da je u njihovoj nutrinji jednoliko magnetsko polje, kao među bliskim polovima elektromagneta. Sada nam je posve razumljivo, da će svako željezo, utaknuto u magnetsko polje takve spirale, i samo postati s mjesta jak magnet!

No razumijemo sada i to, da će se gibljiva provodnica struje, smještena u polje kojega magneta, i sama u tom polju morati okretati. Što smo naime učinili smjestivši kolut struje (sl. 61.) u jako magnetsko polje? Smjestili smo u jedno magnetsko polje, koje već postoji između polova našega magneta još jedno magnetsko polje, polje našega koluta, kojim teče struja. No silnice toga drugoga polja uopće neće teći kao silnice prvoga, nego će spram njih imati uopće kos smjer. No to ne može da ostane tako. Ako položiš slamku na vodu potoka, pak ju držiš na jednom kraju, slamka će se svagda postaviti u smjer tečenja vode. Pomakni ju kako hoćeš na stranu, ona se vraća s mjesta u smjer vodene struje! Baš je tako s našim umetnutim magnetskim poljem: gibljiva provodnica struje svagda će se tako okrenuti, da silnice njezina polja teku istim smjerom i na istu stranu kao i silnice magnetova polja.



Sl. 59. Magnetske silnice koluta.

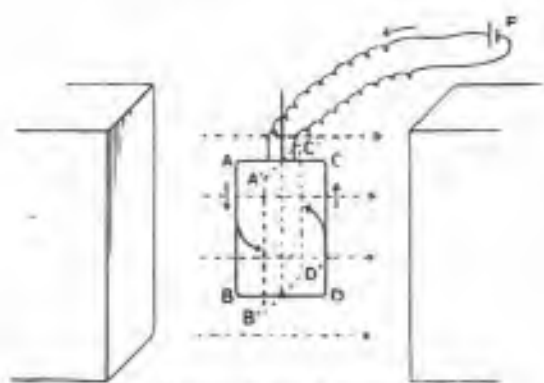


Sl. 60. Magnetsko polje spirale.

Ako bismo u tom času obrnuli smjer struje, obrnuli bismo tim i smjer njezinih silnica u suprotni. U predjašnjoj isporodbi sa slamkom na tekućici vodi, značilo bi to, da smo slamku obr-

nuli k izvoru potoka ; jasno je, da će se ona opet povratiti s mjesta u struju potoka, no da to bude, treba da se okrene za polovinu punoga okreta ; a to će se zaista svagda dogoditi, kada obrnemo smjer električne struje u provodnici. Drugim riječima : na š ć e se kolut u magnetičkom polju trajno vrtjeti oko svoje osovine, ako u času, kada su se silnice njegova polja složile sa silnicama magnetova polja, obrnemo smjer električne struje u kolutu.

Ova nam spoznaja olakšava razumijevanje kod našega dinama. Što je naime zapravo Grammeov kolut, ako ne cio niz ovakih pojedinačnih zavoja, koji se svi mogu vrtjeti oko za-



Sl. 61. Vrtnja koluta u magn. polju.

jedničke osovine ? Svaki zavoj koluta nastoji, ako njime teče struja, da se smjesti u smjer silnica poljskoga magneta, čitavi se kolut Grammeov stane t r a j n o v r t j e t i oko svoje osovine u i s t o m smjeru, pa kako je na njem tih zavoja

veoma mnogo i učinak je velik i vrtnja veoma pravilna : kotva se od uvedene struje stane vrtjeti i nakon kratkoga se vremena zaista vrti veoma velikom brzinom !

Ako se Grammeov kolut na prvom dinamu, koji izvodi struju (na generatoru struje) vrti kao kazalo na uri (s lijeva na desno), vrtjet će se kolut drugoga dinama (elektromotora) svagda s u p r o t n i m smjerom dakle u našem primjeru obrnuto spram kazala na uri (t. j. s desna na lijevo). Želimo li, da se on vrti k a o kazalo na uri, t. j. želimo li u našem elektromotoru o b r n u t i smjer vrtnje, možemo to postići na dva načina : ili ćemo obrnuti smjer silnica njegova poljskoga magneta ili ćemo obrnuti smjer struje, koja dolazi u kotvu našega motora. Ako bismo pak najprije obrnuli smjer magnetskoga polja

i onda još i smjer struje u kotvi, drugo bi uništilo učinak prvoga t. j. kotva bi se dalje vrtjela kao i prije, smjer se njezine vrtnje ne bi promijenio.

3. Djelovanje elektromotora za jednaku struju. Iz pređašnjega članka razabراسmo, da se naš „električni pogon“ ili „elektromotor“ po svojoj gradnji baš ni u čemu ne razlikuje od dinama, koji nam daje naše moderne jake električne struje (od „generatora struje“). Jedan se te isti dinamo može upotrebljavati i kao „roditelj struje“ (generator) i kao „pogon“ ili „motor“. Kao generator će djelovati, ako u nj uvodimo mehaničnu energiju (na pr. iz parostroja) pak njome snažno vrtimo kotvu dinama. Ta će se mehanična radnja pretvarati u električnu energiju, koju dinamo izdaje u izvanji tečaj u obliku snažne električne struje. Ako pak u kotvu mirna dinama odnekuda izvana uvodimo električnu energiju, kotva će se početi veoma brzo i snažno vrtjeti, ona sada izdaje mehaničnu energiju i može da izvršuje u radnim strojevima najrazličnije radnje. Praktičar s mjesta pita: je li ta radnja skupa, što ju dinamo daje kao pogon ili motor?

Ni mi se ne možemo ovdje raspravljajući toga pitanja ugnuti, jer samo o odgovoru na to pitanje ovisi, hoće li se dinamo kao pogon u praktičnom životu udomiti. Da vidimo dakle, kako stoji s te strane s djelovanjem našega elektromotora za jednaku struju!

Iz nekoga izvora elektricitete (na pr. iz „električne centrale“ kojega grada) ulazi struja stalne napetosti (na pr. 110 volta) u kefice na kotvi našega mirnoga elektromotora. Kotva će se našega dinama živo zavrtjeti. Tu vrtnju treba nešto proučavati... Uklopimo li u tečaj struje ampermetar, on će nam kazivati, koliko je ampera jake struja, koja teče u krugu. Čudno nam odgovara: s početka je struja veoma jaka, no kako se kotva sve brže vrti, tako postaje struja, što u kotvi i poljskom magnetu teče, sve slabija. Što je to? Ta mi dobro znamo Ohmov zakon. Čitavi naš krug ima stalno određen otpor (na pr. 5 ohma), naš izvor elektricitete ima stalnu napetost (na pr. 110 volta); po spomenutom bi zakonu moralo biti:

$$\text{jakost struje} = \frac{\text{napetost}}{\text{otpor}} = \frac{110}{5} = 22 \text{ ampera}$$

t. j. jakost bi struje morala biti takodjer stalna t. j. 22 ampera. No ampermetar veli, da nije! Odkuda to protivurjeđe?

Zamislimo se malo! Ta naša se kotva vrti u magnetskom polju. Ona dakle izvođi, kao svaki dinamo, svoju elektromotornu silu. No kako se kotva elektromotora vrti u suprotnom smjeru spram kotve na dinamu, koji nam svoju električnu struju šalje (spram generatora), bit će elektromotorna sila našega pogona suprotna elektromotornoj sili izvora elektricitete: naš elektromotor u sebi razvija „elektromotornu protusilu“, koja će biti to veća, što se brže vrti njegova kotva. Sada razumijemo, zašto se struja sve više slabi. U početku, dok kotva miruje, te protusile uopće nema, jednaka je nuli; kako brzina vrtnje raste, elektromotorna protusila takodjer raste, a jakost struje u krugu pada. Što će biti, kada se kotva našega pogona vrti najvećom svojom brzinom? Bit će i protusila najveća i gotovo jednaka elektromotornoj sili izvora elektricitete, samo nešto malo manja od nje (na pr. = 100 volta). Sada u pogonu teče samo struja ove jakosti:

$$\text{jakost struje} = \frac{110 \text{ volta} - 100 \text{ volta}}{5 \text{ ohma}} = \frac{10}{5} = 2 \text{ ampera.}$$

Mjesto struje od 22 ampera teče sada u pogonu struja jaka tek 2 ampera!

A kako je odnošaj između radnje, što ju naš pogon prima u svakoj sekundi iz izvora elektricitete, i radnje, što nam ju on daje u svakoj sekundi?

Primljena je radnja u svakoj sekundi: 110 volta $\times$ 5 ohma = 550 watta (isp. str. 165.). U tečaju struje ta radnja najprije svladava otpor od 5 ohma i razvija u njem toplinu. Dakle se troši neki dio uvedene energije u obliku topline; drugi se dio troši na svladavanje trenja, a tek ostatak može da preda motor radnim strojevima. Što je veći taj ostatak radnje u svakoj sekundi, to je veća korist od motora, to je bolji „korisni učinak“ njegov. Kad bi nam svih 550

watta davao, bio bi savršen stroj. No takih pogona nema. Koliki je taj ostatak, to zavisi od veličine „elektromotorne protusile“. Što je ova bliža elektromotornoj sili izvora (centrale), u našem primjeru 110 volta, to slabija struja teče u žicama provodnicama, to se manje radnje gubi grijanjem žica. Najbolje će dakle djelovati naš pogon, kada mu protusila naraste do najveće svoje vrijednosti (u našem primjeru do 100 volta); u tom će slučaju od primljene radnje korisno izdavati $\frac{100}{110} = \frac{10}{11}$ ili 91% !

U početku je stupanj elektromotorova djelovanja veoma loš, jer je protusila gotovo jednaka nuli. No kako brzina vrtnje raste, raste i stupanj djelovanja sve do najveće moguće brzine. No do te najveće svoje brzine može naš motor da dodje samo onda, kada „prazan leti“ t. j. kada na nj nije obješen nikakov radni stroj, na kojem bi imao izvršavati mehaničnu radnju. „Radnja kod praznoga letenja“ veoma je malena, jer je u tom slučaju i napetost ($110 - 100 = 10$ volta) i jakost struje ($= 2$ ampera) najmanja, dakle i mehanički učinak ($= 10 \times 2 = 20$ watta) najmanji. Mehanički je učinak baš toliki, da ga motor potroši, da svlada otpore trenja.

Radnja, što ju motor zaista daje u svakoj sekundi, njegov „učinak“ (Effekt, Leistung) zavisi dakle od triju faktora: 1. od napetosti struje u njegovim stezaljkama, 2. od jakosti struje i 3. od broja okreta kotve u sekundi (od broja tourā). Želimo li, da nam izvršuje svagda istu radnju, treba da bude umnožak tih triju faktora svagda jednak; trebamo li veću radnju, treba da taj umnožak raste i obrnuto. Mjera je za njegovu radnju u svakoj sekundi (za njegov učinak): učinak (efekt) = elektromotorna protusila $\times$ jakost struje. Kako je protusila na početku, kad se kotva pokrene, gotovo jednaka nuli, bit će i učinak gotovo jednak nuli, motor slaboradi; no i u drugom krajnjem slučaju, kad bude protusila najveća (na pr. 100 volta), bit će učinak motora slab, jer je sada jakost struje gotovo jednaka nuli. Za praksu treba da dosegne protusila neku srednju vrijednost, a ta je baš polovina od napetosti elektricitete u centrali (u našem primjeru = 55 volta). U tom će slučaju motor najbolje

raditi t. j. davat će najviše radnje u svakoj sekundi. No sada nam se javlja nova neprilika!

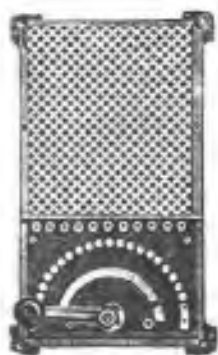
U motoru neka bude otpor od 1 ohma; napetost je srednja ($110 - 55$) = 55 volta; dakle je jakost struje = $55/1 = 55$ ampera. Tako jaka struja ugrijala bi žice na kotvi i poljskom magnetu toliko, da bi ih za čas pokvarila ili čak uništila! Da se tomu uklonimo, pustit ćemo kotvu, da se vrti mnogo većom brzinom, nego što bi trebalo za najveći njezin učinak. Time se budi tolika protusila, da ne stradaju žice. No o čem zavisi ta velika brzina, kojom će se vrtjeti elektromotor? Očito o jakosti magnetičkoga polja njegovoga: što slabije polje, to će se većom brzinom moći vrtjeti kotva. Kako ćeš dakle udesiti stvar, kada hoćeš, da ti se kotva brže vrti i da napokon postigne svoju najveću elektromotornu protusilu? Umanjit ćeš jakost magnetičkoga polja. — Dakle: što se više oslabi magnetično polje, to se brže vrti kotva na motoru.

4. Glavni oblici elektromotora za jednaku struju. Znamo, da se dinami žicom namataju na tri načina: dinamo s glavnim priključkom (namatanje u seriji), „dinamo sa sporednim priključkom“ ili „shunt-dinamo“ (paralelno namatanje) i „dinamo s pomiješanim priključkom ili compound-dinamo (isp. str. 151 do 153. i slike 44, 45 i 46). Kako se motori u konstrukciji ni u čem ne razlikuju od generatora struja, imat ćemo i tri vrste elektromotora za jednaku struju. No treća se vrst (compound-motori) gotovo nigdje ne upotrebljava, pak ćemo samo nešto istaći o „motoru s glavnim priključkom“ i „motoru sa sporednim priključkom“.

a) Motor s glavnim priključkom. Na izvor elektricitete (na pr. gradska centralu), koji daje jednaku struju stalne napetosti na pr. od 110 volta priključimo dinamo, motan u seriji, t. j. dinamo, u kojem svagda ista struja teče kroz kotvu i kroz poljski magnet. Pustimo li sada struju iz izvora u kotvu motora, u prvom će času kotvom i magnetom poletjeti struja velike jakosti (jer je elektromotorna protusila još malena, a i otpor je u motoru neznatan), kotva će se zavrtjeti veoma velikom silom, energija je kotve veoma velika. To nam pak dobro dolazi u praksi, kada godj

treba pokrenuti velike mase na pr. električnu željeznicu. Ali to je i neprimljiva, jer struja u prvim časovima znade biti i prejak, pak stradavaju žice na kotvi i magnetu od vrućine. Po radi toga ne puštamo odmah na jedanput struju izvora p u n o m jakošću u kotvu, nego malo po malo t. j. u tečaj struje uklopimo dosta velik otpor tankih žica; dajemo mu ime „p o g o n s k i o t p o r“ (= Anlasswiderstand). On najprije struju oslabi; tek kada se kotva počne vrtjeti i tim izvodi svoju protusilu, taj se otpor sve više umanjuje i napokon posve isključiti, te motor ostane sam u tečaju struje. Taki „p o g o n s k i o t p o r“ pokazuje sl. 62. S pomoću ručice na polugu možeš ili svu žicu, razapetu u okviru, ili jedan dio nje uklopiti u tečaj struje, a možeš i svu izlučiti, ako polugu okreneš do drugoga kraja.

Uzmimo sada, da motor mora izvršivati veliku mehaničnu radnju, da je jako „o p t e r e ć e n“, kako vele elektrotehničari. Posljedica je, da će se kotva p o l a g a n i j e vrtjeti, izvoditi će manju protusilu, a jakost će struje u kotvi i u omotu poljskoga magneta naglo rasti: što jača struja u kotvi, to s p o r i j a vrtnja kotve i obrnuto: kada kotva izvršuje malu radnju, ona leti brže. To je neprimljiva u ovom motoru: broj n j e g o v i h o k r e t a u sekundi (broj toura) ne ostaje



Sl. 62. Pogonski otpor.

s v a g d a j e d n a k. Kod mnogih mehaničnih radnja pak treba, da motor posve jednoliko leti. Kod drugih je opet baš dobro, da motor ide čas brže čas sporije. To je na pr. baš kod električnih željeznica, pak se kod njih zaista upotrebljavaju ovaki motori s glavnim priključkom. Ide li takva željeznica p o o š t r o m z a v o j u ili na usponu, motor je jače opterećen, struja u kotvi i oko magneta u jakosti svojoj p o r a s t e, kotva ide sama od sebe p o l a g a n i j e, a poradi toga i željeznica, dok je na zavoju ili usponu; a tako i treba da bude, jer bi inače mogla iskočiti. Obrnuto: na ravnoj cesti motor je manje opterećen, u kotvi i oko magneta struja je s l a b i j a, kotva se b r ž e vrti i željeznica sama od sebe

brže ide, a to i smije i treba da bude na ravnoj cesti. No ako takav motor nije ništa opterećen t. j. ako prazan leti, eto nove neprilike! Struja u kotvi i magnetsko polje oslabe posve, kotva će se tolikom brzinom vrtjeti, da će motor — „uteći“, a pri tom može kotva stradati.

Razbiramo dakle, da je motor s glavnim priključkom kao stvoren pogon za električne željeznice i uopće za radnje, gdje nije nužno, da se motor neprestano vrti posve jednoliko.

Hoćemo li da smjer vrtnje obrnemo, da željeznica na pr. ide natrag, obrnut ćemo smjer struje ili *samo* u kotvi ili *samo* u poljskom magnetu.

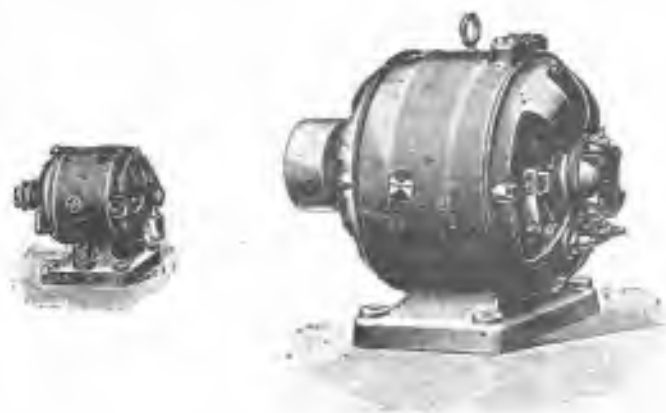
b) Motor sa sporednim priključkom. Ovdje se struja iz izvora razdvaja: jedan dio teče u kotvu motora, a drugi oko „poljskoga magneta“ (isp. sl. 45.). No kako je otpor u kotvi spram otpora poljskoga magneta gotovo do iščezavanja malen, teći će gotovo sva struja kroz kotvu, a gotovo ništa ili veoma malo oko poljskoga magneta: magnetsko je polje slabo. Posljedica je, da se kotva možda uopće neće ni krenuti sa svoga mjesta, ako je jako opterećena. Ako je pak veoma malo ili ništa opterećena, krenut će se. Iz toga izlaze velike razlike između ovoga i predjašnjega pogona: 1. Jakost magnetskoga polja bit će svagda ojednaka, jer iz izvora teče svagda isti dio struje u omote poljskih magnetâ i 2. da se ovaj motor krene, treba da ne bude s početka ništa ili veoma malo opterećen t. j. on treba da s početka leti prazan, a tek kasnije se objese na nj radni strojevi. U tom on dakle zaostaje iza predjašnjega motora.

Želimo li, da se i opterećen velikom silom krene, morat ćemo nastojati, da mu ojačamo magnetsko polje, a to možemo tek time postići, da prisilimo znatno veći dio struje iz izvora, da ne teče u kotvu, nego u omote oko poljskoga magneta. To pak ne dostigismo drukčije, nego da pred kotvu u tečaj struje opet uklopimo „pogonski otpor“, koji će otpor kotve znatno uvećati i tim prisiliti nešto veći dio struje iz izvora, da teče oko poljskoga magneta, pak da pojača njegovo polje. Ovo će jako polje trgnuti kotvu snažno iz mirovanja, a kad se je jednoč krenula, možemo opet otpor pomalo izluči-

vati i napokon posve izlučiti, pak time jakost magnetskoga polja opet svesti na predjašnju mjeru.

No pored ove mane odlikuje se ovaj motor spram predjašnjega i veoma dragocjenim svojstvom: kotva se ovoga motora vrti svagda istom brzinom bio on više ili manje opterećen radnim strojevima. Promjene u opterećenju ne izvide gotovo nikakve promjene u broju okreta, a to je za mnoge mehanične radnje dragocjeno svojstvo.

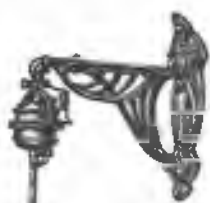
Kad se **naim**e kotva vrti u svom stalnom magnetskom polju, izvodi svoju elektromotornu protusilu, koja će



Sl. 63. Motori za mali obrt.

napokon dorasti g o t o v o do elektromotorne sile izvora (na pr. do 110 volta). Kako sada naperost struje, broj zavoja na kotvi i magnetsko polje ostaju gotovo posve nepromijenjeni, mora i broj okreta ostati gotovo posve jednak, bio motor makar kako opterećen izvanjom radnjom: što veću radnju on izvršuje, to jača struja kroza nj teče; što manju radnju izvršuje, to slabija struja u njem teče. To je svojstvo njegovo i s druge strane strane zlata vrijedno: on iz izvora elektricitete sebi svagda uzima tek toliko energije, koliko je baš treba, da izvrši svoju radnju. Ako izvršuje polovinu radnje u svakoj sekundi, on si uzima iz izvora i polovinu električne energije. Trošilac

pak plaća centrali samo toliko energije, koliko je on uzme iz izvora. To osobito dobro dolazi malomu obrtniku, koji još ni s daleka ne zna pravo cijeniti vrijednost ovih električnih motora. On još uvijek rado radi snagom svojih mišića, dakle svojim strojem. Čovjekovo je tijelo doduše divan stroj, no s tehničke mu strane ima dva velika prigovora: 1. stupanj je njegova djelovanja veoma malen t. j. od uložene u nj radnje, on korisno daje tek razinjerno malen postotak i 2. da



Sl. 64.
Motor zubara.

sveudilj može raditi, treba veoma skup materijal loženja t. j. skupo hranjenje. Evo primjera: pilai, ako marljivo radi, izvrši u jednom radnom danu od prilike 275.000 kilogrammetara radnje (= 1 sat konjske snage) i zasluži recimo 4 krune. No ako on tu energiju uzme iz centrale gradske s pomoću elektromotora, koji mu tjera „kružnu pilu“, ta ga energija od 1 konjskoga sata ne stoji više, nego 50 filira, a isti je posao gotov za po sata!

Kako s pomoću ovdje opisanoga motora sa sporednim priključkom obrtnik samo toliko energije iz izvora uzima, koliko radnje izvršuje, pa prema tomu samo toliko i plaća, kako nadalje ovaj motor ima dragocjeno svojstvo, da se svagda gotovo posve jednoliko vrti, pak da poradi toga nikada ne može da „uteče“, ima obrtnik u ovom motoru prekrasnu naknadu za snagu svojih mišića.

O velikoj industriji ne treba ni govoriti: ona već danas u punoj mjeri iscrpljuje ovaj divni dar moderne fizike.

Sl. 63. pokazuje nam dva pogona (motora) sa sporednim priključkom (shunt-motori) za malen učinak (efekt) od $\frac{1}{100}$ konjske snage i $\frac{1}{2}$ konjske snage u obliku, u kakovu ih obično izvode tvornice za mali obrt. Kotva je zatvorena u omotu, da se bolje čuva od onečišćivanja. Oni se spajaju različnim načinom sa radnim strojem. Ili se motor namjesti izravno na osovinu radnoga stroja, ili se gibanje motora prenosi kolesjem na radni stroj ili se napokon — a to je najobičnije — s pomoću remena spoji motor s radnim strojem. Zubari upotrebljavaju često takve motore, da im se brzo vrte

mali svrdli, koje treba u najrazličnijim položajima upotrebljavati. U tom se slučaju osovinu motora spoji s vretenom, koje se lako savija (sl. 64.). Odkada se sve više grade „električne centrale“, u prvom redu da daju električnu rasvjetu, i manji se gradovi zamrežuju žicama, koje iz centrale t. j. iz tvornice jako napete električne struje — nekoliko tisuća volta! — vode električnu energiju na sve strane, pa i u najskromniju kolibu maloga obrtnika.

Što je zapravo takva „električna centrala“, bit će mojim čitateljima i bez posebnoga razjašnjivanja sada jasno, a kasnije će se o njoj još govoriti. U njoj su dva bitna dijela: 1. veliki dinamo i 2. pogon za taj dinamo. Dinamo za jednaku struju poznajemo u tančine, a pogoni za nje su redovno veliki parostroji, stalno uzidani u posebnoj prostoriji tvornice. Zamašnjak je parostroja, kojega hrani „crni dijamant“ — ugljen —, s pomoću remena sastavljen s osovinom kotve na dinamou. Kad parostroj punom parom radi, kotva se dinamou vrti odredjenim brojem toura u minuti, a iz stezaljaka dinamou izlazi u izvanji krug — u mrežu — električna struja odredjene napetosti (napetosti do mnogo tisuća volta!). Iz toga svoga izvora razdijeljuje se struja u nebrojene žice mreže po čitavom gradu i teče u njima poput krvi u tijelu, koja se razgranjuje iz srca na sve strane u nebrojenim žilama. Jedan par takih žilica dovodi električnu energiju i u mali električni pogon (elektromotor) krojača, stolara, kovača, da se struja u njem s mjesta pretvori u mehaničnu energiju, koja mu tjera njegove radne strojeve.

U velikim je tvornicama dosta dugo bilo nepovjerenja spram ovih električnih pogona. A ipak kolika razlika između „stare“ i „nove“ tvornice! Pohodimo najprije staru. U „kućici za strojeve“ stoji stalno uzidan veliki parostroj, koji iz ugljena uzima energiju, koju će davati na različne strane u tvornici. Njegova se energija očituje u vrtnji teškoga „kola zamašnjaka“ (Schwungrad). Širok remen prenosi tu vrtnju na dugačko „željezno vreteno“, koje se vuče kroz čitavu prostoriju, u kojoj su radni strojevi tvornice („glavna transmisija“). Na tom vretenu svaki

čas vidiš malo kolo, s kojega manji remen prenosi vrtnju glavne transmisije na manja vretena radnih strojeva. S pomoću čitave mreže takih vretena i remena uzima si svaki radni stroj iz velikoga parostroja toliko energije, koliko je baš treba. Kolike li zbrke i buke, kad takva tvornica radi! No još je veći gubitak energije kod prenošenja remenjem poradi velikoga trenja, a prenošenje je samo veoma nezgodno i dosta opasno za radnike. Jedva ćeš polovinu radnje, što ju izvršuje parostroj, moći korisno upotrijebiti!

Pohodimo sada novovjeku tvornicu iste vrste! I u njoj ćeš redovno naći stari parostroj u posebnoj kućici. Bit će ipak danas već dosta slučajeva, gdje ni njega ne ćeš više vidjeti. Naknadjen je pogoničem druge vrste, na pr. plinskim motorom (rasvjetni plin) ili drugim upaljivim plinom (motor s usisanim plinom = Sauggasmotor), Diesellovim motorom, naftalinskim motorom i t. d., za koje se pokazalo, da istu mehaničnu radnju daju jeftinije. Ta se mehanična radnja parostroja ili turbine u novovjekoj tvornici ne prenosi na željezna vretena s pomoću remena, nego na velik dinamo, koji stalno stoji kraj svoga pogona. Radnja se pogona ovdje pretvara u silnu električnu struju. Nestalo je iz tvornice svih transmisija, svih vretena, svih kolesa za remene, svih remenâ i svih različnih spojeva između radnih strojeva i transmisija. Umjesto toga teku na zidovima sitne žice, gotovo nevidjene. One u jednu ruku hrane nužnom strujom električne lampe, koje sve prostorije jeftino i bajno rasvijetle, kada treba, a u drugu tjeraju i elektromotore, koji su na svakom radnom stroju napose namješteni i s njim stalno spojeni. Motor radi samo onda, kad radnik u nj pusti struju, dok se u staroj tvornici neprekidno vrti glavno vreteno, ili pak čitava transmisija tvornice mora ići, čim jedan stroj hoće da radi. No ovi motori kud i kamo bolje iscrpljuju radnju dinama. Električno prenošenje radnje u tvornici od prilike je za 20—30% jeftinije od prenošenja s pomoću vretenâ i remenâ (od „mehanične transmisije”). Osim toga je i prvi namještaj (instalacija) tvornice znatno jeftiniji.

Razumjet ćemo poradi toga, da se i stare tvornice danas redom elektriziraju t. j. kidaju vretena i remenja, a namještaju dinamo (generator), žice provodnice i elektromotore

Pogotovo se to preporuča, ako kod velikih tvornica treba radnje izvršivati u više odijeljenih razdaleko namještenih zgrada. Po starom se sustavu uz svaku zgradu morao namjestiti posebni izvor energije (posebni na pr. parostroj). Koliko li se tim posknjula prva inštalacija tvornice, a koliko li više trebalo ljudi, da služe oko tih parostroja! U modernoj je tvornici svagdje samo jedan veliki izvor energije (parostroj i t. d.). Jer je velik, njegov je učinak izvistan. On tjera samo jedan veliki dinamo, a ovaj daje svim zgradama tvornice nužnu svjetlost a preko električnih pogona (motora) nužnu silu za rad — a sve to preko razmjerno neznatnih žica (kabela)!

Svi su pak ti sjajni uspjesi tek prirodna posljedica toga, što se je naš dinamo dao tako savršeno upotrijebiti kao električni pogon (motor). Nije li opravdano nazvati dinamo — divnim izumom?

