

Náuka o elektrine v 7.triede

Gilbertom otvorené polia bádania v oblasti elektriny prinášali v 17. a 18.storočí nepretržité objavy, ako elektrizačný stroj, leidenská fľaša, elektrická zvonkohra, bazový telegraf, mihotavé svetlo v elektrizovaných vákuových pohároch a nakoniec Franklinov bleskozvod. V tejto ríši elektrostatiky alebo elektriny trenia nevznikajú však nikdy elektrické stroje a prístroje vhodné k používaniu. Všetko to boli hračky – až na bleskozvod, ktorý však spôsobuje len vedenie elektriny, nie jej uvedenie do chodu. Elektrina sa nevynára ako niečo potrebné pre priemyselný či domáci život, neposkytuje ešte žiadne použiteľné prístroje, žiadne nástroje. Nikto sa za čias baroka neučil za elektrikára. Pre publikum zostáva elektrina kuriozitou, ktorej sa však dychtivo venujú gavalieri a dámy pri spoločenských akciách na mnohých väčších či menších kniežacích dvoroch. Vo fyzikálnych kabinetoch sa elektrizovali hravou formou ľudia, aby si zažili niečo nervy štekliace, strašidelné. Gray v roku 1730 zavesil chlapca na hodvábne šnúry. Keď posunul k jeho nohám trenú guľu elektrizačného stroja, priletel mu na tvár papierový útržok, ktorý bol držaný v blízkosti hlavy. Aj elektrický bozk, ktorý dala prichádzajúcemu hosťovi slečna komorná, napojená na elektrizačný stroj a stojaca na zakrytej izolačnej podnožke, bol v spoločnosti obľúbenou, pre oboch ľahko bolestivou zábavou.

Ani Franklinov bleskozvod ešte neotvoril žiadne vlastné využitie elektriny, smeroval práve k tomu, elektrinu odvrátiť, nie ju doviest' k pôsobeniu. Prvý bleskozvod bol daný do služby v roku 1752 v Paríži. - Benjamin Franklin (1707 – 1790), pozoruhodný človek, zanechal nám nasledovný náhrobný nápis, ktorý hovorí sám za seba. Mal ho vymyslieť vo svojich 23 rokoch.

„The body
of
Benjamin Franklin
Printer
Like the cover of an old book
It's content worn out
And stripped of its lettering and gilding
Lies here, food for worms
But the work shall not be lost
For it will, as he believed, appear once more
In a new and more elegant edition
Revised and corrected
by
The Author“

„Telo
Benjamína Franklina
Tlačiar
Ako obálka starej knihy
Jej obsah je opotrebovaný
A jej titul a zlatenie sa stratili
Leží tu, potrava pre červy
Avšak dielo nebude stratené
Pretože sa, ako on veril, zjaví opäť
V novom a elegantnejšom vydaní
Revidované a opravené
Autorom“

(Za anglický text ďakujem Linde Joly z Bergenu v Nórsku, ktorá ho pre mňa odpísala z náhrobného kameňa Franklinovho na cintoríne kresťanského kostola na Elfrath's Allee vo Filadelfii v USA)

1. Galvanizmus

Podnet k obratu i k praktickým vynálezom prinieslo dlhodobé skúšanie Galvaniho; vlastný obrat prinieslo rozvážne Voltovo skúmanie. Tým sa vynoril nový, oveľa primitívnejší, ale nepomerne výkonnejší „zdroj“ elektriny: Galvanický článok s kovovými platňami a tekutinou.

O tom, ako bol objavený, kolujú mnohé rozprávky. Mnohí bádatelia už dlhšie experimentovali v podobnom smere, ako s elektrickými rybami. Už oddávna ľudia poznali v stredomorí takzvané kľčové ryby. Nikto vtedy

* Presnejšie u FRAUENBEGERA (1960)

nemyslel na niečo elektrické. Raja elektrická (Torpedo marmorata), ktorá sa vyskytuje až k pobrežiu indického oceánu, je takmer kruhová plochá ryba, ktorá čaká na dne blatistých plytčín na korisť, aby ju omráčila sériou rýchlo za sebou nasledujúcich elektrických úderov. „Vyvinie“ pre okamžik až 200 voltov a 0,5 ampéru, teda 100 wattov a môže spôsobiť krč údov i človeka. - odtiaľ i jej pomenovanie. Po objave leidenskej fľaše (1745) sa zistilo niečo podobné s jej údermi. V roku 1773 bol známy nasledovný experiment, ktorý demonštroval elektrickú povahu tohto javu: Ryba leží trepotajúc sa medzi dvomi izolovanými sieťami, napnutými vo vzduchu bočnými šnúrami. Človek dostane ranu len keď má jednu ruku na jej chrbte a druhou sa súčasne dotkne jej brucha. Ak človek položí na rybu len jednu ruku, nepociťuje temer nič. Po sérii úderov v priebehu asi jednej sekundy sú nasledovné údery veľmi slabé, až kým sa ryba nezotaví (pozri k tomu tiež GRZIMEK, 1973). Čo ležalo bližšie, než porovnanie s pomalým nabíjaním a rázovým vybitím leidenskej fľaše? Keď boli okrem toho zistené ešte silnejšie elektrické aktivity juhoamerického úhora elektrického a pasumca elektrického, prišla zvieracia elektrina ako vetva bádania do módy. Mohli by všetky zvieracie podnety spočívať na elektrine? Vtedy sa tak vážne myslelo. V rovnakom čase objavil Beccario pozitívny trvalý náboj atmosféry a pozorne počúvajúcemu a ohromujúcimi objavmi už zmätenému publiku oznamoval, že všetky meteorologické javy vrátane meteoritov boli spôsobené elektricky! Áno, ľudia verili, že v elektrine majú vchod k duši prírody.