5. Električno prenošenje mehanične radnje (sile). Godine 1891. bila je u Frankfurtu na Majni „električna izložba“. U ovom članku opisani dinami i električni pogoni stajahu već u velikom broju u toj izložbi, da pokažu svijetu, kolikim se uspjehom s pomoću elektricitete mogu izvršivati mehanične radnje u najrazličnijim radnim strojevima. No konačni izvori tim radnjama bijahu ipak skupocjeni parostroji ili slični toplinski pogoni, namješteni nedaleko u posebnim kućicama. Kako bi drukčije lice i cijenu imala ta izložba, da je kraj Frankfurta bio obilan slap, pak da voda sama padajući u velika kolesa ili u čigre (turbine) ta kolesa nužnom brzinom okreće. Otpao bi ugljen i čitavi parostroj! Mehanična radnja vode prenosila bi se preko kolesa ili čigre na kotvu dinama i u njem bi se radjala poznatim nam načinom golema električna struja. Na dlanu je, kako bi nam bila baš zlata vrijedna energija, pohranjena u ovakovu slapu vode, koja se inače neupotrijebljena gubi u prirodi! No u Frankfurtu ne bijaše slapa. Tek 175 kilometara daleko od Frankfurta kraj Neckara je malen gradić Lauffen, a kraj njega se Neckar ruši širokim slapom. No taj je tek suvišak ustavljene vode. Iza njega stajahu na obali nove velike zgrade — tvornica cementa Lauffen. Raspolaže vodenom snagom od 1500 konjskih snaga t. j. u svakoj sekundi izvršuje

voda slapa radnju od 1500 konjskih snaga ili 112.500 kilogram-metara. Zamjerna radnja! U jednoj zgradi stoje silne čigre (turbine); u nje se ruši voda golemom snagom i okreće ih. Jedna takova čigra daje 300 konja radnje (300 HP) u svakoj sekundi!

Ne bi li se kako dala prenijeti ta golema mehanična radnja iz Lauffena u Frankfurt na izložbu, da ona mjesto parostroja tjera radne strojeve? To bijaše najvažnije pitanje na spomenutoj električnoj izložbi i poradi odgovora na nj postala je historička.

Općeno električno društvo u Berlinu u svezi s tvornicom strojeva Oerlikon u Zürichu izjavilo se spremno, da izvede pokus i posjetnicima izložbe prvi put pokaže, kako se mogu velike mehanične radnje *električnim* putem prenositi i u velike daljine, da tamo izvršuju radnje. Princip toga prenošenja čitatelju će sada već biti posve jasan. Čigra u Lauffenu okreće kotvu velikoga dinama (generatora), namještena kraj njega, i izvodi u njem jaku električnu struju. Ta se s pomoću žice dugačke 175 kilometara vodi u kotvu posve jednakoga ali mirnoga dinama, namještena u izložbi u Frankfurtu na Majni; kotva se velikom brzinom stane vrtjeti i može sada u izložbi da izvršuje najrazličnije radnje — drugi je dinamo ovdje pogon ili *elektromotor* za radne strojeve. Iz Frankfurta se dađe znak, čigra u Lauffenu počne prenositi svoje gibanje na veliki dinamo; čas kasnije zasja u izložbi 1500 žarnica, prosuviše po njoj more svjetlosti od 15.000 svijeća; drugi se dinamo (elektromotor) namješten u izložbi stane vrtjeti i prenosi radnju na sisaljku, koja vuče vodu nekih 6 metara visoko, a ta se ruši kao lijep slap u izložbi. No mogli bismo radnju još i dalje dijeliti: cio niz malih radionica mogao bi dobivati silu nužnu im za radne strojeve, koja na koncu konca potječe iz — Neckara!

Općeni je interes i u najširim krugovima inteligencije pratio ovaj prvi pokus prenošenja radnje s pomoću elektricitete u veliku daljinu od 175 kilometara, kao da je slutila, da se u tom pokusu nešto velika krije.

No kako je teoretično riješenje jednostavno, tako se u *praktičnom* izvodjenju te misli pokazuju velike poteškoće.

Dinamo u Lauffenu davao je struju određene napetosti. Ova teče kroz 175 kilometara žice i svladava na tom putu otpor, koji prvobitnu napetost to više troši, što je žica duža, pak će struja stići u Frankfurt preslabe napetosti. Da toga ne bude, trebalo bi uzeti debele žice, u kojima je otpor malen; no te su preskupe, da bi se prenošenje radnje uopće isplatilo. Nema dakle druge, nego u Lauffenu izvoditi u dinamo struje veoma velike napetosti, kako bi još u Frankfurtu bilo, nakon svladana otpora u razmjerno tankoj i dugoj žici, dosta napetosti struje, da može onaj drugi dinamo namješten u Frankfurtu, koji će djelovati kao električni pogon ili elektromotor, dovoljnom snagom tjerati. I urediše dinamo u Lauffenu za 27.000 volta napetosti a žicu provodnicu debelu 5 milimetara. Prenositi se dakle može u daljinu ekonomički samo struja „visoke napetosti”. No s tim su u svezi druge neprilike. Uzduh je najbolji izolator za elektricitetu no čim napetost predje neku granicu, probije iskra i kroz uzduh. Na pr.

napetost od	700 volta	daje iskre dugačke	0.1 mm
„ „	2.200	„ „ „ „	0.5 mm
„ „	4.000	„ „ „ „	1.0 mm
„ „	31.000	„ „ „ „	10.0 mm

Čim si je pako elektriciteta u kojem stroju ili krugu provodnicâ preko iskre načinila prijelaz ili most za struju, ostaje taj most. Taki bi most razorio stroj poradi električnoga plamenoga luka. Ne mogu se dakle dinami za jednaku struju graditi za prevelike napetosti, jer se medju sobom bliske žice ne dadu dosta izolirati, da medju njima ne bi planula iskra i stroj uništila. Preko 2000 volta napetosti ni u kojem se slučaju ne može ići. No moderna elektrotehnika treba za prenošenje mehanične radnje u sve veće daljine i sve veće napetosti: 20.000, 50.000 pače u najnovije se vrijeme kuša ići i do 100.000 volta. No budući da dinamo jednake struje poradi prije spomenutih razloga ne može da ide preko 2000 volta, izlazi, da je uporaba dinama s jednakom strujom kod električnoga prenošenja sile dosta ograničena: više od 2000 volta napetosti ne možeš njime prenositi. No gdje više ne treba, on je posve na mjestu. Ni

ovoj napetosti ne smijemo izvrgavati ni ljude ni životinje, jer je i ona već opasna za život. U kuće im ni tako napetih struja ne smijemo slati. Treba dakle tu jednaku struju visoke napetosti, što nam dolazi iz daleka pretvoriti u struju niske napetosti, koja je u jednu ruku dosta, da izvršuje namijenjenu joj radnju, a u drugu nepogibeljna životu. Treba dakle urediti postaju ili staciju, koja će struju visoke napetosti „natrag” ih „dolje” pretvoriti (natrag „transformirati”) u struju niske napetosti na pr. od 2000 volta na 100 volta ili 50 volta). To se daje kod jednake struje doista izvesti ovako. Struja visoke napetosti izlazi najprije u goleme elektromotore, koji su tako građeni, da im ona ne škodi. S njima su neposredno skupčani dinamni za jednaku struju, koji su opet tako građeni, da se u njima izvode nepogibeljne struje niske napetosti (tako zvani „pretvarači struje” ili „transformatori”). Tek struja ovih dinama teče u gradsku mrežu, da tamo daje svjetlost, a u tvornicama izvršuje najrazličnije radnje preko radnih strojeva.

Iz ove crtice razbirmo dvoje: s pomoću dinama s jednakom strujom mogu se u velike daljine prenositi tek struje umjerenih napetosti (do 2000 volta). Kad stignu na određeno mjesto, one se moraju s pomoću golemih elektromotora i drugih dinama transformirati u struje niske napetosti, a to uredjaj električne centrale znatno poskupljuje.

Elektrotehnika s tih razloga nije stala kod dinama s jednakom strujom do 2000 volta nego je smišljala nove načine, da dodje do struja napetih kud i kamo više, jer napetost mora da raste prema daljini, do koje treba radnju prenositi električnim putem. Za prenošenje iz jedne sobe u drugu dosta je napetost od nekoliko volta; za razdiobu energije u okrugu od nekoliko stotina metara na pr. u jednom gradu, dosta je napetost od 100—200 volta. Za električne vozove po cestama upotrebljavaju 500—600 volta. No ako treba nekoliko tisuća konjskih snaga prenositi nekoliko stotina kilometara daleko, upotrebljavaju napetosti i do 50.000 volta. U najnovije vrijeme na pr. postoji osnova čitavu Njemačku iz Bavarske hraniti elektricitetom. Tu će trebati i 100.000 volta i više.

Kako moderna elektrotehnika dolazi do struja tako visokih napetosti, bit će prilike drugom zgodom razložiti. Ovdje tek spominjemo, da se tim zadaćama nije pokazala doraslom struja iz dinama s jednako m strujom.

Još nam je upozoriti na jednu nepriliku kod električnoga prenošenja radnje. Struja se preko žica provodnica prenosi stotine kilometara daleko; žica se razapinje u uzduhu na drvenim stupovima, koji nose kapice od porculana (dobar izolator!), da se oko njih žica savija. Od Lauffena do Frankfurta bilo je 3000 takih stupčića uzduž nasipa željezničkoga. No porculan se orosi makar i tankom vrstom vodene pare, a ta vodi nešto elektricitete kod svakoga stupčića u zemlju. Makar da je gubitak kod svakoga stupčića veoma malen, kod njih mnogo tisuća postaje velik. Kako su struje još k tomu visoke napetosti, treba ih najvećom pomoćju izolirati. Našli su, da je za to najbolje ulje. I porculanske kapice imaju doista u unutrašnjosti svojoj ulja, da budu što bolje izolirane od stupčića („izolatori uljem“).

* * *

Usprkos ovdje opisanim neprilikama može i naša jednaka struja prenositi prirodnu mehaničnu radnju, na pr. kojega slapa, u dosta velike daljine, da se to prenošenje isplati. Ipak je jednaka struja naših ovdje opisanih dinama u tom poslu dosta nezgodna i uporaba razmjerno ograničena. No čovjekov um nije mirovao, dok nije izumio takvih strojeva za prenošenje mehanične radnje prirodnih izvora s pomoću elektricitete, da može s njihovom pomoću svladavati i najveće daljine. Bit će prilike u novoj knjizi „Novovjekih izuma“ govoriti i o tom krasnim strojevima i namještajima, koji su zvani da u skoroj budućnosti znatno preudese životne prilike kulturnoga čovjeka. U ovoj knjizi neka još nađe mjesta primjena jednake struje za „električna vozila“.

VII.

Električna vozila.

Uvod.

Gotovo u isto vrijeme, kad je slavni Stephenson sagradio svoju parnu lokomotivu „The Rocket”, koja je g. 1830. provezla prvi željeznički vlak između Liverpoola i Manchestera, pomišljalo se na to, da se i elektriciteta upotrijebi za pokretanje željeznica i brodova. Već g. 1835. konstruirali su Stratingh i Becker u Gröningenu prva električna kola. Iste godine gibao je Jacobi svojim elektromotorom na Nevi u Petrogradu maleni brodić sa brzinom od 2 i četvrt milje na sat. Godinu dana iza toga sagradio je Botton u Turinu i opet jednu vrst kolâ, koja je gibala elektriciteta. Godine 1842. izveden je na željezničkoj pruzi između Edinburgha i Glasgowa pokus s električnom lokomotivom od Davisona. Ta lokomotiva vozila je 6000 kilograma tereta s brzinom od 4 milje na sat! God. 1851. bio je pokus s lokomotivom od Page-a na pruzi između Washingtona i Bladensburga u Americi.

Svi ti — a i mnogi drugi pokusi — slabo su u početku uspijevali. Parne željeznice vanredno su se brzo raširile cijelim svijetom, dočim se električne željeznice tek danas počinju uvoditi. Uzrok je tomu bio već u prvo doba nezgodan način proizvodjenja elektricitete. Parna željeznica crpi svoju energiju iz kamenoga ugljena, dočim se sila, potrebna za gibanje prvih električnih vozila, proizvodila s pomoću galvanskih elemenata. Dakle se ta energija dobivala na vrlo nespretna a k tomu i skup način. Trebalo je tek izumiti strojeve, kojima će se elektriciteta jednostavnije i jeftinije i to u velikim množinama dati proizvoditi i otkriti sredstva, s pomoću kojih će se razvijena električna energija dati na velike udaljenosti zgodno prenositi. Danas možemo reći, da je tehnika oba ta pitanja

potpuno riješila, pak s toga se elektriciteta sada s uspjehom upotrebljava za gibanje svih mogućih vozila, tako da je ona i na tom polju ozbiljni suparnik vodenoj pari. Razvitak električnih tramvaja, automobila, željeznica itd. napreduje tako orijaškim koracima, da nije nemoguće, da će svršetak ovoga vijeka osvanuti bez parnih vozila, koja su toliku korist razvitku ljudske kulture donijela.

Nema dakle sumnje, da će svakoga obrazovanog čovjeka zanimati, da upozna razne vrste modernih vozila, koja pokreće elektricitet; poradi toga ćemo ih u slijedećim redcima opće razumljivo opisati.



Sl. 65. Prvi električni tramvaj na obrtničkoj izložbi u Berlinu 1879.

Električni tramvaj.

Prvi električni tramvaj namjestila je na obrtničkoj izložbi u Berlinu g. 1879. firma Siemens i Halske. Bio je taj „tramvaj“ vanredno primitivan, ali uza sve to ga je općinstvo na izložbi zavelo, jer je bio novotarija, te je već kao takova ljude zanimala, a osim toga se ovdje prvi put pokazalo, da je doista moguće elektricitetu za gibanje kola u praksi upotrijebiti. Tračnice, na kojima se ta „električna željeznica“ — kako ju je firma nazvala — gibala, imale su oblik zatvorene krivulje, a bile su u svemu samo 300 metara duge.

Poslije toga izveden je sličan tramvaj na izložbi u Frankfurtu na Majni. Tračnice 250 m duge spajale su ovdje gradski

kolodvor sa izložbenim prostorom. God. 1880. načinio je i Egger na obrtničkoj izložbi u Beču ovakov električni tramvaj.

U svim tim slučajevima bio je električni tramvaj privremeno namješten i služio samo u svrhu, u koju se u opće izložbe priređuju.

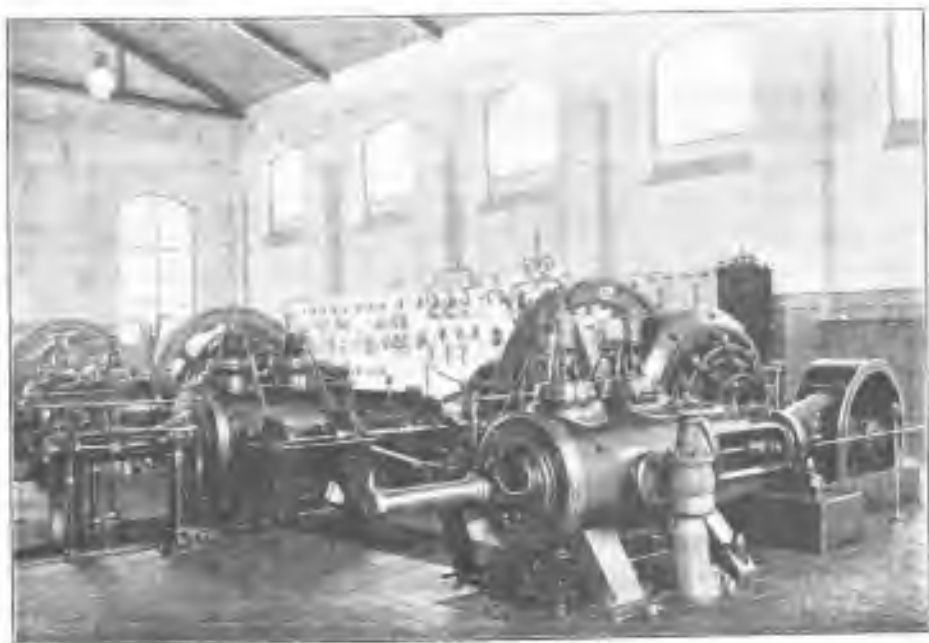
Za trajni promet izveden je prvi puta tramvaj g. 1881. u Lichterfeldu i to od firme Siemens i Halske. Pruga je to, koja još i danas spaja kolodvor u tom mjestu s kadetskom školom, a duga je 2 i pol kilometra.

Od onoga vremena pak do danas vrlo su se raširili električni tramvaji i istisnuli su gotovo po svuda t. zv. konjske tramvaje. A nije ni čudo. Danas je svaki časak radinomu čovjeku dragocjen, a konjski tramvaj uz najbolju upravu ne može da stanovništvu velikih gradova dađe onu prometnu brzinu, koja se od takova vozila mora očekivati. Osim toga je električna energija jeftinija od konjske. Kod električnoga tramvaja može se vrlo lako upotrijebiti sad veća sad manja množina energije, već prema potrebi, dok je to kod konjskoga tramvaja mnogo teže. Kad na pr. tramvajska kola uz bido idu, mora se pred kola više konja upreći, nego li kad tramvaj ide po ravnici. Električni tramvaj može daleko većom brzinom ići, nego li konjski. Kola električnoga tramvaja mogu biti dulja, nego li kola konjskoga tramvaja, jer kod električnoga tramvaja otpada duljina konja. Uz motorska kola električnoga tramvaja lako se dađe više drugih kola prikopčati, ako to treba za promet itd.

Sve su to prednosti, koje su razlogom, da u gradovima sve više nestaje konjskoga tramvaja, a mjesto njega se uvodi električni. Godine 1900. iznosila je samo u združnim državama sjeverne Amerike duljina svih pruga električnoga tramvaja do 25.000 kilometara, a broj vagona oko 40.000. Električni tramvaj raširio se već u sve krajeve svijeta. Čak i u konzervativnoj Kini, koja je tako teško pristupna novotarijama, uveden je prvi električni tramvaj g. 1899. u Pekingu. U našoj domovini upravo se evo sada gradi električni tramvaj i to u bijelom Zagrebu. Tako će to biti prvo mjesto u Hrvatskoj i Slavoniji, koje dobiva skroz moderno gradsko vozilo. Time će u našoj prijestolnici nestati primitivnoga konjskoga tramvaja, a zamijeniti će ga električni, koji će prema današnjemu

razvitku grada i sa praktičnoga i sa estetskoga gledišta daleko bolje odgovarati prometnim potrebama, nego li dosadnji.

Za izvedbu električnoga tramvaja nužno je s tehničke strane troje: 1. zgrada, u kojoj se električna energija, potrebna za gibanje tramvaja, proizvodi t. zv. električna centrala, 2. žirovod, kojim se proizvedena elektriciteta dovodi tramvajskim kolima i šinje, na kojima se kola gibaju,



Sl. 66. Strojara u Szt.-Išrinču.

a 3. motorska kola, u kojima je elektromotor, koji pokreće tramvaj.

Električna centrala. Kod gradnje električne centrale mora graditelj osobiti obzir uzeti na svrhu, kojoj je zgrada namijenjena. Danas već imade u tom toliko iskustva, da se te zgrade čadju onako sagrađiti, kako sa svake strane zadovoljavaju potrebama.¹ U toj se zgradi nalaze obično ove pro-

¹ Vidi o tom moju raspravu „Električna centrala u Zemunu“, Zagreb 1902. Izdalo društvo inženira i arhitekta u Hrvatskoj i Slavoniji.

storije: strojara, kotlovnica, radionica, sobe za električna mjerenja, spremište za ugljen, pisarnički ured itd.

Priložena slika 66. predočuje nam strojaru električne centrale u Szt-Lörinczu kraj Budimpešte. U toj se proizvodi električna energija za tramvaj Budimpešta—Szt. Lorincz. Kako se iz slike razbira, smještene su tu tri garniture strojeva. Svaka od tih garnitura sastavljena je od parnoga stroja, koji je direktno spojen sa dinamo električnim strojem, koji proizvodi struju istoga smjera.¹ Svaki od ovih električnih strojeva kadar je proizvoditi 150 kilowatta (KW) ili oko 200 konjskih sila (HP) energije u jednoj sekundi. Napetost proizvedene struje iznosi 500 Volta (V). Ta se napetost obično upotrebljava kod tramvaja, koje pokreće struja istoga smjera. U svrhe tramvajske služi ovdje samo jedna garnitura strojeva, druga je namijenjena električnoj rasvjeti, a treća je zajednička rezerva. Parni strojevi su compound-strojevi s kondenzacijom, svaki sa 225 HP efekta.

Struja, koju ti strojevi razvijaju, ide izvrsno izoliranim žicama ispod poda strojare do uklopnice.² Ta uklopnica ukusno je izvedena, željezne je konstrukcije na velikim mramornim pločama. Na njoj se nalaze svi potrebni uklopci³ i razklopci⁴ za struju, razni aparati za mjerenje jakosti struje (ampermetri), napetosti struje (voltmetri), potroška struje (wattmetri) itd. Podij, na kom je uklopnica smještena, izoliran je od zemlje i uzdignut nad pod strojare, kako bi se s njega mogla lakše čitava pregledati.

Osim struje istoga smjera, kakova se u ovoj električnoj centrali proizvodi, rabi se u tramvajske svrhe izmjenična struja⁵ i zakretna struja.⁶ Kako ali redovno sve vrsti struja, koje se rabe u tramvajske svrhe, imaju veliku napetost, to valja dobro paziti, da se ne taknemo onih predmeta, kojima te struje idu, jer su one vrlo opasne. Dogodilo se naime često puta, da su ljudi od tih struja pače i životom stradali.

¹ Gleichstrom, courant continu

² Schalttafel, tableau de distribution.

³ Einschalter, interrupteur.

⁴ Ausschalter, interrupteur.

⁵ Wechselstrom, courant alternatif.

⁶ Drehstrom, courant tournant.

Vodena para, potrebna za gibanje parnih strojeva, razvija se u kotlovnici, gdje su smješteni parni kotlovi. U električnoj centrali u Szt-Lörinczu nalaze se tri kotla sa cijevima.¹ Svaki od tih kotlova ima 164 m² gorive površine, a proizvodi paru od 10 atmosfera napetosti.

U radionicama, koje se redovno nalaze uz električne centrale, obavljaju se eventualni manji popravci strojeva i pripadajućih im dijelova. Veći se dakako popravci ovdje ne mogu izvoditi radi pomanjkanja potrebitih tehničkih pomagala, nego ih u pravilu izvođe tvornice, koje su dotične strojeve gradile.

Soba za električna mjerenja služi za obavljanje jednostavnijih električnih mjerenja, u koliko su ta potrebna za sigurno i racionalno funkcioniranje cijeloga uređaja.

Spremište za ugljen, pisarnički bureau itd. ostale su svakoj električnoj centrali potrebite prostorije.

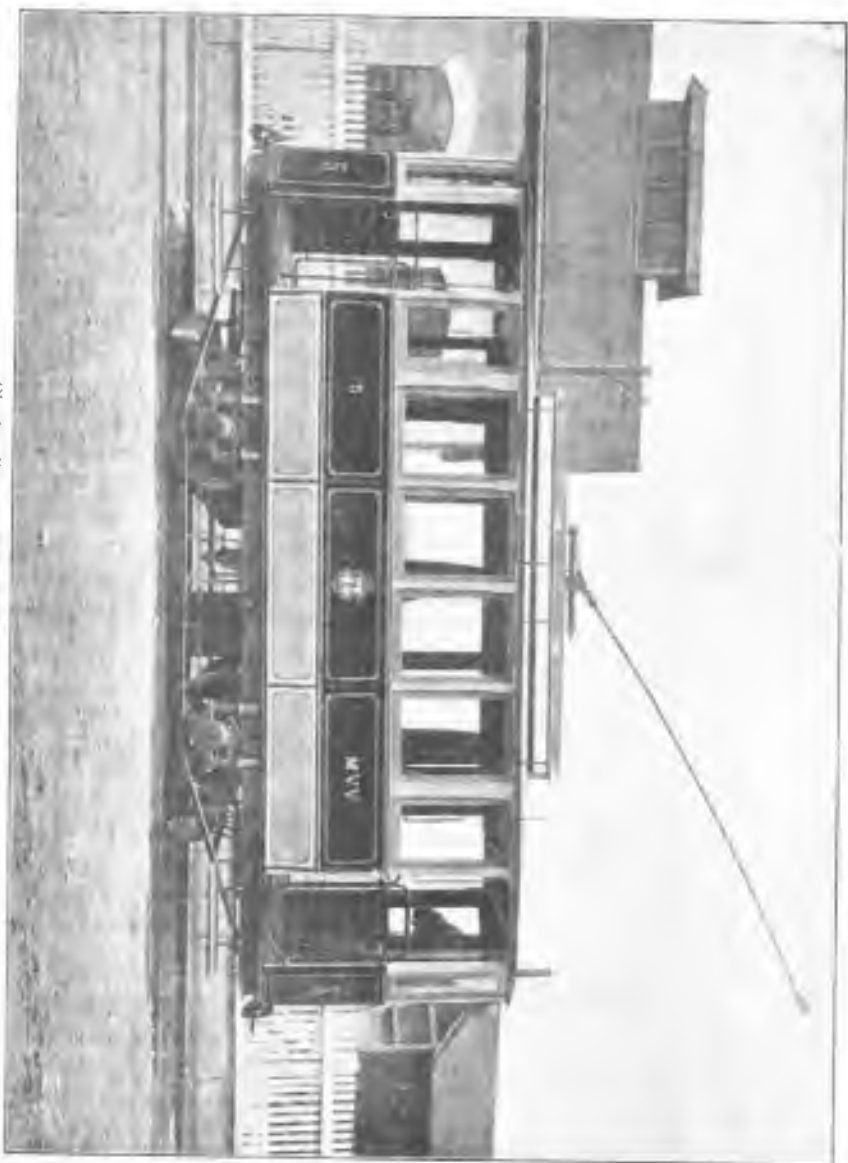
U ovakovoj električnoj centrali, kakova je sada u glavnom opisana, razvija se elektriciteta pomoću vodene pare. To je doduše danas još najobičniji način proizvodbe električne energije u veliko, ali i najskuplji, jer za proizvodbu vodene pare treba kamenoga ugljena, a taj je skup te mu cijena svakim danom raste. Daleko jeftinije daje se električna energija proizvoditi, ako nam električne generatore pokreću turbine, koje tjeraju prirodni vodopadi. Ovakova centrala zove se tada hidroelektrična centrala, a mi ćemo jednu takovu poslije, kad bude govora o električnim željeznicama, protumačiti.

Ž i c o v o d. Da možemo u električnoj centrali proizvedenu energiju dovesti tramvajskim kolima, koja se udaljeno od centrale negdje na prugi nalaze, moramo imati vod,² koji je od metala. U tu svrhu imamo danas više tramvajskih sistema, i to: 1. sistem sa nadzemnim ili zračnim vodom, 2. sistem sa podzemnim vodom, 3. elektromagnetički sistem i 4. sistem sa akumulatorima.

Najčešći način dovoda električne struje tramvajskim kolima je pomoću nadzemnoga ili zračnoga žicovoda. Ovdje je počam od električne centrale duž tramvajskih tračnica dosta visoko nad cestom ili ulicom napeta debela bakrena žica, kojom

¹ Röhrenkessel, chaudière tubulaire.

² Leitung, conducteur.



Sl. 67. Tramvajska kola sa trolleyem.

struja iz električne centrale dolazi u motorska kola (slika 67.). Ta je žica obično učvršćena na posebnim stupovima, koji su od drva ili željeza. Da struja iz te žice ne bi preko takovoga stupa otišla bezkorisno u zemlju, providjeni su ti stupovi poput telegrafskih sa izolatorima od porculana, na koje se žica učvrsti. Sa te žice prelazi električna struja na dva načina u motorska kola ili t. zv. trolleyem ili pomoću lire.

Trolley je prilično duga obično od ocjelne cijevi načinjena motka, koja je donjim svojim krajem učvršćena na motorskim kolima. Gornji njezin kraj providjen je sa metalnim koloturom, koji tečajem vožnje skliže po žicovodu. Ta je motka koso namještena, a podržaje ju u njezinom položaju jako metalno elastično pero, kojemu je zadaća, da tolikom silom pritišće kolotur na bakrenu žicu, kolika je potrebna, da bude dodir između kolotura i žicovoda dovoljan.

Ovaj način dovoda struje sa bakrene žice u motorska kola najobičniji je. Mana mu je jedino ta, da se događa, pošto dodirna ploha između bakrene žice i kolotura nije velika, da trolley kojiputa i to osobito tamo, gdje tramvajske tračnice zavijaju, sklizne sa žice. Pošto tada više nema kontakta, ne može struja sa žice u tramvaj i kola u ravnici moraju naskoro stati. Tad treba da netko od personala, koji prati tramvajska kola, pomoću u tu svrhu namještenoga užeta namjesti trolley u prijašnji položaj.

Da se izbjegne skliznuće trolleya sa glavne žice, rabi se češće mjesto njega debela u obliku lire savinuta žica (slika 68.). Pošto je ta lira svojom bazom u kontaktu sa žicom, to u ovom slučaju duljina kontaktne površine onemogućuje skliznuće lire sa žice. Skliznuće bo trolleya sa glavne žice moglo bi kojiputa biti od nezgodnih posljedica za tramvajska kola. Osobito kad se tramvaj spušta niz brdo. U tom bi slučaju tramvajska kola, kad bi se struja prekinula, usljed ustrajnosti pojurila niz brdo, kad ih ne bi s mjesta upravljač kola čvrsto bremzovao. Osim toga uporaba lire kod tramvaja omogućuje i to, da žicovod, kojim struja dolazi motorskim kolima, ne mora tako strogo slijediti zavoje tračnica.

Struja, koja je sa glavne žice preko trolleya ili lire došla u motorska kola, treba da se šinjama vrati natrag u električnu

centralu. Pošto dakle kod ovoga načina šinje imaju zadaću, da odvedu struju u centralu, to treba, da je između njihovih sastavnih dijelova dobar kontakt. U tu svrhu spajaju se na razne načine pojedini komadi šinja boljšega dodira radi pomoću bakra. Moglo bi se misliti, da to nije nužno, kad su šinje od željeza, a i onako željeznim dijelovima međusobom učvršćene; pogotovo pak zato, što šinje leže na zemlji, dakle dobrom vodiću struje. Nu tomu nije tako. Kad šinje na mjestima prekida ne bi posebnim baš u tu svrhu odabranim načinom bile vrlo dobro spojene, tad bi se napetost struje u vodnoj mreži više

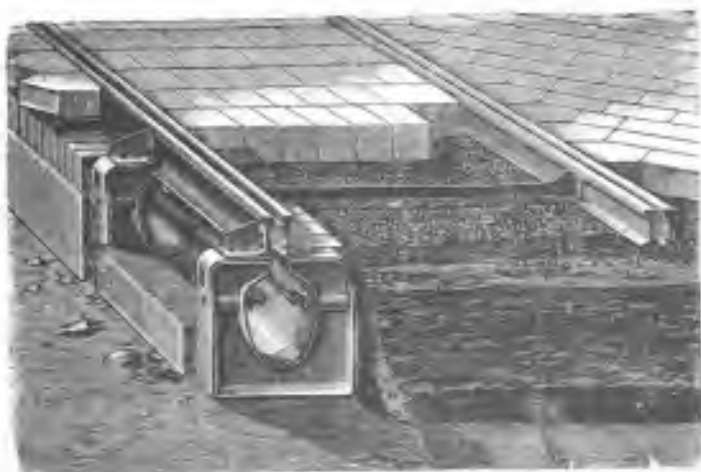


Sl. 68. Tramvajska kola sa lirom.

umanjila, nego li što je dozvoljeno. Usljed lošega kontakta pojedinih komada šinja silno raste otpor, koji tračnice stavljaju prolazu struje. Ovo pak povećanje otpora prouzrokuje padanje napetosti struje, koja nepovoljno djeluje na elekt tramvajskih motora.

Još je jedna neugodna posljedica, koja nastaje, ako šinje kod električnoga tramvaja nisu međusobom dobro spojene, a to su t. z. vaganbundirajuće struje. Kako bo struja uvijek onim putem nastoji ići, koji joj stavlja najmanji otpor, to će ona — u slučaju, da šinje nisu međusobom dobro spojene — skrenuti na tim mjestima u zemlju i tada će kojekuda se skita-

jući vraćati se u električnu centralu. Ovakova struja zove se vaganbundirajuća struja. Te su pak struje ne samo štetne zato, što se njima umanjuje efekt centrale, nego imaju još i inače loša svojstva. One ulaze u telefonske vodove i tu prouzrokuju, da se u telefonu govor nejasno čuje i osim toga čine koje-kakovih nepravilnosti u samoj telefonskoj centrali. Usljed svojih magnetskih svojstava smetaju te struje znanstvenim istraživanjima u fizikalnim laboratorijima, magnetskim opservatorijima itd. Konačno mogu vaganbundirajuće struje silno štetne biti po razne kabele, metalne cijevi itd., što se nalaze pod



Sl. 69. Presjek šinja kod električnoga tramvaja s podzemnim sistemom u Budimpešti.

zemljom. Na njima one proizvode elektrolitičke učinke, usljed kojih bi se ti predmeti vremenom tako istrošili, da u opće za porabu ne bi bili.

Iz svega se toga razabire, kako je važno, da budu šinje električnoga tramvaja izvršno međusobno spojene.

Drugi način, kojim se struja dovodi tramvajskim kolima, jest sistem sa podzemnim vodom. Ovako je izvela električni tramvaj u Budimpešti firma Siemens & Halske. Kod ovoga uređaja jedna je od tramvajskih šinja rasejčepana, a duž cijele njezine duljine nalazi se pod njom jedan kanal (sl. 69.). Procijep je taj kod budimpeštanskoga tramvaja širok je 33 milimetra, a

služi u tu svrhu, da se krozanj može pomicati neka vrst sklizaljke, koja je stalno na motorskim kolima učvršćena i s njima se zajedno giblje.

U tom kanalu smještena su dva usporedna voda, načinjena od debelih željeznih motaka, koje su medju sobom dobro izolirane. Jednim od tih vodova dolazi električna struja iz centrale, a drugim se opet vraća natrag u nju. Sklizaljka sama sastoji iz dva jaka metalna pera, medju kojima je jedna dobro izolirajuća ploča. Jedno od ovih metalnih pera u savezu je gore sa jednim polom elektromotora, a dolje u kanalu sa jednom željeznom motkom. Tim metalnim perom dolazi struja u tramvajska kola. Pošto je pak drugo metalno pero u savezu sa drugim polom elektromotora odnosno dolje sa drugom željeznom motkom, to se ovim perom vraća struja natrag u električnu centralu.

Napetost struje, koja se tu rabi iznosi 300—600 V.

Kod ovoga podzemnoga sistema električnoga tramvaja nad tramvajskim tračnicama nema nikakvih žica.

Kod trećega t. z. elektromagnetičkoga sistema stvar je tako uređena, da motorska kola dobivaju potrebitu struju sa kontaktnih mjesta, koja su u nivaeu ulica izmedju tračnica smještena.

Zadnji pak sistem električnoga tramvaja, naime sistem sa akumulatorima, nema u opće nuz tramvajsku prugu nikakovoga žicovoda. Ovdje tramvajski elektromotor dobiva svoju struju iz akumulatorske baterije, koja je u samim kolima smještena. Ti se akumulatori moraju najprije nabiti sa električnom energijom, a kad su ovu tečajem vožnje iscrpili, onda se ponovno nabijaju ili u samoj centrali ili na pruži, gdje se već nalazi izvor energije.

Svaki od ova četiri načina, kojim se struja dovodi električnom tramvaju, ima svojih dobrih i loših strana. Najviše se danas u praksi upotrebljava sistem sa nadzemnim vodom i to zato, jer je najjeftiniji. Taj način ima ali i svojih mana. Jedna izmedju njih osobito dolazi u obzir u velikim gradovima, gdje ima mnogo tramvajskih pruga. Ne izgleda bo lijepo ona silna mnozina žica, koje su po ulicama razapete. Danas se i brzojavne i telefonske žice čim više podzemno ili nad krovovima kuća namjestaju, da ne kvare arhitektonski ukras velegradskih

ljepših ulica, što je i opravdano. Prema tomu ne bi zgorega bilo, kad se i tramvajske žice ne bi po ulicama vidjale.

Druga pak još i veća mana nadzemnoga sistema jest ne-prekidna fiziološka opasnost po ljude i životinje, koji se nalaze na ulicama, kojima prolazi taj nadzemni žicovod. Može se naime dogoditi, da glavna žica pukne i padne na zemlju. Ovakovom ali žicom prolazi struja visoke napetosti, koja je po život ljudi pogibeljna. Dotakne li se tko god takove žice direktno a kojiput je pače dovoljno i indirektno, može vrlo lako životom platiti. Ovakovih je slučajeva već dosta bilo.¹

Ovoj mani nastoji se kojiputa tako doskočiti, da se ta glavna žica providi takovim uredbama, koje u slučaju njezinoga prekinuća momentano automatski prekinu struju, koja dolazi iz centrale. Tada je naravno dodir sa takovom žicom, jer sada kroz nju nikakova struja ne ide, bez opasnosti. Ali te uredbe danas još ne funkcioniraju potpuno sigurno, pak se toga radi općenito ni ne upotrebljavaju, već se radije glavna žica uzimlje znatno deblja, nego li što je to prema elektrotehničkim zakonima potrebno. Usljed toga biva mogućnost manja, da se ona prekine.

Uza sve to ali još uvijek postoji fiziološka opasnost, ako i u drugom pogledu. Kako naime struja iz centrale glavnom žicom u motorska kola dolazi, a iz njih se šinjama u centralu vraća, to može lako nastati kratki spoj,² ako n. p. čovjek stane na tramvajsku šinju, pak se istodobno dotakne glavne žice. Ne može se doduše to dogoditi pješaku, jer bi pješak morao uzeti dosta dugu motku, da se žice dotakne, pošto je tramvajska žica nekoliko metara nad zemljom montirana. Kod konjanika ili ako se čovjek nalazi na visoko natovarenim kolima, mnogo je to lakše. Pak se već i desilo, da se konjanik noseći koplje dotaknuo tramvajske žice, pak je zajedno sa konjem ostao mrtav usljed električne struje.

Uzme li se ali u obzir velika prednost nadzemnoga tramvajskoga sistema, da je naime najjeftiniji, to se usprkos sada

¹ Vidi pobliže o tom moju raspravicu „Opasno djelovanje električnih struja na čovjeka i prva pomoć u slučaju nesreće“, Zagreb 1909. Knjižara Josip Sokol.

² Kurzschluss, court circuit.

istaknutim manama taj način najviše rabi. U manjim gradovima, recimo kakov je Zagreb, bio bi svaki drugi sistem znatno skuplji, pak bi se poduzeće radi razmjerno malenoga prometa teško rentiralo.

Podzemni način dovoda električne energije tramvaju, kakav je izveden u Budimpešti, nesumnjivo je sa tehničkoga gledišta najzgodniji. Taj nema nijedne od onih mana, koje ima nadzemni sistem. Kod njega nad zemljom nikakovih žica nema, prema tomu ne kvari se izvedbom toga sistema ljepota ulica a i fiziološka opasnost ne postoji, jer je postanak kratkoga spoja gotovo nemoguć, pošto su vodovi za struju podzemni i ljudima nepristupni. Važno je samo kod ovoga načina, da se pazi na to, da bude kanal, u kom su vodovi smješteni, uvijek čist. Ne smije se dakle u njemu nakupiti smeća sa ulice, vode ili snijega itd.; jer bi tada nastali direktni prelazi struje iz jednoga voda na drugi. Tim kratkim prelazima struje trošila bi se ona beskorisno, a moglo bi i nastati poremećenja u prometu. Medjutim kako dosadanje iskustvo u Budimpešti dokazuje, da se tomu uz trajnu pažnju doskočiti, tako da su prometna poremećenja tramvaja radi toga uzroka dosta rijetka.

Jedina mana, koju ta vrst električnoga tramvaja ima, jest ta, da su troškovi izvedbe i uzdržavanje takovoga uređjaja vrlo veliki. Usljed toga se podzemni sistem može upotrebiti samo u onakovim slučajevima, gdje se sa potpunom sigurnošću može računati na veliki promet.

Elektromagnetički sistem najredje se rabi, jer ne funkcionira sigurno. Jedina njegova dobra strana, naime ta da ne treba nadzemni žicovod, izčezava prema sada navedenoj njegovoj manji.

Zadnji pak tramvajski sistem, naime onaj pomoću akumulatora, zgodan je u toliko, što kod njega u opće ne treba nikakovoga žicovoda. Tramvaj si ovdje sâm vozi energiju potrebitu za pokretanje motora. Treba doduše akumulator nabijati, iza kako im je energija iscrpljena; nu to ne bi činilo ništa, kad ne bi dolazila u obzir neprimlik, da su današnji akumulatori od olova vrlo teški. Usljed toga se znatan dio sile troši ovdje na gibanje toga velikoga tereta. A osim toga je i konstrukcija današnjih akumulatora takova, da je manipula-



Sl. 70, Motorska i priključna tramvajska kola.

cija s njima dosta nezgodna, oni su osjetljivi, još uvijek dosta skupi a i trajnost im nije znatna.

Na taj su način doduše izvedene neke tramvajske pruge u Berlinu, Hamburgu, Bruselju, Parizu, Londonu, Beču itd.; ali ima slučajeva, gdje su društva, koja su sa velikim troškovima uredila električni tramvaj pomoću akumulatora, morala likvidirati i to upravo radi sada istaknutih mana samih akumulatora.

Motorska kola. Kod svakoga tramvajskoga uređaja imamo dvije vrste kola i to motorska kola i priključna tramvajska kola (sl. 70.). U motorskim kolima smješten je elektromotor, dakle ta se kola mogu sama gibati; dočim priključna



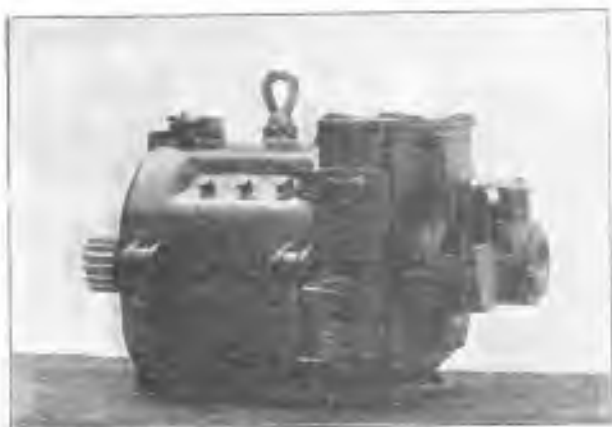
Sl. 71 Tramvajski motor rastavljen.

tramvajska kola nemaju elektromotora, te se ukopčana za motorska kola rabe samo tada, kad sama motorska kola ne mogu zadovoljiti prometnim potrebama. Tako nastaje mali tramvajski vlak.

Na motorskim kolima nalaze se u prvom redu elektromotori. To su naime strojevi, koji energiju električne struje, koja je iz centrale u njih došla, pretvaraju u mehaničku energiju, a ova pokreće tramvaj. Motor bo djelovanjem struje dolazi u brzu rotaciju, a ta se rotacija prenosi pomoću zubatih kolesa (sl. 71.) na kotače tramvajskih kola, koja time dolaze u gibanje. Obično se na svakim kolima nalaze dva elektromotora i to

ispod samih kola. Motori ti moraju biti potpuno zatvoreni (sl. 72.), da do njih ne može doći vlaga, ni blato i prašina sa ceste. Moraju ali ipak tako građeni biti, da se ako ustreba dadu brzo i lako otvoriti. Tramvajski motori udešeni su obično za 10—35 HP, već prema tomu kako su velika kola i koliko putnika treba da voze. Potrošak struje tih motora vrlo je različit. Kad n. p. tramvaj počne da ide, tad troši 5—10 puta više struje, nego li kad se giblje u ravnici. Kod uspinjanja tramvaja potrošak je struje i opet znatno veći, nego li kad se tramvaj spušta niz brdo.

Kao što kod svakoga vozila, tako je i kod motorskih kola vrlo važno, da mu se brzina gibanja¹ daje po volji regulirati.



Sl. 72 Tramvajski elektromotor sastavljen.

U tu svrhu namješteni su na kolima posebni regulatori t. zv. kontrolauri (sl. 73.). Kako su motorska kola redovno simetrično građena t. j. tako da upravljač kola može njima ravnati na jednom i drugom kraju kola, to se na svakim tramvajskim kolima nalaze dva kontrolaura. Ovaj aparat sastoji u glavnom od mnogo skupina raznih otpora, koji su iz metalnih u špirale zavnutih žica. Okretanjem posebne poluge, koja izilazi nad limeni ormar, u kom su ti otpori smješteni, može upravljač kola više ili manje tih špirala u strujin krug¹ uvrstiti odnosno iz njega izvrstiti. Usljed toga se jakost struje, koja ulazi u

¹ Stromkreis, circuit électrique.

elektromotor, mijenja. Ona biva veća ili manja, a prema tomu se mijenja i brzina okretanja samoga motora, odnosno motorskih kola.

U kontroleru smještena je još jedna posebna uredba, koja omogućuje, da se smjer struje ulazeće u motor, izvrati. Tako je moguće tramvajska kola naprijed ili natrag gibati.

Pesto je struja, kojom se tramvaj giblje, redovno opasna po život ljudski, to su svi vodovi, koji su u motorskim kolima, tako namješteni, da su općinstvu potpuno nepristupni.

Brzina, kojom se električni tramvaj giblje, znatna je; može da iznosi 20 a i više kilometara na sat. Ta je brzina po-

trebna u interesu čim savršenijega prometa. Nije ali tada čudo, da se u velegradovima kraj inače velikoga prometa ljudi i raznih vozila, događaju dosta često nesreće uslijed sudara sa tramvajem. Gotovo svaki dan možemo o takovim nezgodama u novinama čitati. Tako su n. pr. u Beču ti slučajji gotovo na dnevnom redu. Pošto su pak te nezgode često puta vrlo ozbiljne, te od njih stradaju ljudi koji puta i životom, to se odavna išlo za tim, da se barem broj njihov umanji, kad već ne će biti moguće, da ih sasvim nestane. Zato su konstruirana kojekakova sredstva, koja idu za tim, da učinak sudara ne bude



Sl. 73. Tramvajski kontroler.

velik. Tako je g. 1902. gradska uprava u Dresdenu raspisala nagrade za najbolje ovakovo sredstvo. Kolik je interes u tehničkim krugovima bio za tu stvar, najboljim je dokazom, što je do nedavno prispjelo 307 projekata za ovakove sigurnosne uredbes; ali nijedan od njih nije pronađen potpuno sposobnim, da zadovolji zahtjevima, koji treba, da se na ovakovo sredstvo stave. Čini se, da je još najsigurnije sredstvo, da se nezgode uslijed sudara sa tramvajem svedu na minimum, valjana bremza. A razumnije se po sebi, da je potrebno, da se i publika priuči posvema na električni tramvaj. Pokazalo se naima, da je broj

tih nesreća poslije nekoliko godina, iza kako je tramvaj uveden u koji grad, daleko manji, nego li je u prvo vrijeme bio.

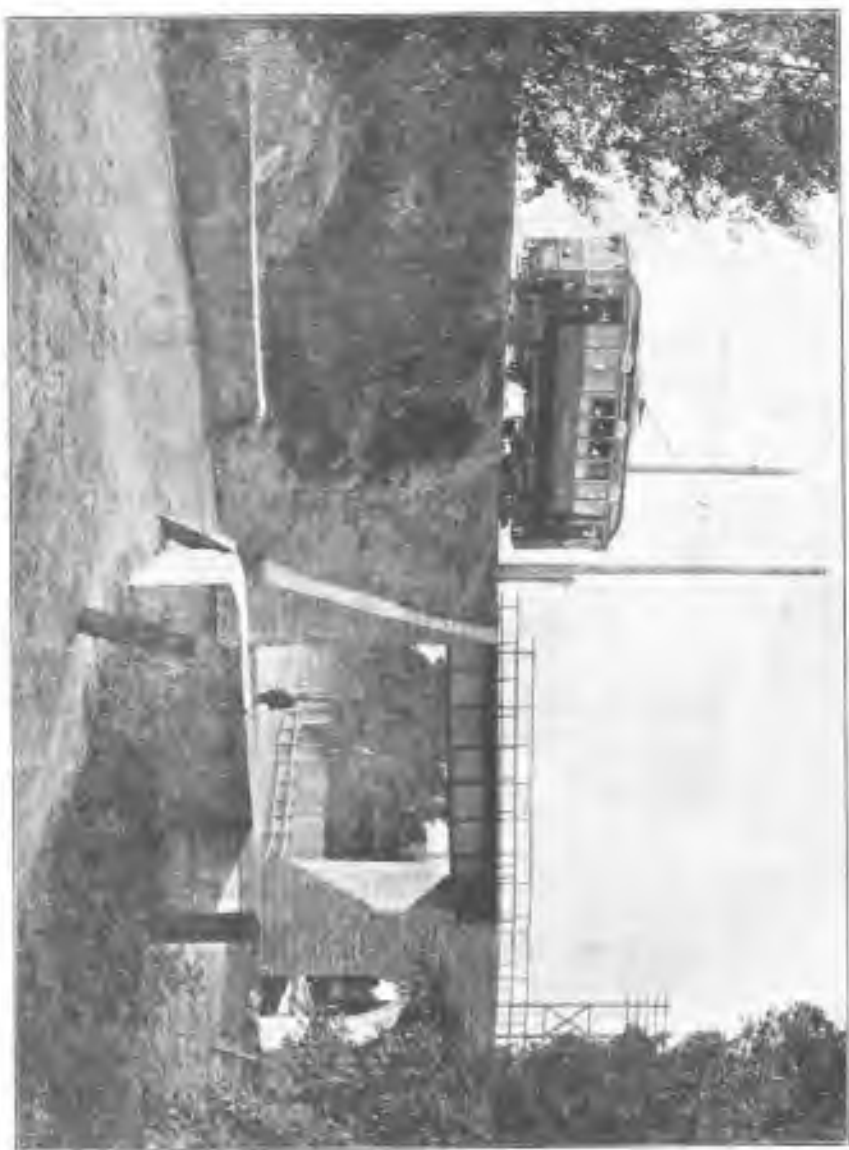
Da se razabere, kako je električni tramvaj **ohljubljeno** i nužno prometno sredstvo osobito u velikim gradovima, spomenuti ćemo neke statističke podatke u tom pogledu.

Na osnovu izvještaja ministarstva za javne radnje u Njemačkoj, koje je nedavno izašlo pod naslovom „Statistik der Kleinbahnen im deutschen Reiche für das Jahr 1908“, slijedi da je god. 1908. u njemačkom carstvu bilo u svemu 80 gradskih električnih tramvaja. Cjelokupna duljina tračnica tih tram-



Sl. 74 Unutrašnjost motorskih kola.

vaja iznosila je 4118 kilometara, broj tramvajskih vagona 20.249, broj sjedala u tim vagonima 622.635, a svega se te godine vozilo na njima 2,103,119.000 osoba! Ove osobe platile su ukupno 212,989.000 maraka vozarine, a sveukupni troškovi uzdržavanja tih električnih tramvaja bili su 136,331.000 maraka. Napetost struje, koja se rabila za pokretanje tih tramvaja, varirala je između 250—750 Volta; cjelokupni efekt električnih generatora bio je 143 822 KW, a akumulatorskih baterija 39.262 KW. Od svih gradskih tramvaja u Njemačkoj pokreće ih 82% elektriciteta, a samo 18% animalna ili koja druga sila.



Sl. 75. Pelaz električnega tramvaja preko viadukta

Zanimiva je nadalje statistika jednoga velegrada, pak ćemo se u tom smjeru osvrnuti na Philadelphiju, koja ima 1.300.000 stanovnika. Duljina tramvajske pruge u tom gradu iznosi 880 kilometara, od kojih 520 km imade jedne tračnice. Za gibanje tramvaja potrebna energija razvija se u 12 samostalnih električnih centrala, koje su te godine proizvele 130 milijuna kilowatt-sati¹ struje. Ova struja ima napetost od 13.000 V, a broj perioda joj je 30.² Posebni strojevi pretvaraju ju tamo, gdje treba, u struju istoga smjera. Tramvajskih kola ima 2000 zatvorenih i 1200 otvorenih. Od ovih kola imade njih 600 dva motora, dočim ostala imadu četiri. Te godine vozilo se u svemu u Philadelphiji tramvajem oko 4.000.000 osoba. Vozarine se



Sl. 76 Tramvajska remiza.

udrako 80 milijuna kruna, a izdaci poduzeća bili su 40 milijuna kruna.

Ako već ovi brojevi imponiraju, kako ćemo se tek čuditi, kad spomenemo, da se u Londonu samo na podzemnom električnom tramvaju g. 1905. vozilo u svemu 80 milijuna ljudi!

Biti će konačno zanimivo, ako navedem jednu činjenicu, koju sam primjetio u Chemnitzu i u nekim drugim gradovima Njemačke. Kao što je poznato, nalaze se obično na svakim tramvajskim kolima dvije osobe od službujućega personala. Jedna od ovih osoba stoji na prednjem dijelu tramvaja i upravlja

¹ „1 kilowatt-sat“ je jedinica, kojom se mjeri potrošak struje. To je naime radnja od 1 KW u svakoj sekundi točnjem 1 sata.

- t. j. mijenja svoj smjer 30 puta u sekundi, pošto je to izmjenična struja.

njime, a druga je osoba kondukter. Njemu je zadaća, da ubire vozarinu od onih, koji se voze na tramvaju. U Chemnitzu nema konduktera na tramvajskim kolima. Tamo se računa na poštenje onih, koji se voze. Na stražnjem bo dijelu kola smještena je zatvorena limena kutija, u koju svaki pojedinac, kad udje u kola, baci novac. Koliko god puta netko udje u tramvajska kola, ima da sam metne u kutiju to feniga, jer se u Chemnitzu plaća za sve vožnje po gradu jednako. To me je začudilo, pak sam toga radi, kad sam pregledavao električnu centralu, govorio i o tom sa prometnim upraviteljem samoga poduzeća. On mi reče, da društvo time ništa ne šteti, jer je većina ljudi poštena. Nadju se u tim kutijama doduše osim novca i druge stvari, kao gumbi, komadi lima itd., ali to je rijetko. Tako da društvo ipak znatno dobiva time, što ne treba, da plaća veliki broj konduktera, usprkos tomu, što neki ljudi kojiputa ne plate vozarinu. Pače općinstvo je u Chemnitz-u tako ponosno na to povjerenje, koje u njega stavlja poduzeće, da kad opaze nekoga, koji je ušao u tramvaj, a nije platio vozarine bilo iz zaboravnosti bilo hotimice, sami ga suputnici sjete na ono, što mu je dužnost, naime da plati.

Dakako da je pitanje, da li bi se taj način plaćanja tramvajske pristojbe mogao svuda uvesti.

Osim ovakove obične vrsti tramvaja, koji se giblje na površini samih ulica i cesta, ima još i podzemnih i nadzemnih tramvaja. U velikim bo gradovima često je puta promet u pojedinim ulicama redovno tako velik, da već iz obzira javne sigurnosti ne bi probitačno bilo ovakove ulice providiti sa tramvajskim šinjama; u mnogim pak slučajevima ne će oblast u nekim dijelovima grada iz estetskih razloga dozvoliti gradnju tramvaja. Tako se tada moralo pomišljati na to, da se tramvaj smjesti podzemno ili nadzemno; dakle da mu se tračnice polože ili ispod ulica ili nad njima.

Podzemnih tramvaja imamo dvije vrsti, i to: 1. Takove, kojima je pruga u posebnom tunelu sagrađena prilično duboko ispod zemlje (Untergrundbahn) i 2. Onakove, kojima je tunel samo nekoliko decimetara duboko ispod ulice (Unterpfasterbahn)

Najveće poduzeće prve vrsti podzemnoga tramvaja jest „Underground Electric Railways Co.“ u Londonu. Tunel njegov

sagrađen je iz cijevi od lijevanoga željeza, koje imaju duž same pruge promjer od 3.57 metara, dočim na stajalištima 6.5 metara. U tom tunelu smješten je čitavi tramvajski uređaj. Na dnu naime njegovom leži prilično debeli sloj betona, na koji su položene drvene podvale, a na nje stavljene tramvajske tračnice. Dovod i odvod struje zbiva se ovdje pomoću dvih posebnih vodoava. Struja, koja se razvija u centrali toga tramvaja, ima napetost od 11.000 Volta, nu prije nego li što dođe u motore na tramvajskim kolima transformira se ona na 600 Volta. Cijeli tunnel providjen je valjanom ventilacijom, a rasvijetljen sa električnim sijalicama, koje su jedna od druge 12 metara udaljene. Ovaj londonski podzemni tramvaj opći u razmaku od svake 3 minute, a najveću mu je brzina 56 kilometara na sat. Za vožnju općinstva upotrebljavaju se obično dvojica motorska kola, između kojih se nvrste još četvera priključna kola. Motorska kola imaju po dva elektromotora, od kojih svaki radi sa 200 HP eneržije.

Lijepi pak primjer za drugu vrst električnoga podzemnoga tramvaja daje nam tramvaj, koji je sagradila i god. 1896. prigodom otvorenja mađjarske milenijske izložbe u promet stavila firma Siemens & Halske u gradu Budimpešti. To je naime jedan dio gradske električne tramvajske pruge, koja ide u posebnom tunelu neposredno ispod ulica od Gizelina trga, ispod Andrassy-eve ulice do gradske šunice. Pruga ta u svemu je 3.75 kilometara duga, od kojih 3.22 kilometra otpadaju na podzemni, a 0.53 kilometara na nadzemni dio. Tunnel sam širok je 6 m, a postavljene su u njemu dvojice usporedne tračnice. Na stropu tunela, od prilike 1 metar ispod površine gornje ceste, nalazi se žicovod od dviju žica, kojima ide struja potrebna za pokretanje tramvaja. U svemu ima danas 21 komad motorskih kola, u koja može stati po 50 ljudi. Najveća brzina, kojom ide ovaj tramvaj, iznosi 40 kilometara na sat; a pojedina kola idu u razmaku od svakih 5 minuta. U opće se može reći, da je taj podzemni tramvaj veoma ukusno i svrsi shodno izveden. Uzme li se k tomu još u obzir i činjenica, da Budimpešta ima najveći dio svoje tramvajske pruge na ulicama na najsavršeniji način izveden, naime pomoću podzemnoga dovoda i odvoda struje; to se mora priznati, da Budimpešta što se javnih vozila

tiče, spada među prve gradove ne samo u Europi, nego i na čitavom svijetu.