Dnes vieme, že vodivostná elektrina (galvanická elektrina) tak, ako si ju môžeme stiahnuť napríklad zo zásuvky, nehrá v zjavných javoch prírody žiadnu rolu – s výnimkou elektrických rýb. Pod zjavnými javmi rozumieme také, ktorých súvislosť je otvorená prežívaniu; dovoľujú sa súvislo vžívať do prírodných síl a bytostí takých, ako o nich možno myslieť na základe zmyslových vnemov. Práve tieto ryby charakterizujú galvanickú elektrinu a to v nasledovnom zmysle:

Po takmer ešte bezťažovo vo vode sa pohybujúcich rybách sa v dejinách zeme objavili, ako je známe, suchozemské zvieratá, vysporiadali sa so silou tiaže a získali si vyššiu zmyslovú otvorenosť, vedomie a väčšiu autonómiu, sú menej tesne spojené s okolím. Suchozemské zvieratá to dotiahli nakoniec ku vlastnému výrazu a fyziognómii. K tomu sa objavovali postupne so stále pohyblivejšími údmi. Ploské ryby, sumce a úhory sú naproti tomu práve v údoch redukované a tým sa stali rybami vodného dna. Ich plutvy degenerovali alebo zakrpateli, rovnako ako aj oči. Zvery klesajú do tiaže a do temnoty. Číhajú v blatistom podzemí. Tým sa zaradili ako istý druh protiimpulzu k riadnej následnosti javov v prírode; akoby duchovný zdroj, z ktorého prírodné bytosti vznikajú v stále novej dokonalosti, podľahol impulzu, ktorý vrhá veci naspäť. Také niečo sa pretláča elektrickými útokmi ako niečo neulapiteľné, magické medzi zjavnými prírodnými silami. Týmto nemožno zabrániť. Úder z mútnej hlbiny sa stáva pre niekoho, ak nechce zostať stáť pri triviálnych číslach voltov a ampérov, vpádom cudzorodej moci.

Profesor anatómie v Bologni Luigi Galvani (1737-1798), predtým ženský lekár, experimentoval vo svojom dobre vybavenom domácom súkromnom laboratóriu s už vtedy známymi ľahko elektricky popudlivými preparátmi žabích stehienok. Pokúšal sa dostať cez nervové vedenia ku duševnu živých bytostí – ako mnohí za jeho čias. O tom, čo sa tam v lete 1780 odohralo, hovorí Galvani o 11 rokov neskôr v jeho konečne sa uskutočnenom prvom zverejnení oných bádání (uvidíme ešte, prečo tak dlho čakal): „Týmto objavom je to tak: Rozrezal som jednu žabu a pripravil ju, ako to vidno na obr.Ω., tab.1. Položil som ju bez toho, že by som čokoľvek tušil, na stôl, kde stál elektrizačný stroj, ktorý bol úplne oddelený od konduktora a značne od neho vzdialený. Avšak keď jeden z mojich poslucháčov priložil špic noža približne na chvíľu na vnútorné stehenné nervy žaby D, tak svaly všetkých údov sa súčasne tak stiahli, ako keby boli zasiahnuté prudkým krčom. Iný z prítomných považoval za potrebné podotknúť, že sa to deje len v čase, keď konduktor dáva iskrú. Počúdoval som sa novosti tejto veci a upriamil som na ňu pozornosť, hoci predtým som zamýšľal niečo iné. Súčasne som bol vo vytržení z dychtivosti niečo zažiť a prebádať niečo skryté. Dotýkal som sa teda sám špičkou noža raz jedného, raz druhého stehenného nervu v čase, kedy jeden z prítomných odoberal iskrú. Jav sa dial rovnakým spôsobom, prudké sťahy sa diali v svaloch všetkých údov, ako keby to zviera bolo zachvátené prudkým tetanom, keď elektrický stroj dával iskrú.“

Tento Galvaniho prvý objav nebol ničím zvláštnym, bol čoskoro objasnený tzv. spätným úderom cez vplyv, ktorý sa ukazuje i na neživých anorganických prístrojoch, takže tieto pokusy nikdy neboli základom večnosti mena. Žabie stehienka boli práve len obzvlášť citlivé. A práve preto, že jednoduché fyzikálne objasnenia lekára nie plne uspokojovali, aj keď ich musel ponechať platnými, alebo možno boli i menej vecnými, Galvani experimentoval ďalej. Žabie polovice, pripevnené na dlhých anténach mohli ľahkým cuknutím zvestovať vzdialenú búrku. Jedno jediné náhodné pozorovanie v priebehu mnohých takýchto pokusov prinieslo začiatkom septembra 1786 niečo principiálne nového: Vnútorné žabie telo, zbavené izolujúcej (ak bola suchá) kože, bolo položené na zábradlie z kovaného železa, aby „do seba prijalo“ atmosferickú elektrinu. Bolo ešte z predchádzajúceho zavesenia v mieche prebodnuté železným hákom. Vždy, keď sa hák dotkol zábradlia, šklblo stehno. To sa dialo, ako Galvani čoskoro vyskúšal, i v uzatvorenom priestore, vždy, s rôznymi kovmi ako podložkami či hákmi, najlepšie však, keď obe boli z rôznych kovov. Teraz sa zdal byť objavený zdroj zvieracej

elektriny, nezávislý od atmosféry: Nerv a svaly tvoria – taký bol názor Galvaniho – istý druh leidenskej fľaše, ktorá sa i po smrti ešte nejaký čas nabíja, vonkajšie kovy tvoria len vedenie, uzatvárajúce okruh prúdu. Takto znejúce Galvaniho zverejnenie z roku 1791 sa všade oslavovalo vo viere, že duša človeka i zvierat by bola teraz čoskoro elektricky dosiahnuteľná a elektrina tvorila príčinu všetkých životných javov. Tejto veľkolepej špekulácii, ktorá pokračovala v živote ešte i v nemeckom skorom romantizme, urobil koniec neskôr systematickým výskumom Volta, ktorého jasné, fenomenálne myšlienky boli po osobnom rozhovore ocenené Napoleonom – ale súčasne založil elektrotechniku tým, že objavil práve, že nie nerv a sval žaby spôsobili podnetnú silu elektrického javu, ale tie dva kovy, ktoré ešte k tomu museli byť rôznymi.

V úplne inom smere sa v tomto mesiaci roku 1786 v Taliansku v susednom meste odohral ešte jeden kultúrno-historický objav. Bolo to 27. septembra v botanickej záhrade v Padue, kde Goethe uchoпил ideu činného tvorenia rastlín: kde sa mu „za zmyslovou formou zavznášala nadzmyslová prarastlina“ (GOETHE, História môjho botanického štúdia). Zatiaľ čo goeteánske pozorovanie rastlín otvorilo človeku celoživotné dozrievanie na premene predstáv rastliny, všadeprítomné územie *činného* naplnenia, tak galvanizmus otvoril oblasť všadeprítomných technických výtvorov, ktoré napríklad s modernými zábavnými médiami duševné sily *ochromujú*.

II. Voltov stípec

Teraz opustíme historické udalosti a pozrieme sa na najjednoduchšie Voltove pokusy z deväťdesiatych rokov 18. storočia. Je to najskôr pozoruhodne kyslo-horkasto-ostrá chuť, ktorú kovy v ústach vyvolávajú, keď sú dva rôzne súčasne v ústach a vonku sa dotýkajú (E1, E2, E3)

Vytvorenie takéhoto javu je v úplnom protiklad k elektrostatike: Tam sme predsa siahali k ľahkým, suchým, teplo izolujúcim materiálom, teraz však k ťažkým, teplo vodivým kovom, ktoré v každom prípade musia byť namočené v niečom mokrom. Miesto toho, aby sa niečo v suchosti oddelilo, musia tu byť vo vlhkosti prepojené. Odkiaľ vieme, že pri tejto chuti ide o niečo elektrické? Z elektriny v žiadnom prípade nič nevnímame. Chuť zostáva chuťou. A z bežného života vieme, že veľmi často sa chuť zmení, keď pridáme niečo druhé. Že teda zvláštna chuť vystúpi po tom, čo sa zídu dve rôzne veci, je takmer bežné. Záhľadné na pokuse E1 však zostáva to, čím má byť ten dotyk pásov mimo úst. Je to akoby rituál, akoby čarovný úkon. Pretože v spojovacích drôtoch z pokusu E3 sa nedeje zdanlivo vôbec nič. Musia len v tomto okruhovom usporiadaní byť prítomné – prerušenie akosi zruší chuťový jav.

Vcelku ale vystupuje niečo charakterické, čo stojí v protiklade k ostatným prírodným javom. V širokej prírode sa javy rozvíjajú postupne krok po kroku v dennom a ročnom rytme. Vzrastajú a odoznievajú. Môžeme pomyslieť na počasie, na rast rastlín a teplo a chlad v krajine. Mimo to pristupuje ešte všetko viazané miestne: tu pôsobí to, tam ono. V šumoch prírodných predmetov sa zjavuje ich pevnosť, napätie, veľkosť – napr. keď spadne jablko, zlomí sa strom či prelomí sa ľad. Šum je možné ohraničiť na predmete práve na jeho mieste. Pri zvieratách dokonca zjavuje vnútro, spôsob prežívania zvierateľa, o čo sa snaží alebo čím trpí. A predsa v mechanike človek počuje v jemnom pukaní dreva sily, ktoré sa hriadeľom, pákou prenášajú k miestu pôsobenia. Na drôte človek prúd nevidí. Tak úplne inak sa totiž prejavuje to, čo nazývame elektrickým. Priestorová a časová súvislosť sú obe v sebe rozrušené, niečo strašidelné je spôsobené akoby rituálne: náhle, na každom ľubovoľnom mieste, zďiaľky.

Súčasťami rituálu, to jest niektorými z podmienok prejavu je okruh z kovov a vodnatá tekutina, ako ukazujú obzvlášť pokusy E3b a 3c. Všetko vystavané v rovnakom zmysle obehu, tak naše jazyky so vždy rovnakým poradím zinok-med' sa javia navzájom podporovať; pôsobenie sa zosiluje. Ak všetky páry zinok-med' otočíme, zostane pôsobenie rovnaké. Ak by sme otočili len polovicu, účinok by takmer zmizol. Medené vedenie v kábloch sa spočiatku vôbec nemení – musí len byť prítomné.

Funkcia jazyka je tu tzv. Zdroj napätia (zdroj prúdu) a súčasne indikačný prístroj. To ale nie je potrebné žiakom bližšie vysvetľovať. Týmto najjednoduchším predpokusom sme vyvinuli pojem bezprostredného, z prírodného vývoja odpadajúceho, ba priam vlastne nervózneho charakteru javov. Systematická výstavba týchto troch pokusov je myslená viac pre učiteľa a jeho jasnosť. Žiaci sa unavia skôr pri dokazovaní a poistení interpretácie stále nanovo opakovanými variáciami rovnakých javov. Potrebujú silný zážitok a veľký obraz. K tomu, aby sme prešli k dodatočne učiteľom vyslovenému riaci javov by mal vystačiť jeden z pokusov.

Teraz by sme mali preložiť javy z temna úst do priezračných pohárov. Najskôr ukážeme „korunu šálok“, zapojenie Voltových prvkov jeden za druhým, ktoré poháňajú žiarovku (E4), následne potom azda Voltov stípec (E5), ktorý bol sa jeho čias slávny.

Jasne a názorne líči sám Volta v roku 1800 v liste Royal Society, slávnej Anglickej vedeckej spoločnosti, konštrukciu jeho stĺpca:

„To podstatné na tomto výtvore, čo zahŕňa temer všetko ostatné, je vypitvanie prístroja, ktorý svojim pôsobením, to jest údermi, ktoré spôsobuje rukám atď, je podobný leidskej fľaši alebo skôr slabo nabitej elektrickej batérii, ktorý však neprestajne pôsobí (...), ktorý inými slovami oplýva nevyčerateľným nabitím.