Osim ovih dviju vrsti podzemnih tramvaja ima još i t. z. nadzemni tramvaj (Hochbahn), koji se osobito raširio u Americi. Jedan takav nadzemni tramvaj nalazi se na našem kontinentu u Berlinu i to od god. 1896. Taj tramvajski uređaj dug je 12.5 kilometara. Tračnice su mu položene na viaduktu, koji počiva 5.3 metara visoko nad ulicama, na jakim željeznim stupovima. Usljed toga, što je taj tramvaj nadzemno namješten, ne smeta on ništa općemu prometu, jer sva kola i ina vozila mogu posve nesmetano prolaziti ispod samoga tramvaja. Motorska kola ovoga berlinskoga nadzemnoga tramvaja duga su 13 metara, a široka 2.3 metra, a giblju se poprečno sa 28 kilometara brzine na sat.

Zanimat će naše čitatelje, da im na kraju ovoga poglavlja barem u najglavnijim crtama opišemo zagrebački tramvaj, koji će djelomice biti predan prometu, kad čitatelji ovu knjigu prime na ruke.¹

Novi zagrebački tramvaj vlasništvo je društva „Električni tramvaj grada Zagreba dioničko društvo“, koje će u tu svrhu investirati kapital od po prilici 2,500.000 kruna. Gradsko općina dala je gore navedenom društvu koncesiju na 50 godina uz stanovite uvjete, a pridržala si je pravo, da može čitavo tramvajsko uređenje otkupiti od društva nakon 10 godina uz svotu, koja je već danas ustanovljena. Vozne cijene bit će jeftinije, nego li su sada kod konjskoga tramvaja, a bit će ih tri vrsti i to od 10, 15 i 20 filira. Promet mora prema ugovoru na glavnim prugama započeti 16. kolovoza god. 1910., a ostale moraju biti u prometu do 16. kolovoza god. 1911.

Električne strojeve i tramvajska kola gradi tvrtka „Ganz'ovo električno dioničko društvo“ u Budimpešti, žicovod tvrtka „Felten & Guillaume“ u Budimpešti, a samu gradnju izvodi vlasnik tramvajskoga poduzeća.

Struja, koju će električni generatori u centrali razvijati, bit će istoga smjera, a imat će 600 Volta napetosti. Ta struja dovest će se trim podzemnim kabelima do trih razdijeljenih

¹ Ove podatke zahvaljujem „Upravi gradske munjare i vodovoda u Zagrebu“.

mjesta. Pojedini prosijeci jesu slijedeći: Kabel od centrale do Jelačićeva trga ima vodič od 300 mm^2 , kabel od centrale do Kolodvorske ceste 185 mm^2 , a kabel od centrale do sveučilišnoga trga 150 mm^2 . Povratna vōda su samo dva, i to: kabel od Sveučilišnoga trga do centrale sa 400 mm^2 prosjeka i kabel od Kolodvorske ceste do centrale sa 210 mm^2 .

Od ovih razdijeljnih mjesta prelazi struja u nadzemni žicovod, kojega bakrena žica ima 55 mm^2 prosjeka. Žicovod visi ili na žici napetoj između kuća ili na stupovima, koji su u sredini grada ocjelni, a inače dalje izvan sredine grada drveni.

Sa žicovoda prelazi struja preko lire, koja ima oblik broja „8" u motorska kola. Na tim kolima nalaze se po dva elektromotora, svaki sa 25 HP energije. Ti motori okreću se sa 300—500 puta u minuti uz struju od 600 Volta napetosti.

Za reguliranje struje usljed raznolikoga opterećenja služit će i jedna akumulatorska baterija od 290 elemenata, sustava „Tudor", sa garantiranim kapacitetom od 518—620 Amperskih sati.

Za početak nabavljeno je u svemu 28 motorskih kola. Jednostruka duljina cjelokupne tramvajske pruge bit će oko 21.5 kilometara, prema 10.3 današnje konjske pruge. Osim sada postojećih pruga gradi se još jedna nova kružna pruga, koja ide Jelisavinom, Kukovićevom, Boškovićevom i Draškovićevom ulicom; zatim pruga na Mirogoj kroz Novu Ves.

Električni automobil.

Kako je električni tramvaj veoma prikladno prometno sredstvo za gradove, tako da si danas bez njega ne možemo ni pomisliti ovećega naprednijega grada; to nije čudo, da se i manji gradovi nastoje tim modernim vozilom okoristiti. Pak zato je električni tramvaj koji puta uveden i u takove gradove, u kojima ulični promet stanovništva i međjusobna udaljenost pojedinih dijelova grada ni iz daleka nije tako znatna kao u velikim gradovima. Posljedica toga bila je za dotično poduzeće nepovoljna, jer se ovakov uredjaj ne rentira. Električni ho tramvaj može se sa financijsalnoga gledišta uspješno samo tamo graditi, gdje postoje uvjeti za živahnu uporabu njegovu.

Ali kako i stanovništvo manjih gradova želi imati brzo i udobno vozilo, to se u tu svrhu upotrebljavaju tramvaji i omnibusi sa konjima, automobili sa benzinom, parne željeznice itd. U najnovije pak doba došlo je na poprište još jedno vozilo, a to je električni automobil. Pošto naime gradnja tračnica sačinjava znatan dio investirana kapitala kod svih vrsti vozila, koja se giblje šinjama, to su se nastojala uvesti takova vozila, koja ne trebaju tračnica, već se mogu gibati po običnoj cesti. Zato su pak prikladni omnibusi, koje voze konji, i automobili sa benzinom. Konjski ali omnibus danas je već skroz primitivno prometno sredstvo, tako da se isto samo ondje rabi, gdje je promet neznatan i gdje su zahtjevi vozeće se publike skromni. Automobili sa benzinom u tom su pogledu već mnogo bolji. I doista, dok benzinski automobil ima 4—6 sjedala, tad on sasvim dobro odgovara svojoj svrsi. Čim se ali radi o velikim automobilima, u kojima treba da bude mjesta za 30—40 osoba, tad su oni neprikladni, jer im je mehanizam kompliciran i osjetljiv. Osim toga ima svaki automobil sa benzinom i drugih mana. Tako se na pr. mora na njemu motor gibati i onda, kad kola stoje, a to prouzrokuje neugodne trešnje za one, koji su u kola. Nadalje se kod tih automobila usljed procesa izgaranja samoga benzina razvijaju neugodno zaudarajući plinovi. A napokon ne vozi se baš svatko rado na vozilu, koje giblje tvar, kao benzin, koji tako lako eksplodira.

Kod električnoga automobila stvar je već mnogo bolja. On ima skoro sva dobra svojstva električnoga tramvaja, a još mu i prednjači u toliko, što je znatno jeftiniji od njega, jer ne treba šinja. Tehnička njegova uredba gotovo je ista, kao i kod električnoga tramvaja. I tu treba, da bude električna centrala, žicovod i motorska kola, a otpadaju samo tračnice. Pomislimo si dakle obični žicovod, kaki je kod električnoga tramvaja i motorska kola, kojih su kotači kao i kod bicikla providjeni sa obručima od gume, a mjesto trolley-a ili lire gibki nekoliko metara dugi kabel, kojim se struja iz žicovoda dovodi k elektromotoru i od njega natrag u žicovod odvodi, eto nam tada slike električnoga automobila (sl. 77.). Pošto ovdje nema šinja, to mora dakako žicovod — ako rabimo struju istoga smjera —

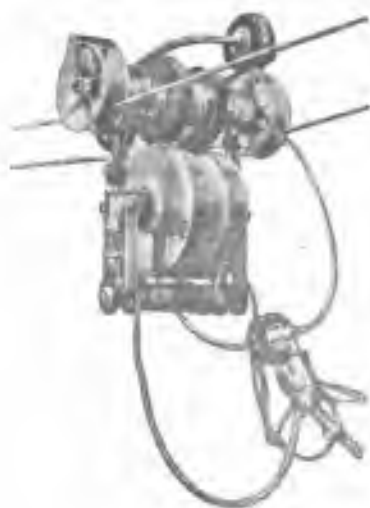
imati dvije žice, jednu za dovod, a drugu za odvod struje. Kabel ali taj, koji također sadržaje dvije međusobno izolirane žice, mora biti u neprekidnom dodiru sa žicovodom. Usljed toga



Sl. 77. Električni automobil.

treba da je ovdje namješten posebni kontaktni aparat. I upravo ovaj kontaktni aparat zadavao je u početku dosta poteškoća. Tek pred nekoliko godina pošlo je francuzkomu inženjuru Lombard-Gerinu za rukom pomoću posebnoga male-

nega elektromotora sastaviti takav kontaktni aparat, koji omogućuje, da se ti električni automobili na običnim cestama bez ikakove poteškoće mogu gibati. (Sl. 78.). Ovaj mali elektromotor smješten je neposredno izpod žicovoda, a zadaća mu je, da kontakt kabela sa žicovodom bude trajan i da kabel vuče onako brzo, kako se giblje i sam automobil. Usljed toga razloga treba, da taj mali motor rotira sa istom brzinom, kojom se okreće i veliki glavni elektromotor u automobilu. To se postizava tako, da se tom malom motoru dovodi struja iz glavnoga motora. Kako oba ta motora idu sinhrono, te se kon-



Sl. 78. Kontakti aparat električnoga automobila.

taktni aparat nalazi uvijek pred automobilom. To je pak dobro, jer ga tada upravljač kola imađe uvijek u očima.

Prvi pokus sa tim električnim automobilima izveden je u Issy-les-Moulineaux kod Pariza. Godine 1900. funkcionirao je taj automobil na svjetskoj izložbi u Parizu na 2 i pol kilometara dugoj prugi i stekao je radi svoje jednostavnosti, jeftinoće i lake uporabivosti priznanje izložbene porote.

Godine 1901. konstruirao je njemački ingénieur Max Schiemann u Dresdenu drugi slični sistem električnoga

automobila takodjer sa nadzemnim dovodom struje i to između Königsteina na Labi i kupališta Königsbrunn. Ovaj automobil još i danas vrlo dobro funkcionira, a služi za vožnju osoba i robe između ta dva mjesta.

Za žicovod upotrebljavaju se ovdje dvije bakrene 50 centimetara međusobom udaljene žice, od kojih je jedna namijenjena dovodu, a druga odvodu struje. Te žice smještene su 6 metara visoko nad zemljom na drvenim stupovima i to u sredini ceste. Stupovi ovi — nosioci žicovoda — udaljeni su jedan od drugoga 30—35 metara. Struja sa žicovoda dolazi u

motor na kolima pomoću kontaktnih motaka, koje su tako udešene, da se automobil može na udaljenost od 3 metra na obe strane žicovoda od njega pomaknuti. Usljed toga kadar je automobil preteći obična vozila na cesti, a i onima se, koja mu dolaze u susret, ugnuti. Sastanu li se pak dva ovakova automobila, to se može lako jedan drugomu skloniti s puta tako, da se kontaktna poluga sa jednoga automobila za tren makne sa žicovoda.

Kod ove vrsti automobila nemaju kotači obruče od gume, nego željezne, koji takodjer sasvim dobro djeluju i na sklizkom terrainu, ako se sa kola pred njih automatski sipa pijesak.

I tu se pokazalo, da ovi automobili imaju onu znatnu naprijed istaknutu prednost pred običnim tramvajem, što naime za njihovo djelovanje ne trebaju tračnica. Ne samo, da time otpada velik dio troška za gradnju i uzdržavanje stalne tramvajske pruge, nego je dobro i to, što je usljed toga za sva druga obična vozila kao kola, bicikle itd. čitava površina ceste ostala bez zaprijeke za porabu. To nije važno samo u području gradova i mjesta, nego i na cestama, koje su medju njima; jer i tu znade često veliki promet biti.

Nadalje valja istaknuti, da sve ceste, kojima ide električni automobil, moraju na istoj strani imati žicovod za državni brzjav i telefon. U tom bo slučaju ne može struja, koja pokreće automobil — ako i jest jaka — induktivno nepovoljno djelovati na brzjav i telefon zato, jer u priličnoj udaljenosti od njih teče u protivnom smjeru dvim žicama, koje nisu jedna od druge daleko.

Schiemann-ov električni automobil danas je već prilično razgranjen u Njemačkoj, a služi poglavito za susjedni promet izmedju dvaju mjesta; a misli se i na to, da se ta vrst vozila upotrijebi u poštanske svrhe na takovim cestama, gdje postoji žicovod za jaku struju.

Elektromobil.

Do nedavna se držalo, da automobil ima da služi samo za šport imućnim ljudima. Danas već tomu nije tako. Uporaba automobila počima se protezati na sve slojeve pučanstva. On sada vozi ne samo bogataša, nego i obične ljude, a rabi i

za transport robe. To poglavito vrijedi za automobile, koje giblje elektriciteta. Iskustva, stečena sa prvim luksusu namijenjenim automobilima, uporabljena su u najnovije doba sa

Sl. 79. Elektromobil nastojeći.



dobrim uspjehom za konstrukciju omnibusa i teretnih kola. Tako da danas imamo tri vrste elektromobila i to elektromobile za luksus odnosno privatnu porabu, elektromobile u formi omnibusa t. zv. električne motoromnibuse za opću porabu i

teretne elektromobile. Svi ti elektromobili jesu električni automobili, koji ne trebaju niti šinja niti žicovoda, prema tomu je poput običnih kola giblju cestama i ulicama.

Elektricitet, potrebna za gibanje elektromobila, nakrcana je u akumulatorskoj bateriji, koja je u samim kolima smještena. Jedan dio te baterije obično se nalazi izpod sjedala, na kom je mjesto upravljaču kola, dakle naprijed; dočim je drugi dio baterije otraga u kolima (sl. 79.). Struja, koja izlazi iz akumulatora, ide u elektromotore. Elektromobil ima obično dva motora, koji su tako montirani, da svaki od njih pokreće po jedan od zadnjih dvih kotača.

Kontrolneur, kojim se mijenja jakost i smjer motorske struje, nalazi se izpod mjesta, na kom upravljač kola drži noge. Poluga kontrolneura dađe se namjestiti u položaj 0, tad je struja prekinuta; zatim u položaje 1, 2, 3 i 4, tad se motor giblje većom ili manjom brzinom naprijed. Kako se elektromobili giblju i sa znatnim brzinama, to je potrebno, da su providjeni i sa takovim uredbama, koje omogućuju sigurno brzovanje tih vozila. U tu svrhu dađu se ta vozila na dva načina brzovati. Prvo mehaničkom bremzom, koja se pokreće nogama; a drugo da se poluga kontrolneura namjesti na drugu stranu u položaj 1 ili 2. Tim suprotnim položajem poluge izvrati se smjer struje, koja iz akumulatora ide u elektromotore. Tada se motori počnu obratno okretati, a to prouzrokuje daleko jače brzovanje samih kola, nego li se dađe postići mehaničkom bremzom.

Brzina, kojom se elektromobili giblju, može iznositi i do 30 kilometara na sat.

Elektromobili za luksus (sl. 80.) služe kao vozilo samo imućnoj publici, te su usljed toga uređjeni veoma udobno i snabdjeveni sa najvećim komfortom. Lampe su na njima električne, imadu doglasalo za upravljača kola itd., pače i električni užigač za cigare!¹

Električni motoromnibusi — namijenjeni javnoj uporabi — počeli su se najprije rabiti u Londonu g. 1905., te ih danas

¹ Prema statistici od konca god. 1909. ima u samom Chicagu 2300 elektromobila, a broj im poprečno na godinu priraste za 25%. Ti automobili su u opće najbolje mušterije za struju električnim centralama u Sjevernoj Americi.

tamo već mnogo stotina ima u porabi. Takvo jedno poduzeće „London Electrobus Co. Ltd.” podržaje tim vozilima od g. 1907. promet između Viktorija štacije i Liverpool Street.

Sl. 80. Elektromobil za ljude.



Na svakim tim kolima ima mjesta za 34 osobe. Pojedina kola, potpuno opterećena, važu 7 tona, od kojih 1 i pol tone otpadaju na akumulatorsku bateriju. Akumulatori potiču od firma „Tudor Accumulator Co. Ltd.” u Londonu i „Gould Storage

Battery Co." u New-Yorku. Kapacitet pojedine baterije iznosi 500 Amperskih sati, a nabija se sa 40—50 Ampera uz 110 Volta. Akumulatorska se baterija nabija tolikom množinom elektricitete, da ova dostaje za 65 kilometara vožnje. Srednja jakost struje, kojom se baterija izbija, iznosi 110 Ampèra ; a najveća 200 Ampera. Kad se ta energija iscrpi, onda se baterija mora opet nabiti. Svaki od ovih motoromnibusa treba za čitavu dnevnu potrebu $2\frac{1}{2}$ baterije. Akumulatore toga poduzeća nabija društvo „Westminster Electric Supply Corporation". Za nabijanje plaća poduzeće 13 filira po voznom kilometru. Godišnje se vozi samo na tim elektromobilima oko 900.000 osoba. Pošto upravljači kola nemaju nikakova posla oko popravljavanja motora, to su oni uvijek čisti, a ne kao upravljači petrolejskih automobila prljavi i čadjavi. Osim toga se kod ovih automobila nikad ne događa, da bi koja kola ostale na ulici nesposobna za daljnu vožnju, jer je djelovanje tih vozila potpuno pouzdano. Ona su osim toga ukusno izvedena, imaju miran hod itd. te su radi svega toga u općinstvu obiljubljena. Za to je i nade, da će naskoro vrijeme doći, gdje će sa londonskih ulica posve nestati larmajućih i zaudarajućih drugih motoromnibusa, koji gradske ulice napunjuju nesnosnim dimom ; a zamijenit će ih ova brza, mirna i udobna električna vozila.

Za primjerom Londona povadjaju se u tom pogledu i drugi razni gradovi, tako da nema sumnje, da će se naskoro električni motoromnibus mnogostrano raširiti, pače i u nekim slučajevima postati ozbiljnim konkurentom električnom tramvaju. Obzirom bo na povoljna iskustva, koja su se pokazala sa elektromobilima u Londonu, ima već dosta gradova u Engleskoj a i u drugim državama, koji su odlučili ne graditi električni tramvaj. Tako je Oxford zamijenio svoj konjski tramvaj odmah sa elektromobilima a i drugi neki gradovi u Englezkoj bave se tom mišlju. U Berlinu je zaključeno, da se tramvajska mreža više ne proširuje, nego da se nadopuni sa motoromnibusima. A slično se kani i u Beču izvesti.

Što se konačno tiče teretnih elektromobila, to oni usljed ovih sada navedenih dobrih svojstava, koja se i na njih odnose, nailaze radi svoje prikladnosti na sve veću uporabu.

Osobito dobro dolaze ovakovi automobili u vatrogastvu. Uprave velikih gradova došle su nakon mnogodišnjih pokusa do spoznaje, da uporaba konja za vožnju vatrogasnih kola prigodom požara nije iz raznih uzroka zgodna, te da se u tu svrhu mnogo bolje dađu motorska kola upotrijebiti. I doista se danas već u mnogim gradovima rabe takova kola, koja giblju eksplozivni motori, para ili elektricitet. Iskustvo je ali pokazalo, da je od svih tih motorskih kola najzgodniji elektromobil. On je naime svaki momenat spreman za djelovanje, posve sigurno funkcionira, lako ga je dvoriti, kod njega nema nikakve opasnosti, ako dodje u neposrednoj blizini i u kišu od iskara. Jedinu takovu vrst vatrogasnoga elektromobila sagradila je firma „Neue Automobil Gesellschaft m. b. H.“ u Ober-Schoneweide kod Berlina. Prednji dio toga dugoga elektromobila odredjen je za električne uredbe, potrebne za njegov pogon; dočim je daleko veći stražnji dio namijenjen vatrogasnom priboru, kao raznim štrcaljkama, ljestvama, cijevima za vodu, sjedalima za vatrogasnu momčad itd.

Elektromobil taj pokreće struja iz akumulatorske baterije, koja sastoji od 84 elementa. Kapacitet te baterije iznosi 156 Amperskih-sati. Ta množina energije kadra je voziti 5 tona tereta 60 kilometara daleko uz maksimalnu brzinu od 36 kilometara u satu. Baterijska struja pokreće dva elektromotora, svaki od 7.5 konjskih sila. Gibanje tih motora prenosi se direktno na kotače elektromobila. Svi ostali aparati, potrebni za sigurno djelovanje toga vatrogasnoga elektromobila, nalaze se u neposrednoj blizini onoga, koji upravlja kolima.

Bilo bi dobro, kad bi koja od naših gradskih općina, koje imaju električnu centralu, nabavila jedan takvi elektromobil.

Električne željeznice.

Iz dosadanjega našega proučavanja uredbe električnih tramvaja i automobila uvjerili smo se, da je elektricitet sasvim zgodan za pokretanje ovih modernih vozila. Nije s toga čudo, da se na osnovu tako povoljnih tehničkih rezultata pomišljalo na to, ne bi li se i za pokretanje željeznica dala mjesto pure

uvesti električna energija. Ima bo mnogo činjenica, koje pokazuju, da današnje parne željeznice i ako su daleko savršenije, nego li su bile prije, imaju mnogo nedostataka, za koje bi bilo poželjno, da se uklone. Razabrat ćemo ali malo poslije, da su mane parne željeznice takove, da se uz najbolju volju ne dađu otkloniti. Moderni tipovi parnih lokomotiva, uredba njihovih vagona i u opće cijela prometna sigurnost parne željeznice danas je tako savršena, da će se jedva išta novoga i bitno boljega dati postići. Sagrađit će se vjerojatno lokomotive, koje će uz najveću moguću ekonomiju proizvoditi takove energije, kojima će se dati postići još veća brzina vlakova, nego li je ona, kojom juri željeznica kroz američke prašume. Vagoni željeznički, ako su već i danas providjeni takovim komfortom, da mogu zadovoljiti i najosjetljivijega putnika, po svoj će se prilici još više usavršiti recimo pogledom na njihovu unutarnju opremu, na rasvjetu, loženje itd. A i cijela prometna sigurnost dati će se još povećati, da će n. p. biti moguće mnogo sigurnije i na manju udaljenost, nego li se to danas može, zaustaviti svom brzinom jureći vlak, da će se pronaći sredstva, koja će još većma umanjiti sudar vlakova i iskok vlaka iz tračnica; da će se signalizacija između vlaka i postaje dati potpuno provesti itd.

Sve to postići će se, ali nedostaci parne željeznice ne će se nikada moći ukloniti, jer oni su osnovani na načinu, kojim se parna energija proizvodi.

Uzmimo ponajprije u obzir ogromnu težinu parne lokomotive, koja obično oko 80.000—100.000 kilograma iznosi; zatim težinu s njom spojenoga tendera, u kom je ugljen i voda, samo od 20.000 kilograma; koliki je to mrtvi balast, koji energija vodene pare mora neprekidno sobom vući! Kako bi zgodno bilo, kad bi uz isti efekt mogli taj štetni teret umanjiti. Tim bi se naime znatno veći dio proizvedene energije dao upotrijebiti u glavnu svoju svrhu, naime za vožnju pravoga tereta.

Nadalje valja istaknuti, da se parne lokomotive brzo kvare. Prema dosadanjem iskustvu može se parna lokomotiva ekonomički rabiti najviše 20—25 godina. Tečajem bo vremena treba njezine dijelove izmijenjivati sa novima. Tako da bi poslije 25 godina uporabe lokomotive gotovo svi dijelovi bili zamije-

njeni novima, a tip njezin bio bi zastario. Najviše se tu troši parni kotao, pošto je gotovo uvijek u porabi. Kad pak on ne bi bio toliko u porabi, tad bi uslijed čestih ohladnuća i ponovnih ugrijavanja još više štetovao. A troši ga znatno i vanjski hladni zrak, koji u usijano ložište dolazi, a i loša voda, kojom se obično kotao puni. Sam pak stroj na lokomotivi neprestano je izvrnut prašini, kiši, snijegu itd., što sve štetno djeluje na makinu a osobito na one njezine dijelove, koji se međusobom taru.

Velika je nadalje nepravilica kod parnih željeznica silan dim i razni plinovi, što nastaju izgaranjem, a iz dimnjaka lokomotive izlaze. Dim taj, koji kroz najsitnije rupice prodire u vagone, silno kvari njihov unutarnji namještaj. On znatno smeta putnicima, osobito ljeti, kad su željni u velikoj vrućini otvoriti prozore vagona. Po gotovo je taj dim nezgodan u tunelima, kad se oni posve napune njime. Osobito u dugim tunelima on onečisti zrak tako znatno, da ovaj postaje gotovo nesnosan za putnike. A radnici, koji rade u tunelu, moraju koji puta radi toga dima obustaviti svoj rad. Uslijed toga morala se u mnogim tunelima sa znatnim troškovima uvesti umjetna ventilacija. Produkti izgaranja željezničkoga ugljena, u kom ima obično i sumpora, uzrokom su, da se — osobito u dugim tunelima — željezničke šinje brže kvare. A i frcanje iskara iz dimnjaka lokomotive može prouzrokovati požar objekata, koji se nalaze u blizini željezničke pruge.

A kako je tekar teška služba onih osoba, koje ravnaju lokomotivom. Tko od nas nije višeputa požalio makinistu i ložača na lokomotivi, koji u najvećoj žegi, u najoštrijoj zimi, za najteže oluje, sniježne vijavice i vjetra skoro posve nezaštićeni na jurećem vlaku stoje !

Tako bismo mogli navesti još dosta mana današnjih naših željeznica, koje čine, da parna željeznica ni sa tehničkoga ni sa financijskoga gledišta nije tako savršeno prometno sredstvo, kakovim ga mnogi drže. Toga radi nije čudo, da se danas pitanje električnih željeznica ozbiljno proučava. Električna bo željeznica ne bi svih tih mana imala, a imala bi znatnih prednosti, kojih parna nema.

Pitanjem električnih željeznica bavila se među ostalima i poznata elektrotehnička firma „G a n z'ovo električno dioničko

društvo" u Budimpešti. (Sl. 81.) Prve svoje pokuse započela je u tom pogledu g. 1896. U tu svrhu sagradila je jednu pokusnu željeznicu u Pešti u blizini svoje tvornice vagona. Pruga te željeznice bila je duga 0.8 kilometara, šinje su imale razmak od 1 m, a najveći uspon iznosio je 65‰. Ta je željeznica bila uređjena poput električnoga nadzemnoga tramvaja, samo s tom razlikom, da ju nije gibala — kao što to obično biva kod električnoga tramvaja — struja istoga smjera, nego izmjenična struja sa 500 V napetosti.

Pošto su pokusi sa tom željeznicom dobro uspjeli, uređilo je G a n z-ovo društvo novu jednu električnu željeznicu na obali ženevskoga jezera u kupalištu Evian-les-Bains. Ta je željeznica stavljena u promet g. 1898., a gibala ju je zakretna struja od 500 V napetosti.

Iza nekoliko ovakovih manjih dobro uspjelih pokusa, sagradila je ova firma pravu električnu željeznicu t. j. parnu željeznicu normalnoga karaktera sa osobnim i teretnim prometom pretvorila je u električnu. To je t. z. „Valtellina" željeznica u gornjoj Italiji. Na toj 106 kilometara dugoj pruži prestao je 4. rujna 1902. promet sa parom, a uveden je mjesto njega električni. Od onoga vremena pak do danas jure na toj željeznici brzi, osobni i teretni vlakovi, a giblje ih elektriciteta. Pruga se ta prostire na istočnoj obali jezera Lago di Como od mjesta Lecco do mjesta Colico u duljini od 38.95 km. Tu se ona rastavlja u dva ogranka. Jedan ide do mjesta Sondrio (40.79 km), a drugi do mjesta Chiavenna (26.57 km). U svemu je dakle ta električna željeznica duga 106.31 km. Na pruži ima mnogo zavoja i tunela, a pad joj se silno mijenja.

Vrijedno je, da se u glavnom upoznamo sa tehničkim uređajem čitave te željeznice, kod koje je prvi puta upotrebljen novi sistem, koji do onda nije rabio za električne željeznice. A zanimiv je taj namještaj i s toga, što ovdje prirodna sila, naime vodopad rijeke Adde, razvija električnu energiju, koja pokreće tu željeznicu.

Rijeka Adda ima nedaleko od jezera Lago di Como između Ponte di Desco i Ponte di Ganda na duljini od po prilici 5 km pad od 35 m, a najmanja je množina vode u sekundi 25 m³. Prema tomu je, odbivši raznovrsne gubitke energija, koju ovaj

vodopad na tom mjestu može dati, od prilike 7500 efektivnih konjskih sila. Voda ta sakuplja se u posebnom jednom u tu svrhu sagrađenom velikom bazenu. Odavle ide dvjema 68 m dugim cijevima, koje imaju 2,5 m promjera a nagnute su prema horizontalnoj ravni za 45° , u t. z. hidroelektričnu centralu (sl. 82.).

U toj zgradi dijeli se svaka od ovih dvih cijevi u dva ogranka. Svaki pak od ova četiri ogranka vodi k jednoj turbini, koja ima 2000 efektivnih konjskih sila. Danas su samo tri turbine smještene, a kad bude potrebno, namjestit će se i četvrta, koja će moći davati i do 4000 HP. Gibanje tih turbina prenosi se



Sl. 82 Hidroelektrična centrala „Valtellina“ željeznice.

na dinamo-makine. Svaki od tih električnih strojeva proizvodi zakretnu struju od 1050 kilowatta energije, 20.000 V napetosti i 15 perioda.

Razlog radi kojega se ovdje a i u opće svuda, gdje se električna energija prenosi na velike udaljenosti, rabi struja velike napetosti, jest financijalni. Kad bi se naime u takovim zgodaama rabila struja malene napetosti, tad bi žicovod morao biti veoma debelo. Kako se pak žicovod pravi redovno od bakra, to bi on u tom slučaju bio vanredno skup, jer je cijena bakra velika. Ako pak upotrijebimo struju visoke napetosti, tad nam može tanki žicovod prenijeti na veliku udaljenost istu množinu

električne energije, kao i debeli žicovod, kroz koji ide struja male napetosti.

Cjelokupna od ovih trih makinskih garnitura proizvedena struja odvodi se uz nužnu opreznost do uklopnice, a udavle do dviju skupina šinja, sa kojih dolazi u vanjsku vodnu mrežu dvama primarnim vodovima. Za sada se samo upotrebljava



Sl. 83. Žicovod „Valtellina“ željeznice sa munjovodom.

jedan primarni vod za električnu željeznicu, jer više struje danas još ne treba.

Primarni taj vod, kojim ide struja te ogromne napetosti, prelazi iz električne centrale preko Adde u staciju Morbegno. Ovdje se on dijeli na dva ogranka, koji obuhvaćaju čitavu prugu. Žicovod, kojim prolazi struja, namješten je na drvenim stupovima, koji su na vrhu 250 mm a na donjem kraju 300 mm

debeli. Prije negđo to su stupovi u zemlju ukopani, opaljeni su i katranom namazani. Na gornjem kraju providjeni su ti stupovi izvrsnim izolatorima od kaolina, da struja sa glavnih žica ne može u zemlju otići. Izolatori ti prokušani su na napetost od 40.000 V. Pošto se tu rabi zakretna struja, to su po-



Sl. 84. Transformator.

trebua tri voda za dovođ i odvođ iste. U tu svrhu napete su nad željezničkim tračnicama dvije bakrene 8 mm debele žice, a treću nadomještaju šinje same željeznice.

Da se čitavi željeznički uređaj sačuva od utjecaja atmosferskoga elektriciteta, namješteni su na nekim od poprečnih

stupova, koji spajaju glavne stupove, posebni u tu svrhu konstruirani munjovodi t. z. rogoviti munjovodi¹ (sl. 83).

Kako struja proizvedena u električnoj centrali ima silnu napetost od 20.000 V a takova bi se teško dala upotrijebiti za gibanje elektromotora, to se napetost te struje prije nego li ona dodje u električnu lokomotivu, mora umanjiti ili kako se tehnički kaže transformirati. Ovo se pak zbiva pomoću posebnih strojeva, koje zovemo transformatorima (sl. 84).



Sl. 85. Električni trecni vlak.

Tako i ovdje imamo duž željezničke pruge u tu svrhu u svemu 10 transformatora namješteno. Svaki od ovih transformatora pretvara struju sa velikom napetosti od 20.000 V t. z. primarnu struju u struju od po prilici 3000 V napetosti t. z. sekundarnu struju. Pojedini transformator udešen je za 300 KW energije, a težina mu je oko 7 tona.

¹ Horner-Blitzableiter, paratonnerre a cornes. Vidi pobliže o tom moje djelo „Munjovodni uređaj (Propisi za gradnju, ispitivanje itd. munjovoda)“. Zagreb 1910. Knjižara Josip Sokol.

Brze i osobne vlakove na toj željeznici giblju motorska kola, dočim teretne giblje električna lokomotiva. Teretni vlakovi mogu imati težinu do 400 tona, a giblju se sa brzinom od 30—35 km na sat; dočim brzi i osobni vlakovi dolaze do 250 tona težine, a postizavaju brzinu od 60—70 km na sat.

Motorska kola uređjena su od prilike kao i ona kod električnoga tramvaja, a nalaze se ispod njih dva motora. Ova su kola kadra gibati 5—7 osobnih vagona, od kojih ima svaki težinu od 10—12 tona, sa brzinom od 65 km na sat. Danas ima u svemu ovdje 10 motorskih kola. Od ovih je 5 uređjeno u obliku salonskih kola sa luksurioznom nutarnjom uredbom (sl. 86.). Ova su kola određena za brze vlakove (sl. 87). Ostalih 5 motorskih kola služe za osobne vlakove. Na obim krajevima motorskih kola nalazi se posebni zatvoreni odjel za onoga, koji upravlja kolima. Ime upravljač kola nije izvrgnut nepogodama vremena. Svaka kola imaju posebni prostor za prtljagu itd. Rasvjetu, grijanje i ventilaciju motorskih kola obavlja također elektriciteta.

Električna lokomotiva ima 4 osovine, od kojih je svaka providjena sa posebnim elektromotorom, koji može, da proizvodi 150 HP energije. Ne rabe uvijek sva 4 motora, nego ih rabi onoliko, koliko ih treba prema teretu, koji ima lokomotiva vući. Na lokomotivi nalaze se aparati potrebni za mjerenje struje; zračni kompresor sa pripadajućim transformatorom, koji ujedno daje i struju za rasvjetu; automat za zračnu sisaljku; jedna priručna zračna sisaljka; zračni pipac za Westinghouse-ovu bremzu, kojom je cijeli vlak providjen; jednu ručnu bremzu itd. Težina lokomotive iznosi 46 tona.

Svaki vlak prate od željezničkoga personala samo dvojica. Jedan od njih upravlja motorskim kolima ili lokomotivom; dočim je drugi vlakovodja. Ali i vlakovodja potpuno je upućen u cjelokupnu manipulaciju strojeva i aparata, tako da u slučaju potrebe može zamijeniti onoga, koji upravlja kolima.

Brzi vlakovi imaju odjele prvoga i drugoga razreda, dočim osobni samo prvoga i trećega razreda.

Vozne cijene na toj željeznici ostale su iste, koje su bile, kad je te vlakove gibala parna lokomotiva.

Iz opisa ove električne željeznice razabire se, da ona nema nijedne mane, koje imaju parne željeznice, a uza sve to potpuno sigurno funkcionira.

Osim toga zgodno je kod električne željeznice, da je njezina lokomotiva uvijek pripravna za vožnju. Ako to želimo kod parne lokomotive, to ju moramo neprestano ložiti. Prema tomu ona za vrijeme pauze bezkorisno troši energiju; dočim električna lokomotiva za vrijeme, kad ne radi, ne troši nikakvu silu.

Kod parne lokomotive potrebna su dva naročito u tu svrhu osposobljena čovjeka i to makinista i ložač. Električna lokomotiva treba pak za upravljanje samo jednoga čovjeka i taj ne treba imati posebnu spremu, jer se svaki savjestan radnik dade uputiti u manipulaciju aparata, koji su na električnoj lokomotivi.

Sila, kojom lokomotiva počima vući,¹ veća je kod električne, nego li kod isto tako jake parne lokomotive iz razloga, jer je magnetsko polje elektromotora u početku gibanja jače, nego li poslije.

Električna lokomotiva može ulaziti u nutrašnje prostorije tvornice, kamo parna lokomotiva ne može doći radi dima, opasnosti požara itd.

Sve su to okolnosti, koje daju prednost električnoj željeznici pred parnom.

Košto smo iz sada navedenoga razabrali, zbiva se dovod struje kod „Valtellina“ željeznice slično kao i kod prve vrsti¹ električnoga tramvaja, naime pomoću t. z. nadzemnoga sistema. Nije to ali jedini način, koji se danas u praksi upotrebljava za pogon električnih željeznica; danas ho rabe u tu svrhu tri načina i to:

1. Isključivo nadzemni promet.
2. Promet sa akumulatorima, i
3. Mješoviti promet.

Kod prvoga načina dovodi se električna energija lokomotivi samo pomoću žicovoda, koji se nalazi nad željezničkom prugom. Prema tomu mora ovdje čitava pruga biti providjena sa nadzemnim žicovodom.

¹ Zugkraft, puissance de traction.



Sl. 87 Električni brzi vlak.

Kod prometa sa akumulatorima nosi lokomotiva sama električnu energiju u posebnoj bateriji.

Kod mješovitoga pak prometa dobiva lokomotiva potrebitu energiju na stanovitim dijelovima pruge pomoću nadzemnoga žicovoda, a na ostalim mjestima — gdje žicovoda nad prugom nema — pomoću akumulatorske baterije.

Prvi sistem električnih željeznica dađe se zgodno upotrijebiti kod onakovih željeznica, kod kojih su samo jedne tračnice — dakle gdje nema mnogo tračnica jednih uz druge kao n. pr. na velikim kolodvorima — ; zatim ako su te tračnice duge, ako na njima često vlakovi prolaze i ako električne centrale tih željeznica svoju struju i u druge svrhe proizvode.

Lokomotive pak, koje pokreću akumulatori, zgodne su u svim onim slučajevima, gdje oblast iz bilo kojega mu drago razloga ne dozvoljava smještenje nadzemnoga žicovoda ; nadalje na kolodvorima, gdje ima mnogo međusobno isprepletenih tračnica providjenih raznovrsnim skretnicama,¹ uređaba za okretanje vagona itd. Napokon treba istaknuti, da je lokomotiva sa akumulatorima i u onom slučaju zgodnija, kad nastane prekid struje makar i na kratko vrijeme. Ona bi može i tada funkcionirati, dočim je prva vrst električne lokomotive u tom slučaju prinudjena stati.

Moglo bi doduše nastati pitanje, kako je u opće došlo do toga, da se rabe lokomotive sa akumulatorima, kad smo naprijed istaknuli, da se tramvaji, koje pokreću akumulatori, nisu pokazali sposobnima i to poglavito radi velike težine samih akumulatora. Na to nam je ali primjetiti, da su okolnosti kod lokomotive ipak nešto druge, nego li kod tramvaja. Na tramvajskim motorskim kolima ograničena je težina akumulatora, a i veličina prostora, u koji se oni mogu smjestiti. Prema tomu se ovdje akumulatori ne mogu ovako veliki uzeti, kako bi to poželjno bilo. Naprotiv, moraju se birati relativno maleni tipovi akumulatora sa znatnom jakosti struje, a osim toga mora broj nabijanja i izbijanja tramvajskih akumulatora biti velik (12—15 puta na dan). To je pak upravo glavni uzrok, da se tramvajski akumulatori dugo ne drže. Pošto se naime tramvajska baterija mora mnogo puta na dan nabijati, to se ovi

¹ Wechsl, aiguille.

akumulatori većinom tečajem vožnje nabijaju. Nabijanje pak baterije, kad je ona u gibanju, ne može iz raznih uzroka nikada biti onako potpuno, košto bi to trebalo.

Kod električne lokomotive, koju pokreću akumulatori, stvar je sasvim druga. Ponajprije ovdje gotovo ništa ne dolazi u obzir težina akumulatorske baterije, pače radi znatne adhezije, koju treba da ima svaka ma kakove vrsti lokomotiva, dolazi ova težina još u prilog djelovanju lokomotive. Pošto dakle težina akumulatorske baterije ne dolazi u obzir, to veličina baterije može takova biti, da struja nakrcana u toj bateriji dosiže za čitavi jedan radni dan. Prema tomu akumulatora na lokomotivi treba jedan najviše dva puta dnevno nabiti. Usljed toga dađe se baterija, pošto miruje, potpuno i to onako, kao što je za akumatore potrebno, nabiti. Time se ne samo u nju nakreca relativno veća množina energije, nego se i akumulatori bolje čuvaju.

Prvo poduzeće, koje je u Europi počelo uvoditi električne željeznice sa akumulatorima jest „Accumulatoren-Fabrik Actiengesellschaft“ u Berlinu. Tako nam sl. 88. predložuje električnu lokomotivu, koja služi za ranžiranje vlakova u Oberhausenu u Njemačkoj. Tu je lokomotivu sagradila firma Siemens-Schuckert Werke u Berlinu, a akumatore je za nju načinila gore navedena tvornica akumulatora. Sl. 89. prikazuje nam istu tu lokomotivu za vrijeme nabijanja njezine baterije, koja ima 200 elemenata. Prednja je strana lokomotive na slici otvorena, te na njoj razabiremo jedan dio akumulatora, kao i dva kabela, kojima dolazi struja u samu bateriju.

Akumulatori, koji služe u svrhe električnih željeznica, donekle su drugčije gradjeni, nego li elementi za t. z. štacijonarne ili nepomične baterije. Kod ovoga sistema ne unosi se aktivna masa na pozitivne ploče, nego se na njima usljed djelovanja električne struje direktno stvara. Time se postizava, da ova masa — stvorena od same elektrode — na njoj čvrsto stoji; a to je i potrebno, jer su akumulatori podvrgnuti neprekidnom trešnjama, usljed kojih bi ta masa lako pala dolje. Negativna pak ploča ima oblik ormarića, kojega su stijene od perforiranoga olovnoga lima, a njihov je prostor ispunjen sa olovaom spužvom. Elementi su montirani u posudama od ebonita, a onda

svi zajedno smješteni u velike drvene posude, kojima su stijene obložene pločama, koje ne propuštaju sumpornu kiselinu.

Pošto je djelovanje akumulatora proporcijonalno sa njegovom površinom, to je trebalo nastojati, da i kod ovih akumulatora u željezničke svrhe bude površina njihovih ploča što veća, a da pri tom ipak odviše ne poraste njihova težina. Nakon mnogih pokusa, koje je u tom pogledu gore navedena tvornica akumulatora izvela, pošlo joj je to i doista za rukom; tako da danas njezini akumulatori posve odgovaraju zahtjevima, koji se na njih stavljaju.

Sl. 90. predočuje nam električni teretni vlak sa akumulatorskom lokomotivom, koji služi za prevoz robe u samoj tvornici akumulatora. Baterija lokomotive sastoji iz 208 elemenata.

Usprkos ovim povoljnim rezultatima, koji su postignuti sa današnjim opće poznatim olovnim akumulatorima, nisu oni ni iz daleka onakovi, kako bismo želili, da budu. Imadu bo oni raznih mana, kojima se ni uz najsavršeniju njihovu gradnju ne da izbjeći. U prvom redu nezgodna je kod njih njihova velika težina, zatim razne neugodnosti, koje nastaju usljed sumporne kiseline itd., tako da se odavna pomišljalo na to, da se sagradi druga vrst boljih i savršenijih akumulatora. Čini se, da je u najnovije vrijeme pošlo za rukom slavnom Amerikancu Edison-u, da i na tom području obogati elektrotehniku konštrukcijom novoga svoga akumulatora

Edisonov akumulator sastoji iz ploča od čeličnoga lima, koje nose djelujuću masu. Na pozitivnim pločama sastoji ta masa u glavnom od željeznoga oksida, a na negativnim od nikelova oksida. Obe te ploče stoje u otopini kalijeva hidroksida. Tekućina ta ovdje se ne mijenja niti prigodom nabijanja niti kod izbijanja akumulatora, ona služi samo za prenos kisikovih atoma. Napetost Edisonovog akumulatora iznosi, nakon što je potpuno nabit, 1.8 Volta; a kad je izbit 1.1 Volta. Kod olovnih akumulatora je ta napetost mnogo veća, te se kreće između 2.7—1.8 Volt... Usprkos tomu, što je napetost struje kod olovnih akumulatora veća, daje se — pretpostaviv istu težinu akumulatora — u Edisonov akumulator nakrcati od prilike 6 puta

toliko električne energije, koliko u olovni.¹ A u toni baš i sastoji velika prednost ovih novih akumulatora, uslijed koje bi iz prakse naskoro moglo nestati olovnih akumulatora, ako oni inače nemaju takovih nedostataka, koji bi njihovu vrijednost umanjili.

Uslijed tih dobrih svojstava Edisonovih akumulatora, a poglavito da se izbjegne neugodnom zaudaranju i razvijanju para uslijed sumporne kiseline u olovnim akumulatorima, već je i kod nas u Europi sagrađena jedna električna lokomotiva sa tim novim akumulatorima i to god. 1909. po firmi F. Schickau u Njemačkoj. Težina njezina iznosi zajedno sa baterijom 25.400 kilograma. Baterija sastoji od 408 elemenata sa 280 Amperskih sati kapaciteta, a srednja napetost struje kod izbijanja je od prilike 501 Volt. Prigodom pokusa, koji je nedavno sa tom lokomotivom izveden na 212 5 kilometara dugoj željezničkoj pruzi Elbing-Braunsberg, pokazalo se, da je ova lokomotiva zajedno sa jednim vagonom tereta — u svemu 36.000 kilograma težine — taj put provalila samo sa jednim nabijanjem, koje je trajalo 3 i tri četvrt sata. Nakon dovršene vožnje imala je baterija još uvijek 468 Volta napetosti, tako da bi bez ponovnoga nabijanja bila kadra najmanje još 50 kilometara provaliti.

Prema vijestima, koje dolaze iz Amerike, čini se, da se Edisonovi akumulatori počinju svestrano upotrebljavati.

Osim ovoga drugoga načina, gdje se samo akumulatori upotrebljavaju za pokretanje električnih željeznica, imamo još i treći način, naime mješoviti promet sa nadzemnim žicovodom i sa akumulatorima. Ovaj način dađe se osobito zgodno upotrijebiti kod velikih tvornica, u koje sa raznih strana vode duge tračnice sa čestim prometom i gdje je njihova mreža u području same tvornice mnogostrana i komplicirana. U takovom slučaju rabit će se uspješno za dovod u tvornicu lokomotive

¹ Pisac ovih redaka ispituje upravo sada svojstva ovih Edison-ovih akumulatora, koji su nabavljeni kod firme „Deutsche Edison-Akumulatoren Company. G. m. b. H.“ u Berlinu. Već iz dosadanjega njegovoga nalaza slijedi, da gore navedeni podaci u glavnom odgovaraju istini i da će interesirani krugovi po svoj prilici naskoro svratiti pažnju tim novim sekundarnim baterijama.

sa nadzemnim žicovodom, a za ranžiranje vagona u samoj tvornici lokomotive sa akumulatorima.

Iz svega toga, što smo dosada naveli, razabire se, da električne željeznice nisu nipošto u početnom stadiju, nego naprotiv one se danas već mnogostrano uvode i potpuno sigurno parne željeznice nadomještaju. Toga radi razne države pitanju elektriziranja svojih željeznica veliku pažnju posvećuju i u tom pogledu opsežna študija prave. Naravno da i ovdje — košto i na mnogim drugim područjima praktičnoga života — Amerika i to osobito sjevero-amerikanske zadružne države našem kontinentu prednjače. Tako u državi Connecticut ima jedno jedino željezničko društvo, što tramvajskih što željezničkih električnih pruga, u duljini od 895 kilometara.

New-Yorški željeznički klub predao je pred neko vrijeme posebnom odboru zadaću, da pitanje o shodnosti električnih željeznica prouči i svoje stručnjačko mnijenje u tom predmetu čim prije podnese. Taj odbor udovoljio je toj zadaći mjeseca travnja god. 1910. Iz njegovoga mnijenja razabire se, da električne željeznice prema parnim imaju slijedeće prednosti:

1. Kod električnih željeznica daje se uslijed brže vožnje pruga bolje izrabiti, nego li je to kod parnih moguće.

2. One ne proizvode dima i svih onih neugodnosti, koje su s tim skopčane, a dolaze osobito u obzir kod podzemnih željeznica i u tunelima.

3. Kod električnih željeznica su izdaci za plaćanje poslujućega osoblja manji, a gorivi se materijal daje ekonomičnije izrabiti.

4. Kod namještanja električnih željeznica daju se polučiti znatne prištednje kod pruge, kod uzdržavanja njezinoga i kod raznih njoj potrebitih gradjevina.

5. Parne željeznice daju se racionalno pretvoriti u električne osobito tamo, gdje ima na raspolaganje vodene sile ili u blizini ugljenokopa; kod gorskih ili onakovih željeznica, koje imaju mnogo tunela; kod gradskih i onih željeznica, koje spajaju predgradja sa gradovima i konačno kod željeznica, na kojima je već danas promet tako velik, da bi nužne bile druge tračnice.

6. Parna lokomotiva mora se nakon 2000 kilomet. vožnje očistiti i temeljito pregledati, a nakon 62.000 kilometara vožnje sasvim rastaviti i popraviti. Električna pak lokomotiva može 4000 kilometara vožnje provaliti, poslije čega treba samo bremzu u red dovesti i četke na kolektoru motora popraviti. Tek nakon 80.000 kilometara vožnje treba joj kotače izmijeniti, a nakon 400.000 kilometara valja ju posve rastaviti i temeljito popraviti.

Na osnovu ovih podataka zamišlja se u Americi elektriziranje željeznica svestrano provesti i to tako, da se u razmacima od svakih 500 kilometara podignu električne centrale, u kojima će se razvijati struja, potrebna za njihov pogon. Ta bi struja bila izmjenična, a imala bi napetost od 62.000 Volta, te bi se posebnim žicovodom slala na podređene štacije i tu transformirala na 11.000 Volta. Ove podređene štacije opskrbljivale bi tada sa strujom željezničku mrežu od 50—85 kilometara u promjeru. U samim pak lokomotivama konačno bi se umanjila ta napetost do one, koja je potrebna za pokretanje njezinih motora.

Tako vidimo, da pitanje električnih željeznica u Americi orijaškim koracima napreduje.

U Evropi ne možemo doduše konstatovati tako nagli napredak, ali se ipak mora priznati, da već danas ima nekoliko država, gdje postoje električne željeznice.

Tako je nedavno dovršena električna željeznica preko Pireneja i to u duljini od 34 milje između Villefranche i Bourg-Madame u južnoj Francuskoj. Željeznica ta počima kod Villefranche (422 metra nad morem), odavle se uspinje do visine od 1566 metara, a odanle spušta se do konačne postaje, koja je 1125 m nad razinom morskom visoka.

U našoj monarhiji osobito se Cislitavija za tu stvar zanima. Već od god. 1907. prave se u c. kr. ministarstvu željeznica opsežna proučavanja glede elektriziranja onih postojećih parnih željeznica, koje se nalaze južno od Dunava, a zapadno od Beča. Te bo pruge, duge preko 4000 kilometara, osobito su zgodne za ovu pretvorbu zato, jer se nalaze u gorskim krajevima, u kojima ima dosta vodopada. Na osnovu tih studija došlo se do zaključka, da će se uskoro slijedeće električne

centrale podići i to na Inn-u kod Landecka sa poprečno 11.80 HP godišnje energije, na Ötztaler Ache sa 74.000 HP, na Ill-u sa 52.000 HP, na Salzach-u sa 10.300 HP, na Lammer-u sa 1000 HP, na Isonz-u sa 20.000 HP, na Lutzbach-u sa 4600 HP itd. Bit će tu u svemu na raspolaganje do 140.000 HP energije, koja će se upotrijebiti za djelomično elektriziranje postojećih državnih željeznica u Cislitaviji. Osim toga misli se i na to, da se i vodopadi Dalmacije i Istre u tu svrhu upotrijebe.

U našoj pak poli monarhije početi će se naskoro graditi prva električna željeznica od Požuna do Beča; a pomišlja se i na to, da se znatni dio zagrebačko-riječke pruge na onim mjestima, gdje će se graditi još jedne tračnice, providi sa električnom željeznicom.

Prema podacima hidrografičkoga odsjeka u ministarstvu za poljodjelstvo u Budimpešti od g. 1909. ima Hrvatska i Slavonija u svojim vodama 1,702.000 HP. vodene snage. Usljed toga će nesumnjivo doći vrijeme, kad će se i u našoj domovini jedan dio te prirodne energije upotrijebiti za pogon električnih željeznica.

Što se djelomične uporabe električne energije za pokretanje željeznica tiče, to je ona — kako je već unaprijed istaknuto — osobito zgodna za provoz vlakova ispod duljih tunela. Poznato je, kolikom se dimom tunel napuni, kad ide vlak ispod njega. Ovo je osobito nezgodno, ako se štogod poremeti na vlaku, kad je on upravo pod tunelom. Zato je već kod mnogih parnih željeznica stvar tako udešena, da električna lokomotiva vlak ispod tunela proveze. To se događa na pr. u tunelu između Turina i Genua (8.2 kilometara dug), Simplonovom tunelu (19.7 kilometara dug) itd.

I tako na koncu našega razmatranja o jednom od najvažnijih vozila modernoga doba, koje već toliko decenija vanrednu korist donosi ljudskomu rodu, vidimo, da je parna željeznica doista dobila vrlo ozbiljnoga takmaka u električnoj svojoj drugarici. Utakmica, koju danas ove dvije vrsti vozila međusobom vode, oštra je, te joj nije moći predviditi konačna rezultata. Lako je ali moguće, da će i ovdje — košto i u mnogim drugim područjima tehnike — nadvladati princip zlatne sre-

bine t. j. da će još dugo vremena zajedno i parna i električna lokomotiva služiti za pogon željezničkih vlakova, a njihova uporaba da će se zgodno upotpunjivati. Jer sve kad bi nastupilo takovo usavršenje električne traktije, da bi njezina uvedba potpuno i u svim zgodama mogla u svakom pogledu zgodno zamijeniti parnu silu kod željeznica, to ipak iz raznih uzroka ne bi s mjesta nestalo parne željeznice. Valja samo pomisliti, koliki je ogromni kapital investiran u današnje parne željeznice, koliko je tisuća poduzeća, a nebrojeno ljudi direktno interesirano na željeznicama onakovim, kakove su većinom danas, naime prirnim. Ako samo tu činjenicu nzmemo u obzir, moramo uviditi, da i najidealnije tehnički konstruirana električna željeznica ne bi bila kadra u kratko vrijeme parnu posve istisnuti.

Slični slučaj bio je i sa brzjavom bez žica, koji poznajemo već od god. 1897. Većina kulturna svijeta oduševljeno je u svoje doba pozdravila to najnovije čedo ljudskoga genija, ali bilo ih je i dosta, koji su zabrinuto pomišljali na to, kako će na njihovu štetu na polju brzogavljanja u najkraćem vremenu nastati silne promjene. Mislilo se, da će sa površine zemlje naskoro nestati ogromne mreže brzogavnih žica, kabeli oceanski da će rdjati u bezkrajnim dublinama morskim, a tek pojedini aparati i sastavni dijelovi današnjega brzogava da će kao časna starina doći u strukovne muzeje — da potomstvo vidi, kako se nespretnim sredstvom čovjek koncem 19. vijeka služio za prenos signala električnim putem!

Medjutim sve su to bile nađe, koje se još danas, nakon dvanaestogodišnjega poznavanja principa telegrafije bez žica, nisu ni iz daleka ispunile.

Obični bo brzogav, kao i telegraf bez žica, dva su moderna općila, koja se medjusobom upotpunjuju na korist prometa, koji svakim danom sve više raste; kao što će se i potpunjivati električna i parna željeznica kao vozila u istu svrhu jamačno još dugo vremena.

Električne industrijalne željeznice

Osim običnih željeznica, koje služe za vožnju ljudi, životinja i robe u interurbanom prometu, ima danas i željeznica, koje se rabe u rudokopima, šumama, na polju, u tvornicama

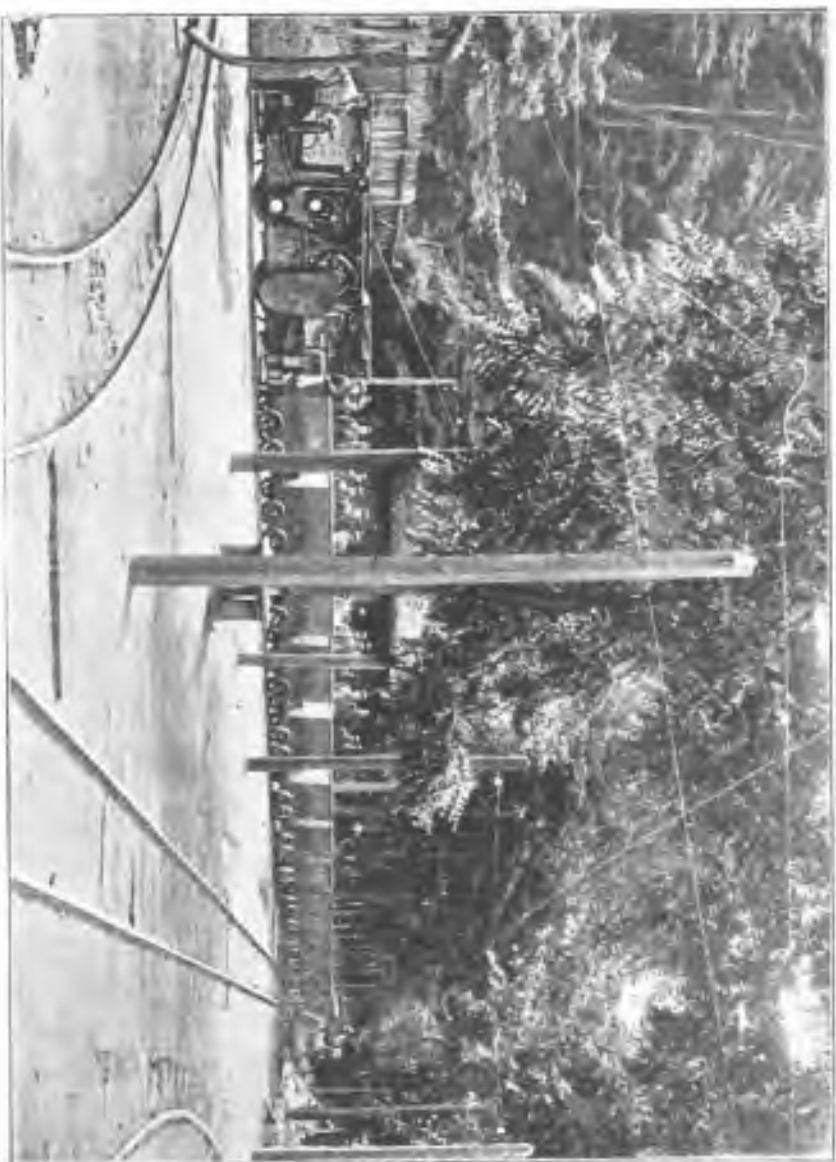
itd., a svrha im je, da voze raznovrsnu robu na manje udaljenosti n. pr. iz rudokopa: ugljena do obližnje željezničke postaje.