Áno, aparát, o ktorom je reč a ktorý Vás nepochybne dostane do úžasu, nie je ničím iným, než usporiadaním určitého počtu dobrých vodičov rôzneho druhu, ktoré určitým spôsobom nasledujú jeden za druhým (...).

Vytvoril som si nejaký tucet kruhových platní z medi, mosadze alebo lepšie zo striebra, jeden palec alebo trochu viac či menej v priemere, napríklad mince a rozvnaký počet z cínu alebo ešte lepšie zo zinku, približne rovnakého tvaru a veľkosti (...).

Mimo to som zhotovil dostatočný počet kruhových podložiek z papiera, kože alebo iného pórovitého materiálu, ktorý je schopný prijať veľa vlhkosti či vody. Tieto vrstvy, ktoré nazývam vlhké platne, tu používam trochu menšie, než ie kovové platne, tým oni nepresahujú cez tie kovové, keď ich rovnako stanoveným spôsobom medzi ne kladiem.

Keď mám všetky tieto kusy poruke, tie kovové dobre vyčistené a tie nekovové napité vodou alebo lepšie slanou vodou a ľahko osušené, aby nekvapkali, zostáva mi ich už len primeraným spôsobom usporiadať.

A toto usporiadanie je jednoduché a ľahké: kladiem vodorovne na stôl jednu z kovových platní, napr. zo striebra a na ňu napasujem jednu zo zinku, navrch položím jednu z vlhkých platní, na to druhú striebornú, po nej nasleduje zinková, po nej opäť vlhká platňa (...). Rovnakým spôsobom pokračujem, ako hovorím, z viacerých takýchto podlaží vybudujem tak vysoký stĺpec, aby vydržal bez spadnutia.

Ak je to tak, že stĺpec obsahuje 20 až 30 poschodí alebo párov kovov, tak nebude len schopný nabiť kondenzátor jednoduchým dotykom, ale aj prstom, ktorými sa ho dotýkame na oboch koncoch, dá jednu alebo viacero ľahkých rán, ktoré sa opakujú, keď dotyky obnovíme (...)

Aby sme dostali ľahké potrasenie, musíme prsty mať mokré, takže koža, ktorá inak nedostatočne vedie, sa dá dobre použiť.

Aby sme dostali ešte silnejšie rany, musíme päť stĺpca spojiť s hrncom vody, do ktorej ponoríme viac prstov, najlepšie celú ruku, zatiaľ čo druhou rukou stlačíme kovovú platňu na hlave stĺpca. Pichnutie v prste cítime už keď sa dotkneme tretej či štvrtej platne. Ak sa človek dotýka potom od piatej či šiestej platne postupne až k poslednej, tak je zaujímavé vnímať, ako trasenia stupňovite získavajú na sile (...).

Veta „A toto usporiadanie je jednoduché (...)“ sa presne hodí k nálade siedmaka či ôsmaka: Tu možno niečo urobiť, tu niečo dostávame do ruky; tu človek vie čo a ako. Akurát poznámka, že stĺpec je nevyčerateľný, je prehnaná. Pretože elektrické svetlo a teplo, ktoré dostaneme, ťažko vznikne z ničoho. Žiarovočka pri E4 je istým druhom využitia – kde bola zastrčená spotreba? Ak takúto žiarovočku necháme svietiť dlhší čas, zmení sa totiž jedna z kovových platní veľmi výrazne: Zinok sa rozožerie. Biela zinková soľ zmiešaná s hydroxidom zinku sa vylúči na platni. Preto musia byť voltové stĺpce príležitostne vyčistené – to je nevýhoda, ktorú inak oveľa nepraktickejšia - pretože nie je transportovateľná, nie je ľubovoľne polohovateľná a zaberá veľký priestor – koruna šálok nemá.

Za čias Voltu sa potom skúšalo tým, že človek elektrizoval vlastné telo zo všetkých strán, získať pocitovo tajomstvo elektriny. Tak podáva správu Volta: „ O sluchu ešte pár slov: Tento zmysel, ktorý som (predtým) márne párom kovov sa pokúšal podnietiť, hoci som tie najviac pôsobivé kovy zvolil, konkrétne striebro poprípade zlato a zinok, dokázal som teraz podnietiť novým prístrojom z 30 či 40 párov platní. Zaviedol som predtým do uší dve kovové tyče, ktorých konce boli zaoblené. Tieto som spojil s prístrojom. V okamihu spojenia som dostal otras v hlave a trochu neskôr, zatiaľ čo vedenie pokračovalo, som počul tón, alebo správnejšie šum v ušiach, ktorý je ťažko popisateľný. Bolo to ako pukanie alebo praskanie, ako keď tuhý materiál sa privedie do varu. Tento šum pokračoval bez toho, že by sa zosiloval alebo zoslaboval, tak dlho, kým existoval prúd. Neprijemný pocit považujem za nebezpečný, pretože spôsobuje otrasy v mozgu. Preto tento pokus už nebudem viac opakovať.“

Zatiaľ čo voltov stĺpec čoskoro z elektrotechniky prakticky opäť zmizol, z koruny šálok sa stal predchodca všetkých suchých batérií a akumulátorov. Dnes sa také používajú v miliardách, od od geigerovho počítacza až

po kardiostimulátor. Najjednoduchšie batérie sú medeno-zinkové články s roztokom soli medi, mnoho boli používané v minulých storočiach v telegrafných staniach (Danielove prvky); neskôr potom prišli zinkovo burelové články, tzv. Leclancheho články, dnešných suchých batérií, ako sú v každej vreckovej lampe (presnejšie v poznámkach: Galvanické články, str.180)

III. Elektrický okruh

Producent a spotrebič. Čokoľvek ľudia v bádani podnikli, cez rozumovú stránku vonkajších podmienok sa najskôr neprešlo; podstata veci sama osebe zostala skrytá.

Zhrňme si tieto podmienky pre podnet ľudského tela (šklbnutie, pálenie) alebo pre svietenie žiarovky:

- 1) Musia byť dva rôzne kovy, jeden pokiaľ možno ušľachtilý, druhý pokiaľ možno neušľachtilý, ponorené v slanom, kyslom alebo zásaditom roztoku.
- 2) Musí existovať vonku od jedného k druhému kovová prípadne z tekutiny vytvorená dráha (elektrický okruh, obvod).
- 3) v tejto dráhe musí byť žiarovka alebo časť ľudského tela vradené, teda na dvoch miestach sa musí dotýkať. Ak chce človek vyvolať tlenie alebo žiarenie, musí byť vradený úsek tenkého drôtu (ako v žiarovke).

Druhá podmienka necháva ešte veľké hranice hry v počte a druhu materiálov, naproti tomu tá prvá je prísna a zjavne najdôležitejšia. Konce nejakého vedenia elektrického okruhu bez prvku, ako realizácia prosto podmienok 2 a 3, neukazujú totiž nič, sú to bežné konce drôtov. Obrátene možno ukázať (a to za Voltových čias ukázali), že konce veľkého voltovho stĺpca i bez elektrického okruhu, teda bez podmienok 2 a 3 už ukazujú efekty, totiž privádzajú jemné zlaté platničky (tzv. Elektroskopy) k obojstrannému odpudzovaniu: teda tak, ako pôsobia póly elektrostatiky pod napätím! Tieto jemné pôsobenie odpudzovania, ktoré je možné pozorovať len vo výskumných laboratóriách, podobné tomu, čo sme mohli v hrubej forme pozorovať pri papierových pásikoch pri trecej elektrine, viedli k tomu, že sa voltovmu stĺpcu pripisoval už elektrický stav i bez elektrického obvodu, totiž *napätie*. Ono bolo zdrojom (zdrojom napätia), istý druh východiskového bodu všetkých javov. Napätie je teda statický elektrický jav všetkého druhu stavu pripravenosti; a síce medzi dvomi *jednotlivými* predmetmi v elektrostatike, alebo medzi dvomi časťami *jedného* predmetu v galvanike, napr. Medzi pólmi batérie do vreckovej lampy. Napätie môže neskôr vyvolať javy; najprv ale neobsahuje ešte žiadne udalosti. Napätie si môžeme kúpiť vo forme batérie do vreckovej lampy, je v nej nejako zafixované a s batériou vzaté do skladu, je v trvalej pohotovosti. Čím vyššie je napätie, to znamená, čím je batéria v napätejšom stave, tým viac s ňou môžeme podniknúť. Pri nejakých 10000 voltoch udierajú už pri púhom priblížení pólů iskriace dráhy na centimetrové vzdialenosti. Vysoké napätie vyžaduje veľké odstupky a hrubé izolácie.

V elektrostatike staviame napäté plechovice na poháre od jogurtu, alebo na polystyrén, máme teda pár centimetrov izolačnú vrstvu. V galvanike je potrebná len veľmi tenká izolácia voči okoliu. Zlé izolačné materiály ako drevo a koža väčšinou stačia. Bežná izolácia slúži vlastne len k tomu, aby sme sa vyhli skratu (krátkemu spojeniu) drôtov navzájom. Pre človeka stačí pri malých napätiach ochrana vlastnou pokožkou.

Pojem prúdu. Ak tak, ako v pokusoch E4 a E5 položíme elektrický okruh na póly napäťového zdroja, tak z pokoja, z tichej pohotovosti vznikne dvojité proces: Tu sa žeraví drôt v žiarovke, tam sa zinková platňa rozoziera na zinkovú soľ. (Súčasne sa, čo sa takmer neprejavuje, vylučuje z roztoku vodík na medi a zo slaného roztoku tam súčasne vzniká trochu hydroxidu sodného.) Medzi vytváraním tepla v žiarovke a premieňaním kovov v článku existuje teda nevyhnutná súvislosť – aj cez kilometre dlhé drôty ďaleko, ktoré siahajú či už do kopca, z kopca, pod zem alebo k nejakému balónu na oblohe. Túto súvislosť medzi rozozieraním a žiarením (žeravením) nazývame prúd. Pritom v drôtoch neprúdi nič v zmysle klasickej fyziky. Ak máme viaceré žiarovky, tak horia po uzatvorení okruhu bez meškania všetky súčasne a nie napríklad tá najbližšie pri vypínači prvá. Pri tomto prúde teda neexistuje žiadne čelo, žiadny front, ktorým by sa prúd privlil. Práve tak neexistuje žiaden usmerný pohyb, ktorým by „prúdil“, pretože tu nie je vôbec žiaden pohyb. Takzvaný prúd nie je nič predmetné z nášho sveta, ktorý máme na dosah, ale je to idea súvislosti vodivej slučky, takzvaného elektrického okruhu. V každom prípade je prúd stojaci stav drôtov a medzi tým zaradených tekutín, ale žiaden priebeh nejakého behu. Preto možno povedať: prúd sa vyskytuje namiesto že prúd „tečie“. Vytvoriť prúd znamená teda nechať prejsť takúto súvislosť medzi plytvaním (kov) a ziskom (žiarovka) a neznamená nejaké kvázi materiálne niečo v drôtoch dostať do pohybu. A práve tak to znamená, že mimo drôtov sa vyvoláva magnetické pole (pozri 8.trieda) a že v drôtoch je jemné, zvnútra prichádzajúce oteplenie,

*V elektrickej hračke smie byť zabudovaný napäťový zdroj najviac 24V. 24V sa označuje ako hračkárske napätie. V suchom prostredí nie je nebezpečné. Len ak by bola pokožka rúk veľkoplošne zvlhčená, napríklad v teplej vode, mohol by človek dostať úder.