Te željeznice zovu se industrijalne željeznice. U početku su gibali te željeznice ljudi ili konji, što je dakako vrlo nespretno i tegotno bilo. Mnogo je bolje poslije bilo, kad se u tu svrhu počeo upotrebljavati parni stroj, onda su tekar to postale u pravom smislu željeznice. Nu upora-
bom pare nastale su velike neprilike pak i opasnosti. Kad je dim već kod običnih željeznica nesnosan u tunelima, to je on po-
gotovo kod industri-
jalnih željeznica re-
cimo u rudokopima. Bijedni život, koji
rudari uz naporan
posao provode u rud-
nicima, otešćava im
tada dim još više,
pošto su prinudjeni
tamo čitavo vrijeme
rada boraviti. Ma i
kako savršena venti-
lacija slabo tu po-
maže.

Nadalje su kod nekih vrsti industrijalnih željeznica, koje
služe n. pr. za dovoz drva iz šume, nezgodne i iskre, koje vrcaju
iz dimnjaka lokomotive, jer mogu prouzrokovati požar.



Sl. 91. Industrijalna željeznica u Palfalvi



Sl. 92. Industrijska željeznica u Rusici.

Osim toga poskupljuje uzdržavanje parne industrijalne željeznice i držanje stručnoga mašinskoga personala, koji je propisan.

Sve to uzrokom je, da se za pokretanje industrijalnih željeznica u novije vrijeme sve više počinje upotrebljavati električnost.

Električna lokomotiva je uz isti efekt znatno manja od parne. Usljed toga se n. pr. u početku gradnje rudokopa znatno prištedi na gradjevnom materijalu. Profil bo tunela u rudokopu ne treba biti tako velik kao onda, kad se rabi parna lokomotiva.

Kako se kod gradnje u rudokopima, šumama, tvornicama, na polju itd. nalazi obično jeftinoga goriva kao sitnoga ugljena, drvene pilotine, otpadaka od drva, slame itd., to će ovo gorivo dobro doći za loženje stabilnoga parnoga stroja, koji će pokretati električni stroj.

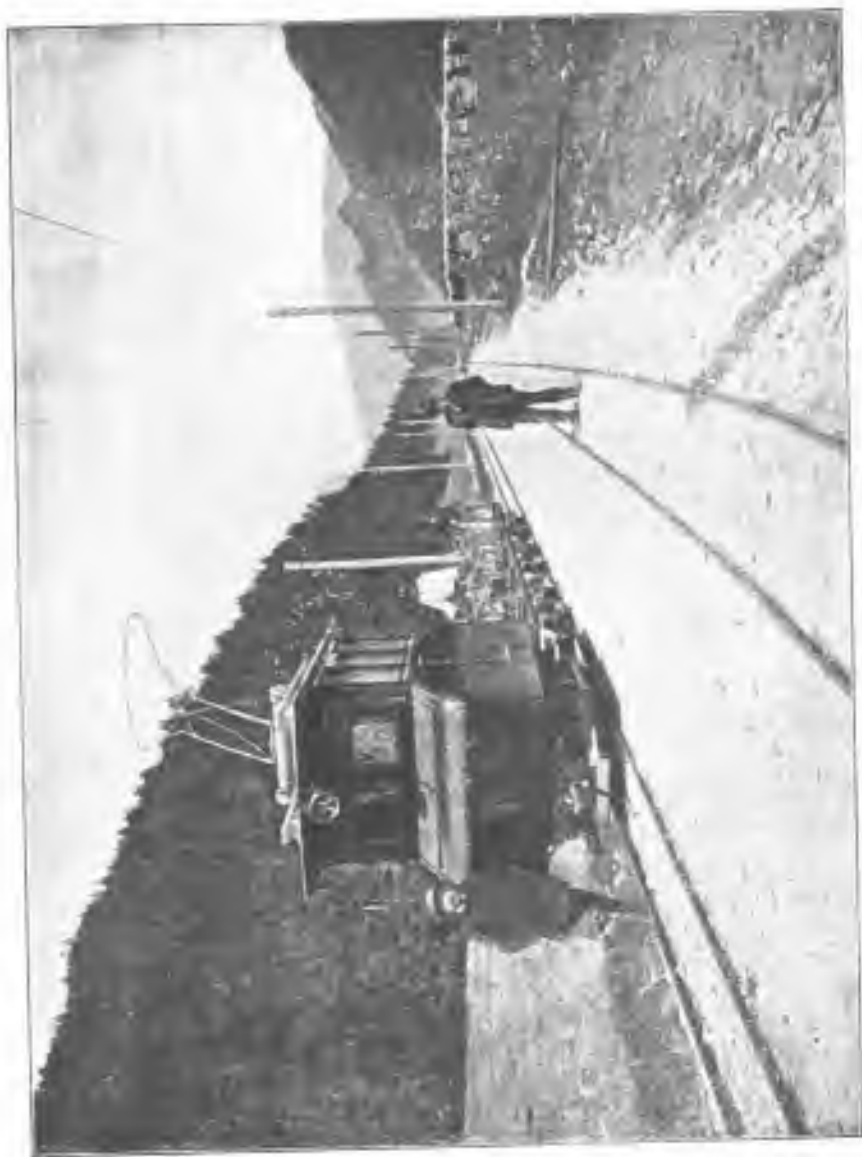
Opisat ćemo sada neke od ovih industrijalnih željeznica, da razaberemo, koji su one praktične i kako se zgodno dadu upotrijebiti u svrhe, kojima služe.

Prvu ovakovu industrijalnu željeznicu u našoj monarkiji sagradila je g. 1892. firma Ganz & Comp. u Budimpešti. To je željeznica u rudokopu u Bleibergu, kojoj je zadaća, da rudaču iz nutrine rudokopa dovozi na površinu zemlje. Duga je 2.6 km., a nalazi se čitava pod zemljom. Dinamo makina, koju pokreće turbina, daje struju istoga smjera od 220 V i 27 A.¹ Nad tračnicama te željeznice razapete su dvije žice, na svakoj od njih sklize po jedna zavinuta metalna motka, koje su obe pričvršćene na električnoj lokomotivi. Jednom od ovih žica dolazi struja iz dinamo stroja i prelazi preko jedne motke u elektromotor, koji je na lokomotivi; prešav kroz elektromotor, vraća se struja drugom motkom na drugu žicu, a po njoj natrag k dinamo stroju. Kod ove dakle željeznice ne rabe šinje za odvod struje, već u tu svrhu služi posebna žica. Lokomotiva proizvodi 6 HP, a kadra je 10 kola svaka sa 760 kg brutto težine gibati sa brzinom od 11 kilometara na sat. Dnevno se daje ovom željeznicom provesti 2240 metričkih centi rudače. Doduše uredba je ove željeznice sada već nešto zastarjela, ali ona ipak bez ikakovoga prigovora djeluje.

¹ „I amper“ (A) je jedinica za mjerenje jakosti struje.



Slika 93. Industrijska željeznica u Gyulán



Sl. 94. Šumska željeznica u Fenyhaza.

Slika 91. predočuje nam industrijalnu željeznicu u rudokopu ugljena u Pálfalvi. Čitava pruga te željeznice duga je 10 kilometara, od kojih otpada na podzemni dio 2.8 kilometara. Najveći njezin uspon iznosi 12‰ , a međusobna udaljenost tračnica 790 mm. Dinamo strojevi, koji proizvode struju potrebitu za pokretanje te željeznice imaju energiju od 66 kilowatta uz napetost od 500 Volta. Za podupiranje djelovanja tih strojeva namještena je još i jedna akumulatorska baterija sa kapacitetom od 198 Ampèrskih sati. Lokomotiva te željeznice kadra je vući nizbrdo 40 natovarenih vagona svaki sa 800 kg tereta, uzbrdo pak 30‰ od te težine. Najveća brzina, kojom se ta željeznica giblje, iznosi 14.4 kilometara na sat.

Mnogo je modernije izvedena 3.6 km duga rudokopna željeznica u Rešici (sl. 92), koja je vlasništvo društva austro-ugarskih državnih željeznica. Dinamo makina, koja proizvodi struju potrebitu za pokretanje te željeznice, ima efekt od 55 KW, a giblje ju parni stroj od 80 konjskih sila. Lokomotiva njezina kadra je voziti 20 kola svaka sa 970 kilograma brutto težine brzinom od 14 km na sat.

Slika 93. predočuje nam industrijalnu željeznicu u Gyaláru. Ta prevozi željeznu rudaču iz Gyalára do talionica u Vajda-Hunyadu. Struja, koja se tu rabi, zakretna je, a ima 300 V napetosti. Pruga te željeznice duga je 1400 m.

Na slici 94. vidimo jednu šumsku željeznicu u Fenyöhaza u visokim Tatrama. Ta služi za prevoz drva iz šume do glavnoga skladišta. Struja se ovdje lokomotivi dovodi pomoću lire.

Sve te električne industrijalne željeznice vrlo dobro funkcioniraju, one su daleko zgodnije, a i podržavanje njihovo mnogo je jeftinije, nego li bi to moguće bilo kod parnih željeznica.

Osim ove vrsti električnih industrijalnih željeznica, kod kojih se struja posebnim žicovodom dovodi lokomotivi, rabe se još i električne željeznice sa akumulatorskom lokomotivom. Jednu takovu željeznicu pokazuje nam sl. 95. Ona služi s dobrim uspjehom u jednom njemačkom rudniku.

Električni brodići.

Godine 1707. sagradio je Denis Papin prvi parobrod i zaplovio njime na rijeci Fuldi iz grada Kassela. Sudbina, koja stiže mnoge izume, stigla je i ovaj. Brodari na Vezeri, pobojavši se konkurencije toga novoga vozila, razmrskale ga! Danas, nakon 200 godina, parobrodarstvo je tako razvijeno, da si bez njega plovitbe na moru i rijekama ni pomisliti ne možemo. Ali kako vremenu, u kom živimo, elektricitete sa preraznovrsnim svojim uporabama bitno obilježje daje, to se nastojalo, da ona i u brodarstvu zamijeni silu pare.

Spomenuli smo u uvodu, da je već g. 1835. Jacobi u Petrogradu gibao pomoću elektriciteta maleni brodic, koji je plovio na Nevi. Struju za pokretanje motora na tom čamcu davala su 64 velika Groveova elementa, koji su proizvodili energiju od po prilici jedne konjske sile. Taj ali način dobivanja struje bio je neekonomičan a i manipulacija sa ovakovim elementima veoma nezgodna. To je uzrokom, da se tim pitanjem mnogo godina poslije toga nije nitko više bavio. Tek onda, kad su tvornice počele u veliko praviti akumulatore, pomislilo se na to, da se Jacobi-jeva zamisao u istinu praktički provede. Tako je g. 1882. pušten u Themsu i opet jedan električni čamac, ali taj je pokretala akumulatorska baterija. U Njemačkoj počeo se interes za električne čamce buditi tek iza obrtničke izložbe u Berlinu g. 1896., na kojoj je bilo u prometu nekoliko ukusno izvedenih ovakovih brodića. Danas pak već imade sve puno električnih čamaca u porabi, a pogotovo u Engleskoj i u sjevernoj Americi. Na samoj Themsi danas je već čitava flotila takovih brodića, koje pokreće elektriciteta.

Što se vanjske opreme električnoga čamca tiče (slika 96.), to već na prvi pogled primjećujemo, da njemu nešto fali, što svi drugi čamci imaju, koje pokreće motorička sila, a to je dimnjak. Kako nema u njem vatre, to nema ni dima ili drugih plinova, koji bi kroz dimnjak izlazili. Inače je on svojom vanjštinom sasvim sličan drugim brodićima.

U unutrašnjosti njegovoj nalazi se duša svakoga današnjega električnoga čamca, naime akumulatorska baterija. Pojedini elementi baterije porazmješteni su na dnu čamca po



Sl. 96. Električni čamac.

cijeloj njegovoj duljini. Tim je radi velike težine samih akumulatora stabilitet brodića znatno povećan, te se uslijed toga ne može tako lako prevahiti. Akumulatori su u posudama od ebonita, koje su dobro zatvorene, da se ne prospe sumporna kiselina, koja je u njima. Posebna uredba, kojom se elementi daju u raznovrsne grupe međjusobno spajati, omogućuje reguliranje brzine brodića.

Struja, koja izlazi iz akumulatora, dolazi u elektromotor. Taj je na stražnjem dijelu broda, a njegova je osovina direktno spojena sa osovinom vijka.

Da se uzmože brodić gibati, treba akumulatore najprije električitetom nabiti. Kad su oni nabiti, tad je brodić spreman za plovitbu. Pusti li se sada ta struja iz akumulatora u elektromotor, to on dolazi u gibanje, koje se prenosi na vijak u vodi. Okretanjem vijka plovi tada brodić brže ili polaganije, već prema tomu, kako jaku struju puštamo iz akumulatora.

Po tom se razabire, da je uredba električnih brodića jednostavna. Samo ima jedan nedostatak, a taj je, da su ti brodići upućeni na akumulatore. Uslijed toga električni čamci nisu za daleke vožnje. Energija bo, koja je nakrcana u akumulatorima, istroši se tečajem nekoliko sati, a onda treba bateriju ponovno nabiti. Na rijekama, gdje uz obalu ima gradova, u kojima su električne centrale, mogle bi se te baterije ponovno nabijati električitetom; ali na moru se to — barem za danas — ne da. Isto tako nije moguće za ovakov brodić nakrcati veliku množinu električnosti, koja bi dostajala recimo za nekoliko dana. U tom bi slučaju vanredno bi porasla težina brodića, a i nabava struje za nabijanje takove baterije ne bi bila ekonomična.

To je gotovo i jedini nedostatak današnjih električnih brodića. Ali za to imaju oni i dosta dobrih svojstava. Kod druge vrsti brodića, koje pokreće vođena para, benzin, petrolej itd., mora se veliki dio ladjice upotrijebiti za smještenje parnog kotla, strojeva, ugljena itd.; dočim kod električnih brodića može čitava njihova paluba služiti za osobe i robu. Nema na njima dima, buke od strojeva, nesnosne vrućine, trešnje itd., što je sve neugodno za one, koji se voze, na drugim vrstima motorskih čamaca. Električni brodići giblju se bez ikakovoga trzanja i uvijek su spremni za vožnju, ako su akumulatori na-



Sl. 97. Električni čamac s čirničke izložbe u Berlinu.

biti. Kod parnih čamaca treba tek kotao potpaliti i makinu urediti. Kad električni brodić miruje, ne troši on ništa energije. Usljed jednostavnosti cjelokupnoga makinskoga uređaja promet je njegov vrlo siguran. Lako je i cjelokupni uređaj držati u redu. Treba samo, da se sa akumulatorima po propisima manipulira, da su osovine providjene uvijek sa dosta ulja i da je motor u redu. Sve se to daće učiniti, kad brodić miruje. Prema tomu i to mnogo vrijedi, da kod ove vrsti brodića tečajem vožnje nema nikakova posla sa makinskim uređajem.

Troškovi za nabavu električnoga brodića doduše su veći, nego li kod ladjica, koje pokreće para ili benzin; ali zato troškovi uzdržavanja ne nadmašuju one kod drugih vrsti motorskih čamaca. Radi se samo o tom, da cijena električnoj struji ne bude velika. A to će doista u pravilu i biti, ako se struja za nabijanje akumulatora crpi iz električnih centrala u ono doba dana, kad one nisu odviše opterećene ili što je još bolje, ako vlasnik brodića imade svoj vlastiti električni uređaj.

Za uzdržavanje električnoga brodića ne treba posebnoga mašinstice, jer je svaki pouzdan čovjek bez posebne stručne spreme kadar nakon kratke upute ravnati električnim brodićem.

Slika 97. predložuje nam jedan od čamaca, koji su bili izloženi na obrtničkoj izložbi u Berlinu g. 1896. Duljina toga čamca iznosi 10 m, širina 2 m, a dubljina 1.2 m. Na njemu je bio elektromotor od 4.5 HP sa 600 okretaja u minuti. Težina mu je bila 400 kilograma. Na njemu je bilo smješteno 40 akumulatora sa kapacitetom od 275 Amperskih sati uz 5-satno izbijanje. Poslije izložbe ti su brodići prodani, pak se i danas u prometu nalaze.

Na slici 98. vidimo jedan električni brodić, koji danas služi za redarstvenu službu u Hamburškoj luci. Motor na njemu proizvodi 8 HP energije. Akumulatorska baterija ima 80 elemenata, a težina cjelokupnoga električnoga uređaja iznosi 3600 kilograma.

Iz svega toga razabire se, da su električni brodići vrlo zgodno prometno sredstvo za kratke vožnje, dakle recimo na rijekama i jezerima za prevoz osoba i robe s jedne obale na drugu, na moru — osobito u lukama — u svrhu rekognosciranja, spa-



Sl. 98. Rodarstveni električni čamac u Hamburgu.

šavanja utopljenika itd. Tu će oni radi dobrih svojih svojstava možda sasvim istisnuti čamce, koje giblje vodena para, benzin, petrolej itd. Ali naravno tako dugo, dok će ti brodići morati crpiti energiju za njihovo pokretanje iz akumulatorskih baterija, bit će i njihova uporaba ograničena na taj lokalni promet.

Što se tiče uporabe elektricitete za gibanje velikih brodova po rijekama i moru, to u tu svrhu nije moguće akumulatoru upotrijebiti već iz toga razloga, što bi baterija za pokretanje ovakovoga oceanskoga orijaša morala vanredno velika i teška biti, a usljed te prevelike težine vrlo bi malo drugoga pravoga tereta moglo stati na ovakov elektrobrod.

Uza sve to se ipak pomišlja na to, ne bi li inače kako bilo moguće, da brodove giblje elektriciteta. Nedavno je o tom pitanju predavao H e n r y A. M a v o r u društvu inženira i brodograditelja u Škotskoj. On preporuča, da brodove giblje električni motor, koji bi bio neposredno spojen sa osovinom vijka. Struju pak potrebitu za pokretanje toga motora mogao bi davati dinamo stroj, kojega bi gibalala parna turbina. Ovakov elektro- ili munjobrod imao bi osim raznih drugih prednosti po-lavito tu, da bi se njegov vijak vrlo lako i brzo dao sad na ovu sad na onu stranu okretati i time brod po volji naprijed ili natrag pomicati. Osim toga mogao bi kod ovakovih brodova promjer viljka mnogo veći, a brzina rotacije uz gotovo isti efekt mnogo manji biti. Usljed manjega broja okretaja osovine vijka ne bi se ovaj tako lako oštetio, kad bi u svom gibanju naišao na kakovu zaprijeku. Vidimo, da bi usprkos znatnim gubicima poradi mnogostrane transformacije energije prednosti ovakovih brodova pred običnim parobrodima dosta znatne bile; tako da nije isključeno, da će i do gradnje ovakovih brodova doći.

Mnogo bi dakako zgodnije bilo, kad bi elektromotor na brodu mogao inače kako dobivati energiju potrebitu za svoje gibanje n. p. od kakove centrale na kopnu, ali prenosom električne energije bez žica. Na tom problemu radi već mnogo godina i slavni naš zemljak N i k o l a T e s l a, koga u tom pogledu financijalno podupire poduzeće „Canadian Niagara Power Company“. Prema najnovijim vijestima, koje dolaze iz New-Yorka, čini se, da Teslini pokusi dobro uspijevaju i da će on naskoro moći pokazati praktične rezultate u tom pogledu.

Kad jedanput bude taj veliki zadatak moderne elektrotehnike, naime prenos električne energije bez žica, na velike udaljenosti i množine riješen ; onda je sigurno, da ćemo u brzo nakon toga moći viditi, da nam elektriciteta — ta velesila, koja podržaje cijeli svemir — giblje i orijaške brodove po beskrajnoj pučini mora, kako ih danas giblje energija nakrcana u ugljenu.

Spomenut ćemo još nešto o t. z. podmorskim čamcima. To su naime brodići, koji dulje vremena mogu ploviti ispod vode. Dosada je već priličan broj takovih brodića u porabi n. p. u Francuskoj, Engleskoj, Njemačkoj itd. Ovo najnovije vozilo nije doduše još usavršeno, ali se nza sve to već i danas sa znatnim uspjehom u ratnim mornaricama nekih država upotrebljava. Kad se pak dotjera, bit će od neprocijenive vrijednosti ne samo u ratne, nego i u mnoge druge pomorske svrhe.

Kako su ti podmorski brodići konstruirani, nije poznato, jer se njihova uredba iz pojmljivih razloga čuva kao velika tajna. Samo se toliko znade, da za njihovo pokretanje, rasvjetu itd. služi elektriciteta nakrcana u akumulatorima. A napokon teško je i zamisliti, da bi se druga vrst energije u tu svrhu dala uporabiti, pošto brodić, kad je pod morem, nije u savezu sa vanjskim zrakom, koji je neophodno potreban kod svih drugih motora i makina, koje ne pokreće elektriciteta.

Tim vidimo, da je elektriciteta omogućila sastav novoga vozila, koje se činilo toli fantastičnim, kad ga je genijalni Francuz J. V e r n e u jednom od svojih romana opisao.

Zrakoplovi.

Ima već tomu preko stotinu godina, da je čovjek došao na pomisao, da osim vozila na tvrdom kopnu i gipkim vodama, pronadje sredstvo, kojim bi se mogao voziti ili bolje rekuć ploviti u visinama našega zračišta. Na taj način nastali su zrakoplovi, koji su se prilično usavršili i mnogu korist već do danas donijeli znanosti i praktičnom životu. Jedna je ali mana, koja tereti tu vrst vozila, a ta je, da se ne dadu sigurno upravljati. Pitanjem tim bavilo se već mnogo umnih glava i velik je kapital u tu svrhu žrtvovan, pak prem su postignuti prilični uspjesi u tom pogledu, to ovo pitanje još nije tako riješeno, da bi se

zrakoplov mogao sigurno i bez opasnosti upotrijebiti kao prometno sredstvo. Pošto je pak vjerojatno, da će elektriciteta doprinijeti svoje i riješenju toga pitanja, to je zanimivo, da saznamo uzrok, radi kojega upravljanje balona nailazi na poteškoće.

Budući, da se zrakoplov potpuno nalazi u atmosferi, to on kao jedan njezin dio ima isto gibanje kao i ona. Prema tomu giblje se zrakoplov sa vjetrovi, ako ga ne pokreće nikakova motorička sila. Gibanje je takovoga zrakoplova prepušteno potpuno slučaju, odnosno raznim vjetrovima, koji u pojedinim slojevima zračišta vladaju. Takov zrakoplov može se samo tada za vožnju upotrijebiti, kad je više ili manje svejedno, kud će ga vjetar donijeti. Želimo li pak, da se zrakoplov može oduprijeti snazi vjetra, to ga moramo providiti sa strojem.¹ Kad bi naša atmosfera uvijek mirna bila, on'a bi lako bilo konstruirati stroj, koji bi po volji gibao zrakoplov. Ali pošto zračište nije nikad mirno, već se često puta i to osobito u većim visinama sa znatnom brzinom giblje; to bi trebalo na zrakoplovu namjestiti makinu, koja bi ga mogla gibati sa većom brzinom, nego li je brzina na onom mjestu atmosfere, u kom se on nalazi. Nu već brzine poprečnih vjetrova dosta su velike, s toga treba, da makina na zrakoplovu bude tako jaka, da dađe zrakoplovu brzinu, koja je barem nešto veća, nego li je brzina poprečnih vjetrova. Da ali makina može takovu brzinu postići, treba da ona proizvodi veliku množinu energije. Čim je ali množina energije, koju ona proizvodi, veća, tim je makina teža. I upravo ta činjenica nepovoljno utječe kod zrakoplova. Ako je naime makina odviše teška, tad je balon preopterećen, pak ga uzgon plina, kojim je on punjen (vodika, rasvjetnoga plina itd.) ne može više dizati. Dakle nezgodno je kod cijele stvari, što povećanje energije, koju makina proizvodi, prouzrokuje nerazmjerni prirast težine cijeloga balona. Kad bi moguće bilo konstruirati takove makine, koje bi bile daleko laglje, nego li što su današnje od željeza građene, tad

¹ To se obično tako radi, da se u ladjici balona namjesti kakav stroj, koji tad pokreće jednu osovinu, na kraju koje se nalazi ovedi vijak poput onoga, kakvi se rabi kod parobroda.

bi se i pitanje upravljanja balona dalo lako riješiti. Međutim za sada barem to nije moguće.

Kad dakle nije moguće graditi makine, koje proizvode velike množine energije a razmjerno su malene težine, tad se pomišljalo na to, da se za gibanje motora, koji pokreće vijak na zrakoplovu, upotrijebi električna energija.¹ Nu fatalno je, da su obični naši današnji akumulatori, kako sastoje od olovnih ploča, vrlo teški. Prema tomu, kad bi se htjela u ovakovu bateriju nakrcati velika množina energije, to bi i opet težina balona tako porasla, da ga uzgon plina ni dignuti ne bi mogao. Pošto se ali odavna u elektrotehnici za tim ide, da se pronadju akumulatori, koji bi laglji bili od današnjih, a nije nemoguće, pa će do toga doći — jer znatan nam napredak u tom pogledu predložuju najnoviji naprijed spomenuti Edison-ovi akumulatori, to ima nade, da će se pomoću takovih akumulatora moći vijku na balonu dati onakova brzina, kakova je potrebna za svladavanje običajnih vjetrova — i tim bi problem upravljanja zrakoplova bio u glavnom riješen.

¹ Tim bi se vrlo mnogo postiglo i obzirom na požarnu sigurnost samoga balona.

VIII.

Električni aparati Nikole Kesslera za spriječavanje nesreća na željeznicama.

O željezničkim nesrećama uopće.

Otkad željeznice postoje, događaju se na njima svakakve nesreće. I ako željeznička mreža postaje svakim danom gušća, ne događaju se te nesreće prečesto — u nekim su državama svedene na minimum — ali još uvijek u tolikoj mjeri, da uz najveću pažnju nastrada mnogo ljudi i tjelesno i materijalno, a razumije se samo po sebi, da kod toga imaju željeznička društva upravo ogromnih šteta. Da ovo dokažemo, donosimo po statistici američkog „Interstate Commerce Commission“ o željezničkim nesrećama, koje su se dogodile u Sjedinjenim Državama u prva tri mjeseca god. 1907. Za ovo vrijeme bilo je 2078 sukoba i 1913 iskoka vlakova. Putnika i željezničkog osoblja bilo je mrtvih 421, ranjenih 4920. Željeznička društva imala su štete 3.536.110 dolara (= 17.682.550 kruna).

Godine pak 1906. bilo je 4295 mrtvih i 11.185 ranjenih, dok je šteta iznašala oko 12 milijuna dolara (= 60 milijuna kruna). Na svim američkim željeznicama u prvoj četvrti god. 1907. bilo je mrtvih i ranjenih 20.563. Kad se uvaži, da se u ljetnim mjesecima zbog većega osobnoga prometa događa mnogo više nesreća, to se može ustvrditi, da na američkim željeznicama postrada godišnje preko 100.000 ljudi.

Zaista ogromne su ljudske žrtve i materijalna šteta na željeznicama, a sve zato, što se često puta posvećuje ljudskom životu premalo pažnje, što oni, koji su ovakovim nesrećama krivi, ne osjećaju nikakove odgovornosti ni prema Bogu ni prema svojem bližnjemu!

Nema sumnje, da se najstrašnija katastrofa dogodi onda, kad se sukobe dva vlaka, koji s velikom brzinom jure jedan

proti drugomu. Kod ovakova sukoba malo će koja kola ostati čitava, a sretan je onaj putnik, koji uz užasan strah prodje s lakšom ili težom ozledom.

Rijedje se događa, da brži vlak naleti na vlak, što laganije pred njim ide, a nije u ovakovom slučaju ni katastrofa velika.

Pojedini ljudi i životinje ponajviše nastradaju na križanjama cesta i željezničkih pruga. Stražar željeznički ili zaboravi zatvoriti prelaz preko ceste ili ga s lijenosti ili s kojega drugoga razloga propusti zatvoriti — u tren oka dožuri vlak, zahvati konje i kola, ako slučajno prelaze preko tračnica, još jedan tren i ukaže ti se grozna slika : od ljudi, konja i kola ne vidiš do same komade !

Rijetko kad ali se događa, da nastradaju radnici, što popravljaju željezničku prugu ; zabavljeni poslom i ne misle na neman, koja kao da vreba zgodan čas, pa da proguta svoju žrtvu !

Čestoput lopovi ili zli ljudi oštete tračnice ili na njih navaljaju teško kamenje. I ako nadglednik pruge na vrijeme ne opazi zapreke i na vrijeme ne ustavi vlak, eto opet užasne nesreće osobito, ako se takovo mjesto nalazi blizu vode ili kakvoga ponora.

Iskakivanje vlakova iz tračnica, kako naprijed vidjesmo, neznatno zaostaje za sukobima, a naravno da i kod ovakove nesreće nastrada dosta ljudi i napravi se mnogo štete.