ktoré sa však utvára celkom podľa materiálu a miestneho priečného prierezu drôtu. V tlstých drôtoch je napríklad malé, nikdy ale úplne nechýba. Je to akoby aj tam vyvolal dvojité jav prúdu, ktorý sa sám vo vedení vôbec neodohráva, v kábloch, ktoré sú natiahnuté ako nevyhnutná podmienka, zárodočný počiatok nejakého diania – totiž ľahké zohriatie (teplo ako počiatok všetkého diania). - Na otázku, či predsa nebežia v drôtoch elektróny možno poukázať na malú driftovú rýchlosť elektrónov (asi 0,03mm za sekundu oproti šíreniu sa stavu zapnutia vo vedení, predovšetkým ale na neklasickú prirodzenosť elektrónov (HECHT 1980).

Sila prúdu. Aj tento, najskôr v tejto ideálnej myšlienkovvej forme pojmový prúd môže mať nejakú fyzikálnu veľkosť, to jest, môže byť viac či menej silný, takže konvenčnú silu prúdu nemusíme žiadnym spôsobom opustiť. Väčší prúd značí: rýchlejšie rozožieranie zinku, jeden gram zinku zmizne za kratší čas; súčasne produkujú zapojené žiarovky viac tepla a jasnejšie svetlo. Ak procesu poskytneme skrze veľkosť platní práve takú silu, že za jednu hodinu približne 1 gram (presnejšie 1,22 gramu) sa rozožerie zo zinkovej platne (preto sa objaví zinková soľ vo vlhkom médiu), potom má prúd silu jedného ampéra = 1A. Aby sme vôbec umožnili veľkú rýchlosť rozožierania, t.j. veľké zosilnenie prúdu z článku, musia kovové platne byť s čo najväčšou plochou v styku s tekutinou; alebo byť pórovitými. Naproti tomu, aby sme dokázali presadiť silu prúdu z článku voči odporom okruhu ako napríklad tenkým drôtom, alebo mnohým v rade za sebou zapojeným žiarovkám (Vianočné osvetlenie), potrebujeme vysoké napätie, to jest nie len veľké, ale aj mnoho za sebou zaradených párov platní (E4, E5). Veľkosťou popripade počtom platní sa názorne charakterizujú prúd respektíve napätie. Zatiaľ čo napätie je teda akási schopnosť, pripravenosť, prúd je dianie; dianie väčšinou na dvoch miestach, ktoré je možné pravdaže i z oboch miest ohraničiť: z rýchlosti rozožierania batérie a z odporu napr. žiarovky vo vzťahu k jestvujúcemu napätiu. Prúd je teda dianie, napätie je schopnosť takéto diania presadiť voči zlým vodičom. S pojmom prúdu môžu byť teraz bližšie prebádané ešte akumulátor (olovený), tavné poistky (skrat, krátke spojenie) a žiarovka.

Pri akumulátore sú dvomi rôznymi kovmi, ktoré vždy potrebujeme, na jednej strane šedé olovo a na druhej strane čiernohnedý oxid olovnatý, ktorý väčšinou v tenkých vrstvách je opäť vzťahnutý na olovo (E6). Pre väčšie prúdy a výkony by však naše pokusné platne akumulátora neboli dosť bohaté na povrch, elektródy (olovo popripade oxid olovnatý) by museli byť pórovité. Tak je to na kúpenom akumulátore, ako ho používame pri E7.

Prúdové iskry a napätové iskry. Automobilový akumulátor dodáva pri pokuse E7 veľký prúd 20 až 50 ampérov, podľa hrúbky a dĺžky drôtu. Preto sa rozhorúči už okolo ramena omotané vedenie. Najhorúcejšie je to ale tam, kde je vedenie tenké, v zapletených drôtikoch. Dotykové plochy sú často také malé, že sa kov taví a dokonca dobiela žiariac vyparuje, preto sú iskry akoby explozívne vyhadzované na všetky strany. Takáto takzvaná prúdová iskra je teda materiálnej podstaty a je rôzne sfarbená podľa kovu - v protiklade voči napätovej iskre z pokusu E6 zo 6.triedy, ktorej čiarovitnosť a previazanosť je prostý vzdušný jav, nezávislý od kovu elektród. Prúdová iskra vzniká po priblížení, pri oddeľovaní, označuje sa i ako odtrhová iskra. Napätová iskra vzniká pred spojením, označuje sa i ako preskok, prieraz. Ak elektrický obvod pozostáva len z hrubého drôtu, to jest je v ňom málo odporu, pretože tenké, zle vedúce drôty, napríklad vo forme vradenej žiarovky, chýbajú, potom vznikajú príliš veľké prúdy: Vedenie sa začne prehrievať, žeraviť, taviť, môže vypuknúť oheň. Pokus nám teda ukazuje príliš silné účinkovanie prúdu a k tomu charakteristické iskry. Tak silné ohriatie podmieňuje i veľkú premenu látok kovu a kovových solí. Túto premenu vydržia akumulátorové platne len ak sa prúd rozdelí na veľké povrchy platní. Spočíva tu teda veľmi názorná súvislosť medzi hrúbkou drôtu a prináležiacou veľkosťou platne. Hrubší drôt alebo hrubší prameň (pri ktorom mnoho drôtikov prebieha paralelne) prináša veľké zohriatie, vyžaduje teda veľké platne. Výstavba okruhu len z vedenia, ktoré je chudobné na odpor, vyvoláva prúd, ktorý je nadmieru veľký. Prúd je ale vo veľmi podstatnej sile predsa ešte obmedzený a to skrze veľmi malý odpor prírodných káblov. Preto nesmú tieto káble mať žiadnu nezvyčajnú hrúbku a musia mať predpísanú dĺžku. V dĺžke majú potom, hoci sú veľmi dobrými vodičmi, predsa nejaký odpor, ktorý zabraňuje nadmerne silnému, pre akumulátor likvidačnému a súčasne prudké praskanie spôsobujúcemu krátkemu spojeniu, skratu. Odpor každého drôtu je totiž proporcionálny k jeho dĺžke.

Skrat. Akumulátor umožňuje síce veľký prúd, ale dá sa použiť i pokojne s malým prúdom. Toto dávkovanie prúdu sa má presnejšie predviesť v pokuse s napnutým odporovým drôtom (E8). Odporový drôt je tenší a je horší vodič ako prírodné káble z medi. Na ňom vystupuje celé zohriatie, on ohraničuje „rozsah javu“, prúd. Ak skrátime odporový drôt, tak odoberieme dĺžku zle vodiacemu obvodu to jest odoberieme odpor: Prúd zosilnie a aj drôt vedenia, ktorý je k dispozícii sa stane horúcejším. Ak skracujeme drôt v pokuse stále viac, musí rozhorúčenie a tým i prúd stúpať až k taveniu, drôt prehorí: Krátke spojenie, skrat (bol prikrátke zapojený). Že medený drôt v pokuse už prehorí pri väčšej dĺžke, to poukazuje na jeho lepšiu vodivosť. Meď je materiál s malým odporom, preto je dobrá pre káble.

Ukázaný skrat prerušil naše vedenie. To sa využíva pri tavných poistkách. I dnes sa také ešte používajú v domácnostiach ako hlavné poistky pri meračoch. Pri veľkých prúdoch ich jednoducho vypnú. Súčasne príjmu vznikajúce časti roztaveného vedenia do seba, kde je o ne postarané, namiesto toho, že by sa nekontrolovane dostali do domu a zapríčinili požiar. Skrat sa teda spustí na určitom mieste tým, že sa vodiče bez vradeného spotrebiča spoja, privysoký prúd, ktorý teraz rozžeravuje drôty, je však v celej časti domu tohto elektrického okruhu, môže istenie spustiť niekde inde.

Prúd, napätie a odpor by mali byť pred žiakmi prostredníctvom vyučovania najskôr kvalitatívne-pocitovo a len v ich experimentálnom význame uchopené. Pri tom môžeme zostať. Učiteľ by predsa len, aj aby vedel obstáť pred otázkami, v týchto pojmoch, mal dokázať v týchto pojmoch rozpoznávať vzájomne súvisiace veľkosti; bez toho, aby musel hneď ovládať výpočet podľa vzorcov.

Čo je napätie? Napätie je stav pripravenosti k elektrickým javom, ktoré potom bez ďalšieho nastupujú, keď napríklad priblížime telo k trenej fólii, uzatvoríme elektrický obvod alebo podobne. Ak hovoríme o existencii napätia pri predmetoch, tak je to spravidla niečo prichybané trením, stiahnutím, vnorením kovových platní alebo podobne. Ako fenomén však napätie súčasne nie je. Ak sú tu elektrické deje, nie len spočívajúce sily, ale napríklad pohyb či ohriatie, potom sa nedá už vec uchopiť len s pojmom napätia. Zhrnuto povedané - napätie je čistá možnosť elektrických javov a ešte nie jav; je to stav čakania, so sklonom k dianiu. Sklon k dianiu (napätie) sa môže stať viac či menej naliehavým. Pri vysokých napätiach preskakujú iskry na lakte ďaleko. S kvantitatívnou veľkosťou napätia, napríklad stupnicou vo voltoch udávame pri nejakom stave jeho relatívnu naliehavosť k dianiu, v porovnaní so silou naliehavosti pri jednom volte. - Pri galvanických pokusoch s vlhkými kovovými platňami (7.trieda) sú napätia od 1 do 2 voltov pre pár platní nepatrné v protiklade k elektrostatike (6.trieda), kde máme desaťtisíce voltov, ale takmer žiadny prúd, to znamená žiadnu trvalosť možných javov. Galvanika neposkytuje žiadne tzv. napäťové iskry, ktoré už preskakujú *pred* priblížením, ale dáva odtrhové iskry pri oddeľovaní *po* dotyku. Ako možno zvýšiť napätie páru platní zo zinku a medi? Zaradením viacerých článkov za sebou, ako pri E3 a E4! Pre samotné napätie je nedôležité, aké veľké platne sú, mohli by to byť i kovové pásy z E3. Rozhodujúce je iba opakovanie usporiadania vzájomného zaradenia (viď obr.49 vľavo).