Iz svega ovoga vidimo, da se željezničke nesreće često događaju, da su im uzroci različiti, a šteta materijalna i stradanje ljudi upravo ogromno. I baš zato čudnovato je — kako nedavno piše jedan njemački list, opisujući neku željezničku nesreću — da se još uvijek nije našao čovjek, koji bi izmislio način, kako bi se mogle zapriječiti sve ove različite nesreće i zaključuje, da ih je valjda i nemoguće odstraniti.

Tako njemački list, a u isto doba prima mladi Hrvat iz Dalmacije, Nikola Kessler patente iz raznih država na svoj izum, na električne aparate, koji će onemogućiti željezničke nesreće svake vrste onim časom, kad se na željeznicama uvedu.

Kad i ne bi željezničke uprave uvele Kesslerove aparate na svojim prugama zbog zahtijevanja publike, one će ih cijelo uvesti zbog svoje vlastite koristi, jer im jedan jedini

sukob napravi štete po nekoliko stotina tisuća kruna. S tom pak svotom moći će lako postaviti aparate na svim svojim prugama i od izumitelja otkupiti pravo, da se s njima služe.

Nikola Kessler izumio je u sve četiri sistema aparata, koji na vrijeme upozoruju na opasnost, koja prijeti vlakovima ili pojedinim ljudima.

Idemo, da te aparate opišemo.

A. Aparati za spriječavanje sukoba vlakova.

Vodjenje električne struje. Izoliranje tračnica.

Može se posve izvijesno ustvrditi, da je ne samo mnogi pravi fizičar (koji se medjutim možda i nije ozbiljno bavio ovim pitanjem), već i gdje koji inteligentniji laik pomislio, da bi se kakogod s pomoću električnih zvonaca upozorilo vlakovodje na pogibelj sudara njihovih vlakova. I medju Kesslerovim



Sl. 99.

aparatima, koji onemogućuju sukob, nalazi se električno zvonce, koje se prvo javi i daje znak, da je pogibelj blizu. Nu svima onima, koji su se možebit ovim problemom bavili, bilo je valjda najteže riješiti pitanje vodjenja električne struje od jednoga zvonca do drugoga, što su smješteni na lokomotivama. Ovo je pitanje u istinu i najvažnije, pa ćemo se s njime najprije pozabaviti.

Za vodjenje struje upotrebljavaju se željezničke tračnice i jedna neprekinuta metalna žica, koja se postavlja između tračnica po sredini ili pak s njima usporedno. Same tračnice ne mogu se upotrebljavati za vodjenje električne struje, jer bi tad ona preko kotača i osovina lokomotive bila uvijek spojena, te bi električno zvonce neprestano zvonilo.

Tračnicama se vodi struja istim smjerom, a žicom natrag protivnim smjerom. Ako dakle uzmemo, da na lokomotivama A i B (sl. 99.) imademo električno zvonce i bateriju, onda ćemo

struju voditi na ovaj način : Iz baterije *a* na lokomotivi *A* izlazi struja, prolazi kroz zvonice *b*, pak tračnicama dolazi kroz zvonice *d* na lokomotivi *B* u bateriju *c*, a odatle žicom po sredini natrag u bateriju *a*.

Struja se može voditi iz baterija na tračnice preko osovine i kolesa lokomotive, a na žicu pomoću jednoga kotačića ili se pak na jednoj drvenoj motki namjeste tri metalne metlice koje se skližu po tračnicama i po žici, kad vlak ide. Metlice koje se skližu po tračnicama spojene su žicom s jednim polom baterije, a metlica, koja je u kontaktu sa žicom, spojena je s drugim polom (vidi sl. 103).

Ovime smo riješili pitanje vođenja električne struje, samo to vođenje treba udesiti tako, da zvonice zvoni samo onda, kad je to od potrebe, t. j. onda, kad se dva vlaka toliko približe, da bi se u istinu mogli sukobiti. Ovo se pak postizava izoliranjem tračnica na stanovitim mjestima.

Poznato je, da tračnice sastoje od komada, koji su pričvršćeni na drvenim podvalama, a vezani su među sobom željeznim sponama. Na određenim mjestima ne ćemo ove komade tračnica kao dosada vezati željeznim sponama, već ćemo ih izolirati tako, da struja ne prelazi s jednoga komada na drugi. Ovo se izoliranje može provesti na dva načina. Na onom mjestu, gdje se provadja izolacija pričvrste se krajevi tračnica posebice na istoj podvali, ne spajaju se željeznim sponama ili se pak oba kraja među sobom spoje s dvije jake željezne spone, koje se pričvrste na podvalu, a među sobom svežu s jednim šarafom, za koji se izvrtla škulja u pukotini između obiju krajeva tračnica. Između spona i tračnice te oko šarafa stavi se izolator (eternit, tvrda guma i dr.) tako, da ni spona ni šaraf nijesu ni u kakovom vodljivom spoju s tračnicama.

Ovakovo se izoliranje ne provadja svuda, već u razmacima, koji su više od četiri puta toliki, koliko je potrebno, da se može ustaviti sam od sebe najbrži vlak, ako se parni ventil zatvori. Izoliranje se provadja na obim tračnicama izmjenice tako, da je od jednog izoliranog mjesta na jednoj tračnici jednako daleko do dva druga susjedna izolirana mjesta na drugoj tračnici, n. pr. $MN = NP = PR = RS = \dots$ (sl. 99).

Gdje se ne bi htjelo upotrebljavati tračnice za vođenje struje, mogu se uz onu žicu po sredini postaviti još druge dvije žice, koje bi morale biti na stanovitim mjestima izmjenice ispretrgane i po njima bi se sklizale spomenute metalne metlice, koje su u vodljivom spoju s jednim polom električnog izvora na lokomotivi.

Dolazi li jedan vlak s lijeva, a drugi s desna (sl. 99.), te na pr. lokomotiva prvoga predje izolirano mjesto M , a lokomotiva drugoga vlaka izolirano mjesto P , bit će struja sklopjena preko kotača lokomotiva, dijela tračnice MP i žicom, pa će zvonca na obim lokomotivama zazvoniti i dati vlakovodjama znak, da vlakove ustave.

Slično se događa s vođenjem struje, ako se vlakovi nalaze izmedju izoliranih mjesta N i R .

Kad su tračnice ovako izolirane, isprekidane, ne može nikako doći do sukoba vlakova. Žica izmedju tračnica mora se svakako postaviti. Ova žica može služiti za brzojavljanje izmedju pojedinih postaja, pak vidimo da ne treba ništa drugo učiniti već naprosto skinuti s telegrafskih stupova žicu, koja je za ovu svrhu određena, te je postaviti izmedju tračnica, da tako služi i za vođenje električne struje kroz Kesslerove aparate.

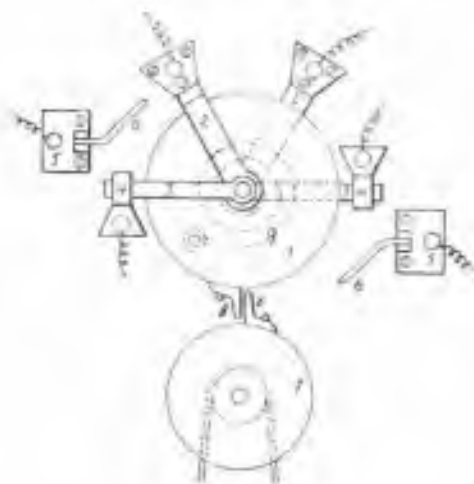
Izoliranje tračnica i postavljanje žice ne iziskuje odviše velikih troškova.

Komutator.

Ako pogledamo sl. 99. vidimo, da je pozitivni pol jedne i negativni pol druge baterije u vodljivom spoju sa žicom dotično s tračnicama. Nu kad bi, recimo, oba pozitivna pola bila u vodljivom spoju sa žicom ili sa tračnicama, tad ne bi bilo nikakove struje, pak zvonca ne bi moglo upozoriti na pogibelj, koja vlaku prijeti. Da se tomu nedostatku doskoči, Kessler je konstruirao komutator, koji polove baterija uvijek valjano spaja.

Kesslerov se komutator (sl. 100.) sastoji iz kotača 1 nataknutog na os, kojoj se krajevi pričvršćeni na dasci pomoću metalnih nosioca 2. Kotač i os napravljeni su od izolatora. Na kotaču s obiju njegovih strana pričvršćene su metalne ruče 3,

te su u dodiru s nosiocima. Sa strane kotača nalaze se vilice 4, u kojima poživaju ruče, zatim kontaktni stalci 5 s metalnim perima 6. Na periferiji kotara 1 pričvršćen je jedan zub 8, kojega zahvaća isto takav zub kotača 7. Kad vlak ide, vrti se kotač 7 na lijevo s pomoću remena, koji je u svezi s rotacijom lokomotivnih kolesa, te njegov zub zahvaća zub kotača 1, pri čem se ovaj kotač okrene na desno i donese ruče u kontakt s perima. Kad se zubi mimoidju, vrati se kotač 1 pomoću spiralnog pera 9 natrag u prijašnji položaj, te donese ruče opet u kontakt s vilicama. Jesu li ruče u doticaju s vilicama



Sl. 100.

ili s perima, proletjet će struja iz baterija, ako su polovi valjano spojeni, te će aparati stupiti u djelovanje. Nijesu i polovi u ovom slučaju dobro spojeni, bit će spojem onda, kad su ruče jednoga komutatora (na lokomotivi A, sl. 99.) u kontaktu s vilicama, a drugoga komutatora (na lokomotivi B, sl. 99.) u kontaktu s perima.

Nu mogao bi tko god zapitati: „A zar se ne bi moglo dogoditi, da se oba komutatora kreću u isto doba tako, te se struja ne može sklopiti?” Istina, to se može dogoditi, ali samo časak, kako ćemo odmah vidjeti.

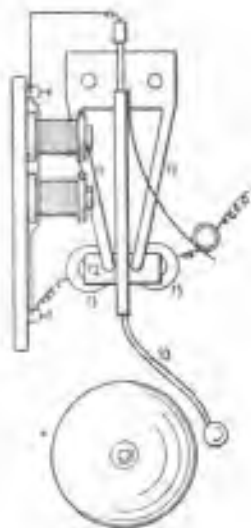
Kad se na lokomotivama postave Kesslerovi aparati, onda će se ustanoviti, da svi pozitivni polovi baterija na svima lokomotivama, koje idu na pr. iz Zagreba put Rijeke imaju biti u vodljivom spoju s tračnicama, a negativni polovi sa žicom, dok za one lokomotive, koje idu iz Rijeke put Zagreba vrijedi obratno. U ovom će se slučaju uzeti da je struja sklopljena, ako su ruče komutatora u kontaktu s vilicama ili s perima. Ovakovo sklapanje struje postizava se s pomoću osobitog komutatora (D u sl. 103).

Kad se vlakovi kreću, kreću se i komutatori i to tim brže, što vlakovi brže jure, te će ruče dolaziti u kontakt sad s perima sad s vilicama. Idu li si vlakovi na susret te ruče obiju komutatora u isto doba tiču pera ili vilice, struja je u oba slučaja sklopljena. Ako su pak u isto doba ruče jednoga komutatora u kontaktu s vilicama, a drugoga s perima, tad struja nije sklopljena, ali samo momentano, jer su ruče u kontaktu s vilicama duže nego li s perima.

Idu li pak vlakovi istim smjerom, struja će biti sklopljena onda, kad su ruče jednoga komutatora u kontaktu s perima, a ruče drugoga komutatora u kontaktu s vilicama. Idu li vlakovi istom brzinom ne mogu se stići, pak je svejedno je li se struja može valjano sklopiti ili ne. Idu li pak vlakovi različitim brzinama kreću se i komutatori jedan brže drugi sporije, pa struja može biti sad sklopljena sad rasklopljena.

Električno zvonce.

Kad se dva vlaka dovoljno približe te se struja sklopi, prvo će se javiti električno zvonce i na vrijeme upozoriti na pogibelj, koja vlaku prijeti. Nu kako se vlak odviše trese kad ide, batić bi često udarao o zvonce, pa bi zvonjenje vlakovodju lako moglo zavesti. Da se tomu nedostatku doskoči, Kessler je ispod batića zvonca postavio elastične ruče 11 (sl. 101.), koje drže batić, da ne udara o zvonce, kad to nije od potrebe. Ove ruče svršavaju sa željeznom pločicom 12, ispod koje se nalazi elektromagnet 13, oko kojega je omotan nastavak žice, koja ide oko elektromagneta zvonca. Kad je struja sklopljena, pritegne elektromagnet 13 pločicu 12 i ruče 11 dolje, batić zvonca postane slobodan, te usljed djelovanja elektromagneta zvonca može nesmetano udarati po zvoncu. — Kad struja nije sklopljena, ispusti elektromagnet 13 ruče 11, te one opet priječe batiću, da udara o zvonce.

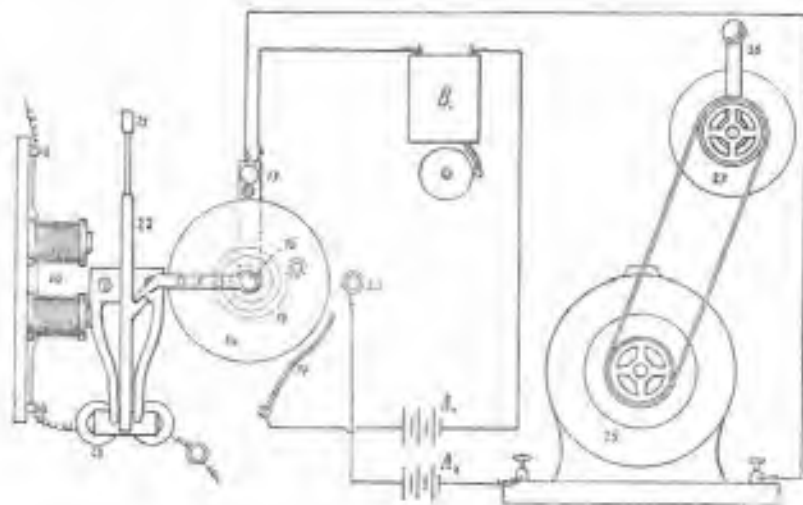


Sl. 101.

Automatičko ustavljanje vlaka.

Predju li dva vlaka posljednje izolirano mjesto (na jednoj ili na drugoj tračnici) što ih dijeli, sklopit će se električna struja, te će zvonjenje električnoga zvonca upozoriti vlakovodju, da vlak ustavi. Ne zazvoni li zvonce ili pak vlakovodja prečuje njegovo zvonjenje, te vlaka ne ustavi, sukob je neizbježiv. Kessler je i ovomu nedostatku doskočio time, što je konstruirao aparat, s pomoću kojega se vlak automatički ustavlja, čim je struja sklopljena.

Na kotaču 14 (sl. 102.) pričvršćena je metalna poluga 15, koja je na kraju u kljun zavinuta. Ova je poluga preko osi



Sl. 102.

kotača u kontaktu sa šarafom 17. Ispod kotača nalazi se metalno pero 19, a desno metalni klin 20. Lijevo od kotača pričvršćena je u 21 poluga 22, na kojoj je zub, koji drži kljun poluge 15. Polugu 22 drže isto onakove elastične ruče, kao što su one, što drže batić električnoga zvonca. Spiralno pero 18 nastoji, da kotač okrene na lijevo (u protivnom smjeru kazala na uri).

Kad je struja sklopljena, pritegne elektromagnet 23 elastične ruče, one ispuste polugu 22, koju sad pritegne elektromagnet 24. Kod toga ispadne kljun poluge 15 iz zuba poluge 22,

te kako kotač ima poticaj, da se kreće na lijevo, on se sad u tom smjeru okrene (kretanje se njegovo može po volji regulirati), pri čem kljun postrugne po metalnom peru 19 i konačno se zakvači o klin 20. Dok je poluga 15 u kontaktu s perom sklopljena je lokalna struja A_1 jednog drugog električnog zvonca B_1 , koje je jednako konstruirano kao i ono prvo, samo mu je drugačiji zvuk. Kad se pak kljun zakvači o klin 20, sklopi se lokalna struja A_2 kakvog motora 25, koji se tad stane vrtjeti, te s pomoću remena okrene polugu 26 „zavora za slučaj pogibelji“, parni se ventil zatvori i vlak se malo pomalo stane ustavljati, dok se konačno ne ustavi.

Nakon djelovanja ovoga aparata, stavi se kotač i poluga rukom u njihov prvobitni položaj.

Zajedničko djelovanje do sada opisanih aparata.

Svi aparati, što smo ih netom opisali smješteni su jedan kraj drugoga na stijeni lokomotive. Rasporedjaj njihov prikazuje sl. 103.

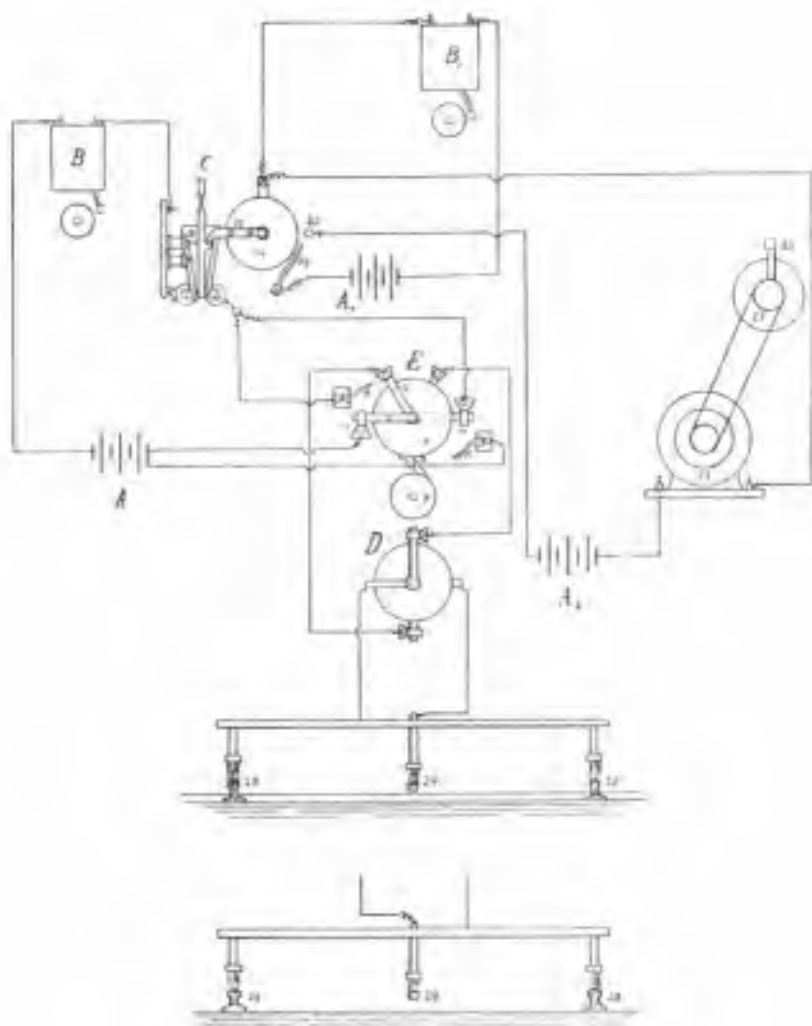
A je bilo kakav izvor električne struje, na pr. dinamo ili akumulator. Iz pozitivnoga pola ove baterije ide žica oko elektromagnetâ zvonca B i elastičnih ruča (11), a odavle opet oko elektromagnetâ aparata C , koji automatički ustavlja vlak. Odavle idu dalje dvije žice i to, jedna do jedne vilice 4, a druga do jednog para 6 komutatora E . Druga pak vilica 4 i drugo pero 6 spojeni su žicama s negativnim polom baterije A . Nosioci 2 komutatora E spojeni su preko komutatora D i metalnih metlica sa tračnicama 28 i žicom 29, što je položena između tračnica.

Još imamo dvije baterije: bateriju A_1 za električno zvonce B_1 i bateriju A_2 za motor 25. Kako je zvonce B_1 i motor vezan s aparatom C i s baterijama A_1 i A_2 vidi se iz slika 102 i 103.

Sve ovo smješteno je na svima lokomotivama i aparati su na isti način međju sobom vezani.

Kod opisivanja komutatora E spomenuli smo, kako će se polovi baterija A na obim lokomotivama vezati preko komutatora D s tračnicama i sa žicom (29). Je li struja ovih baterija sklopljena s pomoću komutatora E , proletjet će ona kroz električno zvonce B , koje daje prvi znak, da je pogibelj blizu. Odatle

ide struja oko elektromagneta aparata C. Usljed djelovanja ovih elektromagneta okrenut će se kotač 14, te će poluga 15



Sl. 103.

doći u kontakt s perom 19, čime se sklopi struja baterije A_1 ; zvonce B_1 zazvoni i tako daće drugi znak pogibelji. Pošto ovo

zvonce ima drugačiji zvuk nego li zvonice B , znak je, da su stupili u djelovanje aparati, koji će automatički zaustaviti vlak. Zvonjenje zvonaca svakako je najsigurniji znak, da je sklopljena struja baterije A .

Kad kljun poluge 15 prodje pero 19, zakvači se o klin 20 i tako sklopi struja baterije A_2 ; motor se zavrti i okrene polugu „zavora” za slučaj pogibelji, ventil zatvori paru, te se vlak pomalo ustavi.

Jednako djeluju aparati i na drugoj lokomotivi.

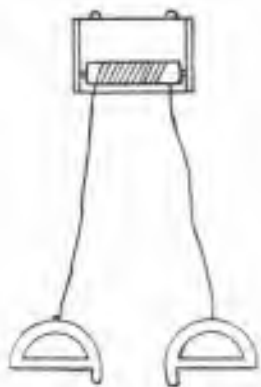
Idu li vlakovi nasusret, zvonice će B neprestano zvoniti, dok će zvoniti isprekidano, kad vlakovi idu istim smjerom. Ovo može vlakovodjama služiti za ravnjanje.

Često puta događaju se nesreće na kolodvorima usljed toga, što je dolazeći vlak pušten, (pošto je mjenjalo pogrešno postavljeno) na tračnice, na kojima već stoji drugi vlak ili koji vagon. Izoliraju li se zgodno tračnice to će dolazeći vlak odmah dobiti znak i ustaviti se, jer je došao na tračnice, na kojima stoji drugi vlak. Nalazi li se pak na tračnicama koji vagon, onda će se kraj njega s metalnim štapom sastaviti tračnice i žica 29. Kad vlak dodje na ove tračnice, sklopit će se struja baterije A , pa će Kesslerovi aparati stupiti u djelovanje.

Primjedba. Na vlakovima bi se mogli postaviti brzojavni aparati, te bi se moglo brzojavljati s vlaka na vlak i opet sa svake postaje na svaki vlak. Kako bi se ovo uredilo, ne ću potanje opisivati.

B. Aparati za ustavljanje vlakova.

Poznato je da željeznički stražar ili njegov zamjenik često pretražuje tračnice, da nema možda na njima kakove zapreke, bilo da se odronila pećina, bilo da su zlikovci oštetili tračnice ili na njih postavili teško kamenje ili su pak sami vlakovi oštetili tračnice. Da vlak nadodje na takovo mjesto ili bi iskočio iz tračnica, ili bi se tako oštetio, te ne bi mogao nastaviti put. Opazi li stražar bilo kakovu zapreku ili pogrešku na tračnicama, on ustavi vlak pomoću propisanih znakova zastavicom ili svjetiljkom. Nu može se dogoditi, da stražar prekasno opazi zapreku a vlak dolazi iza kakove pećine ili zaokreta u šumi, te



Sl. 104.

ne dospije, da vlakovodji dađe potrebite znakove, da vlak ustavi ili pak vlakovodja znakove uopće ni ne opazi, doletjet će vlak na dotično mjesto i nesreća je gotova.

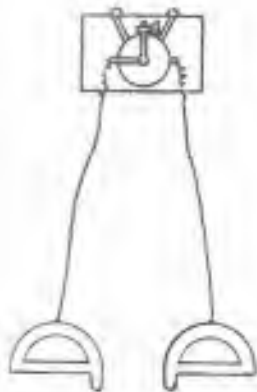
Ako su lokomotive providjene Kesslerovim aparatima te tračnice izolirane na poznati način i izmedju njih položena metalna žica, može stražar vlak odmah ustaviti, čim opazi zapreku, na taj način, da s jednim metalnim štapom spoji tračnice i žicu 29. Time se sklopi struja baterije *A*, pak tada dalje djeluju ostali Kesslerovi aparati i vlak se ustavi.

Mjesto metalnog štapa mogu se upotrebiti metalne ostruge, što ih je Kessler konstruirao. Ostruge su (sl. 104.) spojene medju sobom žicom, što ide oko drvenoga valjka, koji se nalazi u kutiji, te je stražar priveže oko pasa remenom. Kad je potrebno da vlak ustavi, stavi stražar ostruge na noge, te jednu pritisne na tračnicu, a drugu na žicu 29. Struja se baterije *A* sklopi, zvonce na lokomotivi zazvoni i vlak se ustavi.

Mjesto drvenog valjka može se u kutiju staviti komutator, električna baterija i zvonce (sl. 105). Kod potrebe okreće stražar komutator rukom, pa ako njegovo zvonce zazvoni, znak je, da se sklopila struja baterije *A*. Ovaj je aparat bolji i sigurniji, jer isključuje, da bi se vlak stražaru odviše približio.

C. Aparat za sigurnost željezničkih radnika.

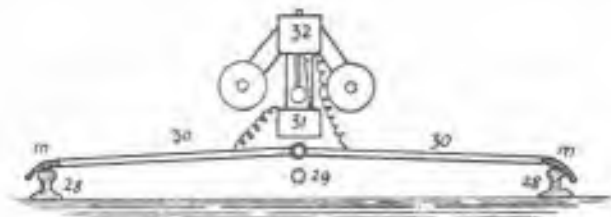
Nikola Kessler skrbio je i za radnike, što na pruži rade, da ih vlak ne iznenadi, te ne nastradaju. Kessler je konstruirao aparat (sl. 106.), koji se sastoji iz dviju po sredini sastavljenih poluga (30), kojima su široki krajevi (*m*) okovani metalom. Poluge nose u sredini bateriju 31 (akumulator), kojoj su polovi spojeni s metalnim krajevima poluga. Tu je još uvršteno dvostruko električno zvonce (32).



Sl. 105.

Postavi li se ovaj aparat na tračnice tako, da ih tiču metalni krajevi poluga, tad će se sklopiti struja baterije ovoga aparata, čim vlak predje posljednje izolirano mjesto, što ga dijeli od ovoga aparata. Struja naime ide iz one baterije (31) jednom tračnicom preko kotača i osovine lokomotive drugom tračnicom, kroz zvonice natrag u bateriju. Kad zvonice zazvoni, upozori radnike na vlak, oni tad skinu aparat s tračnica, te se uklone i pričekaju dok vlak prodje.

Kod ovoga aparata valja paziti, da ne dodju tračnice u vodljivi spoj sa žicom (29), jer bi u tom slučaju bila sklopljena struja baterije A, te bi tako vlak dobio znak da stane, a to ne smije da bude. Sam aparat treba na tračnice uvijek tako postaviti (gdje se to može), da jedan kraj poluge stoji povrh



SL 106.

jednoga izoliranoga mjesta tako, da se izolacija na tom mjestu ukinе ili se pak aparat postavi dosta daleko od ovakova mjesta. U blizini samog izoliranog mjesta ne smije se aparat nastavljati, jer bi se u tom slučaju vlak mogao s jedne strane aparata posve približiti, a da ne zazvoni njegovo zvonice, budući da sklapanje struje priječi dotično blizu izolirano mjesto. Postavlja li se aparat u blizinu izoliranog mjesta, može se izolacija na onom mjestu lako ukinuti žicom ili metalnim umetkom.

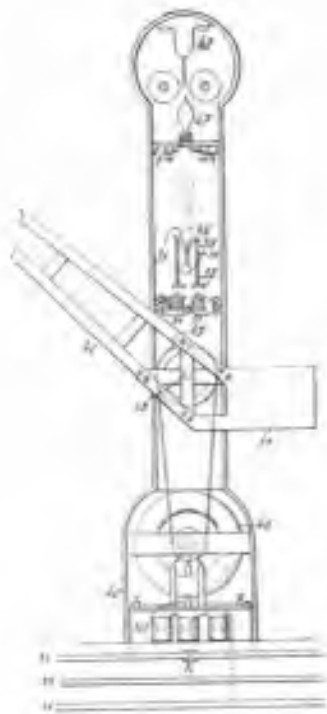
Kad aparat ne služi, može se poluga po sredini pregnuti, pa se lakše prenaša.

D. Aparat za automatičko zatvaranje prelaza preko tračnica.

Kako već u početku spomenusmo, često se puta događja, da željeznički stražar zaboravi ili hotimice propusti zatvoriti prelaze preko tračnica, kud ima proći vlak, pa se osobito noću događaju nesreće; nastrada po koji ljudski život i t. d.

Nikola Kessler mislio je i o tom, kako bi i ove nedostatke popravio i nesreće uklonio, te je konstruirao spravu, koja djeluje, čim se vlak tomu mjestu približi: zvonice stane zvoniti, prelaz se automatički zatvara, a jedna kazaljka pokazuje smjer, odakle vlak dolazi. Po noći pak upali se i jedna električna svjetiljka.

U šupljem stupu (sl. 107.), koji se postavlja kraj prelaza ceste preko tračnica, nalazi se kakavgod izvor električne struje 41.



Sl. 107.

On daje aparatima, što se povrh njega nalaze, potrebitu električnu energiju i tako ih stavlja u gibanje. Poluga 42, koja se može kretati oko osi 43, opterećena je na kraćem kraku teretom 44, koji je zajedno s tim krakom nešto teži od dužeg kraka poluge. Na osi 43 natakuto je kolo 45, koje se vrti pomoću remena, što ide oko drugoga kotača 46, kad je sklopljena električna struja izvora. U struju je uvršteno električno zvonice 48 svjetiljka 47.

Kazaljka, koja ima da pokaže odakle dolazi vlak, ovako je konstruirana: Sama kazaljka 49 nalazi se izvan stupa, dok njezina os, oko koje se kreće lijevo ili desno, ulazi u nutrašnjost stupa te ima na kraju uteg 50, koji drži kazaljku vertikalno. Na kraju osi ove kazaljke pričvršćena je s obji

strana po jedna slomljena poluga 51, koja se svršava sa željeznim pločicama 52. Ispod svake ove pločice nalazi se po jedan par elektromagneta (53 i 54).

Pred samim stupom nalazi se na jednoj tračnici (28) izolirano mjesto K, dok su na drugoj tračnici na jednu i na drugu stranu izolirana mjesta jednako daleko. S ovom drugom tračnicom spojen je jedan pol električne baterije 41, dok iz drugog

pola ide žica kroz motor 46, oko elektromagneta 53, kroz svjetiljku 47 i zvonice 48 do tračnice s jedne strane izoliranog mjesta K. Isti pol spojen je opet sa svima aparatima, samo što sad žica ide oko elektromagneta 54 te onda do tračnice s druge strane izoliranog mjesta.

Približi li se vlak stupu s kojegod strane, struja će baterije 41 biti sklopljena preko tračnica, zatim kotara i osi lokomotive, te će aparati u stupu stupiti u djelovanje. Dodje li na pr. vlak s desne strane, zavrtjet će se motor 46 i okrenuti polugu 42, koja će zatvoriti cestu. Elektromagnet 53 pritegnut će pločicu 52 dakle i polugu 51, a kako je ova u čvrstom spoju s osi kazaljke, ova će se os okrenuti, a s njom i kazaljka na onu stranu, odakle dolazi vlak. Osim toga zazvoni zvonice i zapali se svjetiljka.

Dolazi li vlak s lijeve strane, aparati djeluju kao i prije, samo što sad elektromagnet 54 okrene kazaljku na drugu stranu.

Kad vlak prodje mimo kućice i predje prvo izolirano mjesto na drugoj tračnici (donjoj u sl. 107.), rasklopi se struja baterije 41, teret 44 dignu polugu 42, elektromagnet 53 ili 54 ispusti pločicu 52, te uteg 50 uspravi kazaljku. Zvonice prestane zvoniti a svjetiljka utrne i prolaz je opet slobodan.

Ista ovakova sprava može se namjestiti na kolodvorima, da upozori činovnike, da je vlak blizu. U toliko je jednostavnija, što ne treba ni motora ni poluge, već samo kazalo, zvonice i svjetiljku. Ovakav aparat u malenom mogao bi se postaviti na stol ili na zid ureda na kolodvoru i na željezničkim stražarnicama; dosta je baterija, zvonice i kazaljka bez kućice.

Stoji sad do vlasnika željeznica, da se okoriste ovim izumima. Oni su i dužni, da upotrebe sva sredstva, koja će štititi sigurnost putnika i robe. Sad kad su se izumili aparati, koji sukob vlakova posve isključuju, ima i publika pravo zahtijevati od vlasnika željeznica, da na svojim prugama uvedu ove aparate, pa nema sumnje, da će ih i uvesti, samo neka to bude što skorije.

IX.

Dodatak.

Najvažnije električne jedinice mjerenja.

Svaka se izmjerena veličina izrazuje imenovanim brojem, n. pr. 3 metra. Kolik je taj broj (t. j. brojna vrijednost te veličine), to zavisi o odabranoj jedinici mjerenja. Na pr. Dužina od 3 metra može se izraziti i sa 300 centimetara i sa 3000 milimetara.

Za sve veličine, koje se u fizici mjere, trebaju tri osnovne jedinice mjerenja: 1. jedinica za mjerenje dužina, 2. jedinica za mjerenje vremena i 3. jedinica za mjerenje mase. Fizika upotrebljava ove „osnovne jedinice“:

I. Osnovne jedinice.

1. *1 centimetar* (1 cm) za mjerenje dužina, centimetar je stotak metra;

2. *1 gram* za mjerenje mase; gram je tisućina mase jednoga komada platiniridija, koji se u Parizu čuva kao „kilogramme des archives“;

3. *1 sekunda* (1^s) za mjerenje vremena; sekunda je $\frac{1}{86400}$ dana.

Svak sustav mjerenja, u kojem su osnova svakomu mjerenju ove 3 osnovne jedinice (jed. za dužinu, masu i vrijeme) zove se „apsolutni sustav mjerenja“; a ako su te 3 osnovne jedinice baš centimetar, sekunda i gram, dajemo mu ime „centimetar-gram-sekundni sustav“ i pišemo kratko „C-G-S-sustav“ (čita se često: „ce-ge-es sustav“).

II. Izvedene mehanične jedinice u C-G-S sustavu.

1. Jedinica brzine. Tijelo ima u C-G-S sustavu brzinu 1, ako u 1 sekundi preleti 1 cm.

2. Jedinica ubrženja (str. 48). To je ubrženje, kod kojega tijelu brzina u 1 sekundi naraste za 1 centimetar.

3. Jedinica sile (str. 49). To je sila, koja masi od 1 grama daje jedinicu ubrženja, dakle u 1 sekundi tijelo ubrzuje za 1 centimetar. Toj jedinici sile dajemo ime „1 din“.

Tlak mase od 1 kg. na horizontalnu podlogu takodjer je neka sila. Ta „težina“ 1 kilograma jednaka je u našoj mjeri 981.000 dina ($= 981 \cdot 10^5$ dina). (Isp. str. 51.)

4. Jedinica radnje (str. 59). To je ona radnja, što ju izvršuje sila od 1 dina, kada masu pomakne za 1 centimetar. Toj jedinici radnje dajemo ime „1 erg“.

Ako na pr. treba teret od 1 kilograma ($=$ težinu 1 kg.) dignuti 1 metar visoko, treba za to izvršiti (na pr. mišićima čovjeka) radnju jednaku $981000 \times 100 = 98,100.000$ erga ($= 9,81 \cdot 10^7$ erga). Ta se radnja u tehnici zove „radnja od 1 kilogrammetra“ (str. 60).

5. Jedinica za efekt sile (str. 164). Efekt sile zove se radnja izvršena od te sile u 1 sekundi. Jedinica efekta bit će dakle onaj efekt, kod kojega se izvrši radnja od 1 erga u 1 sekundi. No kako je ta jedinica efekta premalena, složi se 10 milijuna tih jedinica ($= 10^7$) u veću jedinicu, kojoj dajemo ime „1 watt“ (str. 166). To je dakle efekt, kod kojega neka sila u 1 sekundi izvrši 10 milijuna erga radnje. — U tehnici je i 1 watt premalena jedinica za efekte sile, pak se složi 1000 watta u veću jedinicu, kojoj dajemo ime „1 kilowatt“. Stroj ima dakle efekt od 1 kilowatta, ako on u svakoj sekundi izvršuje radnju od 1000×10 milijuna erga t. j. radnju od 10.000 milijuna erga ($= 10^{10}$ erga) (str. 166). — Još se u tehnici efekt strojeva mjeri i po „konjskoj snazi“ (HP ili PS). To je efekt, kod kojega sila izvršuje u svakoj sekundi 75 kilogrammetara radnje, dakle je

1 konjska snaga $= 763$ watta $= 0,736$ kilowatta (str. 166).

Cjelokupna se radnja sile u nekom vremenu izračuna, ako se njezin efekt pomnoži s vremenom (izraženom u sekundama).

Time nastaju za radnje sila imena: „watt-sati“, „kilowatt-sati“ i „sati konjske snage“ (str. 167). Na pr. 1 kilowatt sat = $10^{10} \times 60 \times 60$ erga = 36×10^{12} erga t. j. radnja od 36 bilijuna erga.

III. Najvažnije električne jedinice mjerenja.

1. Jedinica za množinu elektricitete (str. 33. i 34.). To je množina elektricitete, sabrane na tjelešču, koja na isto toliku množinu elektricitete, sabranu na tjelešču udaljenu 1 cm, izvršuje baš silu od 1 dina. Zove se „elektrostatička jedinica“ za množinu elektricitete. Premalena je za praksu. Ništa manje nego 3000 milijuna (= $3 \cdot 10^9$) tih jedinica slaže se u veću jedinicu za množinu elektricitete i daje joj se ime „1 coulomb“. Jedna milijuntina coulomba zove se „1 mikrocoulomb“. Dakle:

$$1 \text{ coulomb} = 3 \cdot 10^9 \text{ elektrostatičkih jedinica}$$

$$1 \text{ mikrocoulomb} = 3 \cdot 10^3 = 3000 \text{ elektrostatičkih jedinica.}$$

2. Jedinica za napetosti i elektromotornu silu (str. 61). Ako se kod prenošenja 1 coulomba elektricitete s jednoga vodiča na drugi utroši baš radnja od 10 milijuna erga, treba da imaju vodiči određenu razliku napetosti. Dajemo joj ime „1 volt“. Budući da se električna napetost Zemlje uzima = nuli, izlazi, da vodič ima napetost od 1 volta, ako treba izvršiti radnju od 10 milijuna erga, da se s njega odvede 1 coulomb elektricitete u Zemlju.

„Elektromotorna sila“ je razlika napetosti dvaju vodiča (str. 117). Dakle je i mjera za elektromotorne sile „1 volt“. — Kad mijev galvanski element ima elektromotornu silu = 1.009 volta.

4. Jedinica za kapacitetu vodiča (str. 64). Budući da je kapaciteta vodiča za elektricitetu jednaka množini elektricitete na njem razdijeljenoj napetošću njezinom, imat će onaj vodič jedinicu kapacitete, koji nabojem od 1 coulomba dobije baš napetost od 1 volta. Toj kapaciteti dajemo ime „1 farad“. Milijuntina 1 farada zove se „1 mikrofara d“.

5. Jedinica jakosti struje (str. 113). Jedinicu jakosti ima ona struja, kod koje u svakoj sekundi teče kroz svaki prerez provodnice baš množina elektricitete od 1 coulomba. Toj jedinici dajemo ime „1 amper“. — Tisućina ampere zove se „1 miliamper“. Struja od 1 ampere izlučuje u 1 sekundi 0.3284 miligrama bakra ili 1.118 miligrama srebra.

6. Jedinica za otpor (str. 125). Za jedinicu se otpora uzima onaj otpor, uz koji elektromotorna sila od 1 volta daje baš struju jaku 1 amper. Ime je toj jedinici otpora „1 ohm“. Nit žive, dugačak 1063 cm a deo 1 mm, zadaje struji otpor od 1 ohma kod 0° topline.

Bilješka.

Većinu slika u člancima I.—VI. uzeo je pisac dozvolom nakladne knjižare L. Engelhorn u Stuttgartu iz djela: „Die Elektricität und ihre Anwendungen von Dr. L. Graetz“ i „Kurzer Abriss der Elektricität“ od istoga pisca. Ta su mu djela pored mnogih drugih služila i kod izradjivanja ovih članaka.

Ispravci.

Str. 17. redak	21. odozgo	mjesto	6.175	treba da bude	6 175
» 17. »	2. odozdo	»	2.10 ¹⁸	» » »	20·10 ¹⁸
» 17. »	1. »	»	dva puta	» » »	dvadeset puta
» 31. »	21. odozgo	»	187	» » »	187
» 33. »	9. odozdo	»	0.015	» » »	0·015
» 39 »	15. »	»	uredjenim	» » »	odredjenim

Sadržaj.

Predgovor	Strana 5
I. ATOMI I ELEKTRONI (Dr. Oton Kučera)	8—42
1. Pristup: 8—9. — 2. Što je elektricitet? Osnovni pojavi: 9—12; električni naboj 10; konduktor i izolator 11; množina elektricitete 12. — 3. Atomistična razmatranja: 10—19; zrnata struktura materije 13; granica djeljivosti 13; mikron i milimikron 14; molekuli 15; molekularna gibanja i srednji putovi 16; veličina molekula 16; Loschmidtov broj 17; nevidljivost molekula 18; otkriće Siedentopfa i Zsigmondija 19; — 4. Atomi materije: 19—21; kenujski elementi 20, atom 20; dragi plinovi; helij i argon 21. — 5. Svemirski eter: 23—26, vakuum 22, tvarno i prostorno tijelo 21; svemirski eter 21; svojstva svemirskoga etera 23—26; proničnost 24; negibljivost 25; nepromjenljivost 26. — 6. Elektroni: 26—38; atomi elektricitete ili elektroni 27; elektroliza 27; Faradayevi zakoni 27; disocijacija elementa 28; ion 28; električni naboj iona 28; elektron i koelektron 29; Geisslerove cijevi 30; katodne zrake 30; djeljivost atoma 32, slobodni negativni elektroni 33; kanalne zrake 33; Rontgenove zrake 34; Becquerelove zrake 34; polonij i radij 35; tri vrste njegovih zraka 36; raspadanje atoma 37; emanacija 38; helij 38. — 7. Što je tvar? 38—42; evolucija materije 39; prividna masa elektrona 41; atom kao trajan vrtlog u eteru 41—42.	
II. ELEKTRONI U STANJU MIROVANJA: ELEKTRIČNI NABOJ (Dr. Oton Kučera)	43—81
1. Naboj na konduktoru 43; konduktori i izolatori 45. — 2. Električna influencija 45—46. 3. Množina elektricitete ili naboj 46. — 4. Veličina električne sile. Coulombov zakon 47. — 5. Sila i mjerenje sile 47—51; ubrženje ili akceleracija 48; tri osnovne jedinice: centimetar, sekunda i gram 49; jedinica sile: din 49; — 6. Coulombov zakon: Razjašnjenje i je-	

dinica za množinu elektricitete 51—55; elektrostatička jedinica 53; 1 coulomb 54; 1 mikrocoulomb 54. — 7. Napetost ili potencijal elektricitete 55—58; kapaciteta vodiča 57. — 8. Volt 58—61; električna struja 58; razlika napetosti 58; radnja 58; mjerenje radnje i 1 erg 59; pojam volta 61; napetost Zemlje 61; Exnerov elektroskop 62; Braunov elektrometar 62. — 9. Mjerenje kapacitete 64—65; 1 farad 64; 1 mikrofarađ 65. — 10. Električna energija nabita vodiča 65—67; pojam energije 66; gustoća elektricitete 67; električni vjetar 67. — 11. Električna influencija 67—71; utjecanje na kapacitetu vodiča 69; kondenzator 70. — 12. Električno polje: nabita vodiča 71—81; kapaciteta vodiča i izolatori 72; dielektrikum 72; konstanta dielektricitete 72; sila u daljinu 74; eter prenosilac elektr. pojava 76; indeks lomljenja svjetlosti i konstanta dielektricitete 76; električno polje 78; homogeno i nehomogeno polje 78; električne silnice 79.

III. ELEKTRONI U GIBANJU: ELEKTRIČNA STRUJA

(Dr. Oton Kučera) 82—110

1. Postanje električne struje 82—84. — 2. Galvanski elementi, izvori trajne jednake struje 84—91; Voltin element 85; galvanoskop 86; galvanometar 87; razlika napetosti na polovima elementa 87; otvoren element 88, jednaka struja 90; suhi element 91. — 3. Toplinski elementi 91—97; termoelement 92; termostruja 92; elektromotorna sila 92; termobaterija 93; osjetljiv termometar 93; Rubensova baterija 95; termoelektrična igla 95; pirometar Hartmanna i Brauna 95; Gülicherova termobaterija 97. — 4. Inducirane električne struje 98—102; Faradayev osnovni pokus volta-indukcije 99; inducirane elektr. struje 100; izmjenična struja 101. — 5. Magnetoindukcija 103—110, Faradayev osnovni pokus 103; magnet 106; magnetsko polje 103, magnetske silnice 107; najvažniji izvori električne struje 110.

IV. ELEKTRONI U STANJU GIBANJA: JEDNAKA ELEKTRIČNA STRUJA. OSNOVNI ZAKONI TE STRUJE

(Dr. Oton Kučera) 111—137

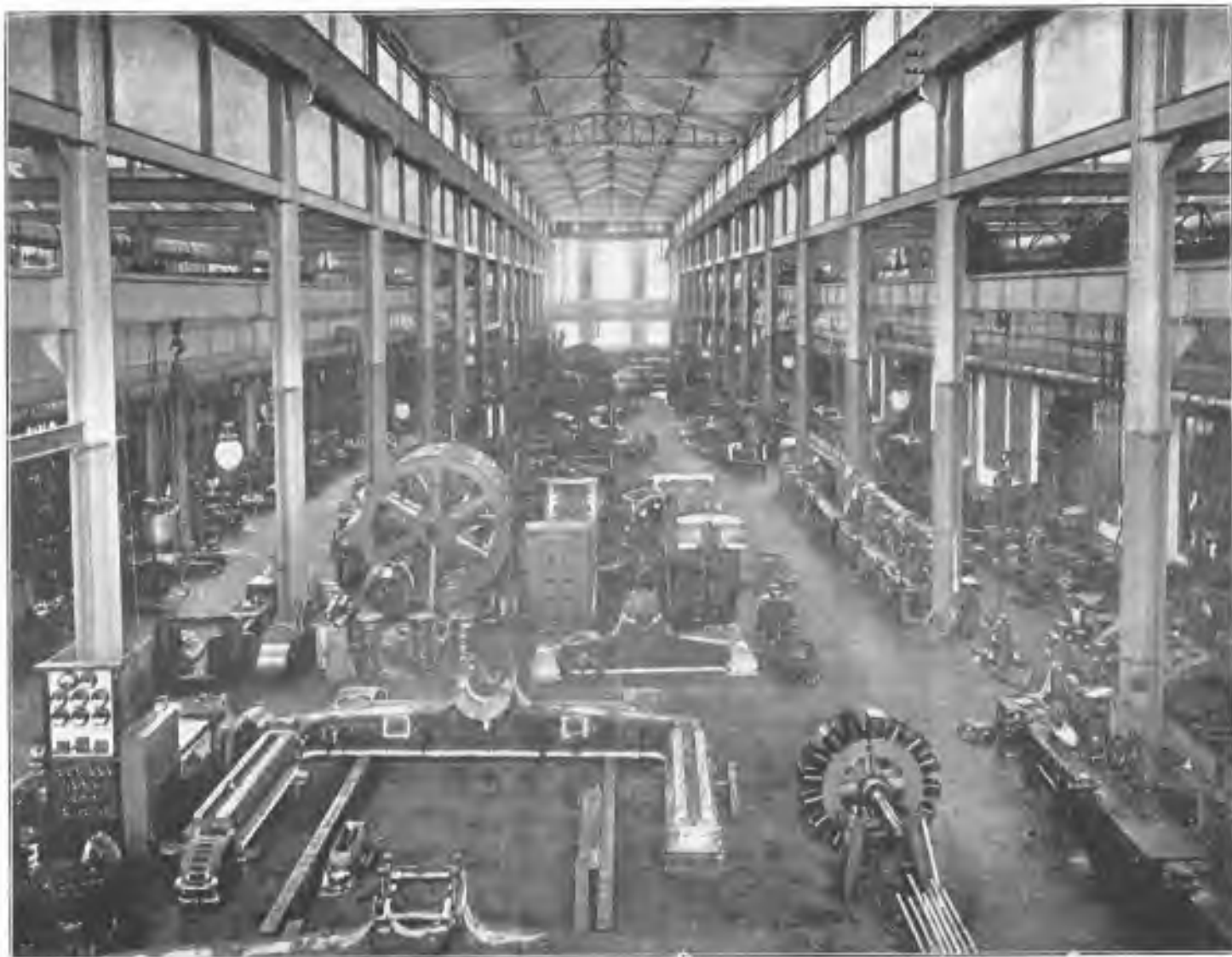
1. Jakost električne struje 111—116; jakost struje (definicija) 113; jedinica jakosti: 1 amper 113;

1. miliamper 113; ampermetar 113; voltmetar 116. —
 2. Ohmov zakon 116—120; elektromotorna sila
 elementa; zakoni za nju 119; elementi spojeni u seriju
 120. — 3. Otpor struji 121—137; cjelokupni
 otpor 122; izvanji i unutrašnji otpor 122; Ohmov
 zakon 123; otpor u žicama 124—125; jedinica otpora
 1 ohm 126; tablica spec. otpora 126, primjene Ohmova
 zakona 129; razdvajanje struje 131; razdvajanje struje
 mostom Wheatstoneovim 133; ampermetar u sporednom
 priključku 134; uklopljeni otpori ili balast-otpori 135;
 napetost stezaljaka 135, izvanji krug struje 135, kratki
 spoj struje 136; prijelaz rezultata 137.

V. MODERNI IZVORI JEDNAKE ELEKTRIČNE STRUJE DINAMO ZA JEDNAKU STRUJU. (Dr. Oton Kucera) 138—170

1. Dinamo za jednaku struju 138—141;
 princip toga stroja 138; zatvoren krug provodnice u polju
 magneta 140. — 2. Grammeov kolut 141—146. —
 3. Siemensov dinamo električni princip
 146—149; remanentni magnetizam 147; histereza 147. —
 4. Dinamo za jednaku struju u današnjim
 oblicima 149—153; kefe 149, sabirač struje ili
 kolektor 149; Grammeov kolut ili induktor ili kotva 150;
 poljski magnet 151; Wheatstoneovo rješenje 151; otpor
 za regulaciju 152; omatanje u seriju i paralelno omatanje
 152; dinamo s glavnim priključkom 152; dinamo sa
 sporednim priključkom ili shunt-dinamo 152; dinamo
 s pomiješanim priključkom ili compound-dinamo 153. —
 5. Siemensovo vreteno 153—156; Foucaultove
 struje 154; bubanj ili Siemensovo vreteno 156. — 6. Ne-
 koliko tipova novijih dinama za jed-
 naku struju 156—162; Hoffmannov dinamo 159;
 dinamo sa zatvorenim sustavom poljskih magneta 160;
 dinami sa više polova 161; parni dinamo ili dinamo
 generator 161; pogon ili motor dinama 161. — 7. Efekt
 stroja i stupanj njegova djelovanja
 162—165; zaliha radnje ili energija 162; energija slapa
 163; efekt ili učinak sile 164; konjska snaga 165. —
 8. Efekti energija izvora elektricitete.
 Watt i kilowatt 165—167; watt 166; kilowatt
 166. — 9. Trošenjeradnje u krugu struje.
 Utrošeni efekt 167—168. — 10. Stupanj
 djelovanja kod dinama 168—170; prijelaz
 rezultata 170.

VI. DINAMO KAO POGON ILI ELEKTROMOTOR JEDNAKE STRUJE. ELEKTRIČNO PRENOŠENJE RADNJE (Dr. Oton Kučera)		171—195
1. Dinamo kao pogon ili motor 171—174; električni pogon ili elektromotor 173; generator struje 178; elektromotor za jednaku struju 174. — 2. Za što dinamom možemo služiti kao pogon? 174—181; Oerstedtov pokus 175; otklanjanje struje 176; pravilo lijeve ruke 176; magnetičko polje elektr. struje 178; solenoidi 178; vrtnja koluta u magn. polju 180. — 3. Djelovanje elektromotora za jednaku struju 181—184; elektromotorna protusila 182; prazno letenje stroja 183. — 4. Glavni oblici elektromotora za jednaku struju 184—191; motor s glavnim priključkom 184; pogonski otpor 185; motor sa sporednim priključkom 186; elektromotori za mali obrt 188; elektromotor zubara 188; električna centrala 189; elektriziranje tvornica 190. — 9. Električno prenošenje mehaničke radnje 191—195; električna izložba u Frankfurtu 1891. str. 191; prenošenje radnje iz Lauffena u Frankfurt 192; pretvarač ili transformator struje 194.		
VII. ELEKTRIČNA VOZILA (Dr. Stanko Plivelić)		196—263
1. Uvod 196. — 2. Električni tramvaj 197—219; zagrebački elektr. tramvaj 218. — 3. Električni automobil 219—223. — 4. Elektromobil 223—228. — 5. Električne željeznice 228—246; parna željeznica 226—230; Valtellina-željeznica 231—237; tri načina pogona 237; elektr. željeznica s akumulatorima 240; — 6. Električne industrijalne željeznice 246—252; željeznica rudokopa u Bleibergu 249; u Pálfalvi 252; u Rešici 252; u Gyaláru 252; u Fenyőhazi 252. — 7. Električni brodići 253—260. — 8. Zrakoplovi 260—262.		
VIII. ELEKTRIČNI APARATI NIKOLE KESSLERA ZA SPRIJEČAVANJE NESREĆA NA ŽELJEZNICAMA. (Juraj Božičević)		263—277
1. O željezničkim nesrećama uopće 263. — 2. Aparati za spriječavanje sukoba vlakova 265—273. — 3. Aparati za ustavljanje vlakova 273—274. — 4. Aparat za sigurnost željezničkih radnika 274—277.		
IX. DODATAK. NAJVAŽNIJE JEDINICE MJERENJA. (Dr. Oton Kučera)		278—281
Sadržaj knjige		283—286



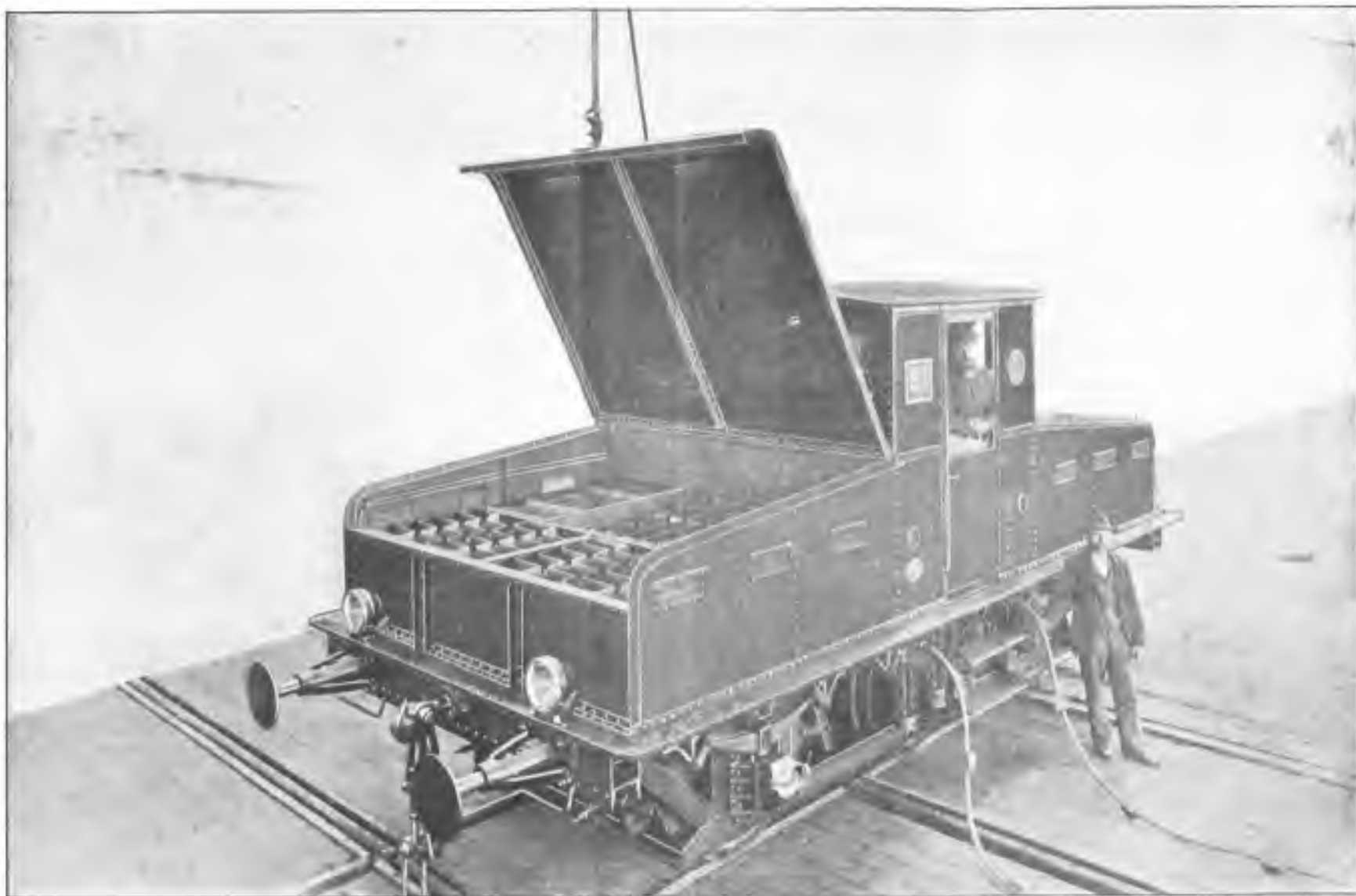
Sl. 81. Unutrašnjost Ganzove tvornice u Budimpešti.



Sl 86. Unutrašnjost salonskih kola.



Sl. 88. Električna lokomotiva sa akumulatorima.



Sl. 89. Električna lokomotiva s akumulatorima za vrijeme nabijanja baterije.



Sl. 90. Elektrický terétní vlak s akumulátorskou lokomotivou.



Sl. 95. Električna željeznica akumulatorima u rudniku Grillo u Njemačkoj.