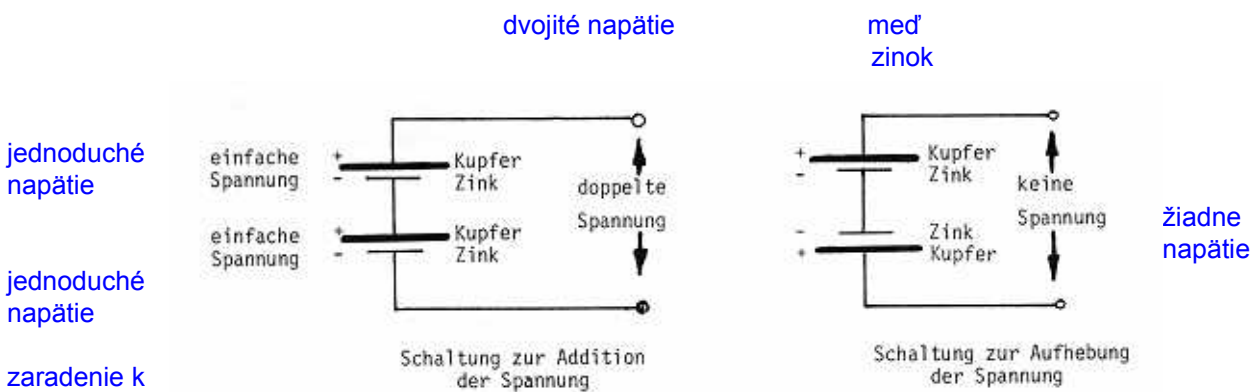


Abb. 49: Wahlweise Addition von Strom oder Spannung

obr.49: Alternatívne pridanie prúdu alebo napätia

zaradenie k zrušeniu napätia

Medená platňa je tu označená dlhou, zinková platňa na odlišenie krátkou čiarkou. Môžu sa napätia vyradiť? Napätia vznikajú vždy medzi dvomi pólmi. Potom je jeden voči svojmu protipólu napríklad plus, druhý voči prvému mínus. Medená platňa v pravej kresbe je tu plus. Voči obom vzájomne prepojeným zinkovým platňami je tak jedna ako druhá medená platňa plus. Obe medené platne ležia teda voči spoločnému vzťahovému bodu (spojeným zinkovým platňami) v rovnakom napätí. Medzi medenými platňami sa potom nevyskytuje žiadny napäťový rozdiel. V ideálnom prípade sa nerozlišujú v ničom.

*To možno dokázať takto: Ak trieme sklo hodvádom, tak vznikajúca elektricitá skla sa stanovuje ako plus (voči treciemu hodvábu a tým - keďže človek ho drží v ruke a sám stojí na pôde - voči zemi). Živica trená kožou sa naproti tomu stáva negatívnou. Živica a sklenené teleso, zavesené na dlhých nitiach, sa priťahujú, to jest jedno teleso sa nakloní pri priblížení druhého trochu k nemu. Ak zapojíme asi 1000 článkov za sebou ako je znázornené na obr.49 vľavo a položíme najspodnejší zinkový pól (mínus) na zem a najvyšší medený pól cez drôt na nejaké kovové teleso, tak sa bude vyššie spomenuté hodvádom trené sklenené teleso pri jej priblížení odpudzovať - plus odpudzuje plus!

Napätím sa vyznačuje batéria; preto ich kupujeme. Batéria s veľkým napätím, t.j. s väčšou silou diania, dokáže už i v dlhom tenkom drôte, ktorý zle vedie (napríklad v žiarovčke), vyvolať dostatočne silnú mieru súvisiacich javov, ktoré nazývame prúd.

Avšak batéria s ešte väčším napätím presiahne silu javu: Žiarovka prehorí. Napätie batérie a odpor elektrického obvodu musia teda byť vzájomne zosúladené.

Odpor elektrického obvodu sa mení podľa materiálu drôtov. Všetky predmety, ležiace priamo v elektrickom obvode hrajú nejakú rolu. Sú to tie, ktorých prestrihnutie či odobratie by zrušilo jav prúdu. Pri kúsku drôtu - ako pri každej časti obvodu - to spočíva v troch veciach: dĺžke, hrúbke (priereze) a materiáli. Pri našom pokuse E8 so žeraveným drôtom môžeme prírodné drôty (káble s banánikmi, ktoré vedú k akumulátoru) urobiť dlhšie alebo kratšie: žeravenie železného drôtu sa tým prakticky nemení. Ale ak skrátime žeravený drôt, tak stúpne jeho žeravosť okamžite. Teda to bola táto časť obvodu, ktorá určila prúd (mieru celkového javu). Žeravený drôt je rozhodujúci odpor. Odpor prírodných káblov musí byť hodnotený ako veľmi malý voči odporu žeraveného drôtu (pretože sa kábel ukázal byť bez vplyvu). V tomto usporiadaní už na ne nemusíme brať ohľad. - Naš pokus E8 ukazuje, že odpor pri krátkom drôte bol menší, pretože prúd sa stal silnejším. Teraz si myslíme dva také drôty, paralelne napnuté. V oboch je tej istý jav (zohriatie), ako predtým v jednom. Akumulátor sa teraz dvakrát tak rýchlo rozožerie. Vládne teda celkovo dvojité sila zohriatia, to jest sila prúdu. Skúsenosť ukazuje mimochodom, že bez zmeny celkového prúdu možno vedľa seba bežiacie drôty k sebe pritlačiť a doviesť k zataveniu. Potom máme opäť *jeden* drôt, ale s *dvojitým* prierezom. Tento spôsobuje v celom okruhu dvojitý prúd oproti *jednému* z pôvodne tenších drôtov. Hrubý drôt má teda polovičný odpor. Všeobecne: elektrický odpor stúpa proporcionálne k dĺžke a klesá proporcionálne ku prierezu. Aby sme prebádali vlastnosti materiálu, mohli by sme teraz miesto železného drôtu použiť rovnako dlhé a rovnako hrubé drôty najrôznejších kovov. Ktoré sa najsilnejšie zohreje, ten vedie najlepšie. Presnú silu prúdu by nám mohla sprostredkovať napríklad rýchlosť rozožierania platní akumulátora. Pri jednom takom experimente musíme prirodzene dbať na to, že prírodné káble k akumulátoru - ak také sú - majú vždy oveľa menší odpor, než skúmaný kus drôtu. Ako sa to dosiahne? Musia byť hrubšie a z lepšie vodivého materiálu. Pri našom pokuse E8 mali približne dvojnásobný prierez žeraveného drôtu a čo je rozhodujúce - boli z medi. Tá vedie osemkrát tak dobre ako to železo, ktoré bolo spracované na drôt. Na tomto princípe spočívajú všetky domáce spotrebiče, ba všetko zásobovanie energiou: Prívody sú ako odpor malé voči využívanému objektu; tak napríklad voči tenkým a skrutkovitým namotaním dlhým žiarovkovým vláknom v žiarovke. A tam, kde je veľký odpor, vystupuje zohriatie. Tak majú dokonca hrubé zatavené kusy vodiaceho drôtu, oporné stĺpy vláknovej skrutkovice vo vnútri žiarovky, celkom malý odpor voči tenkým, voľne visiacou skrutkovicou. Pretože kto by už chcel rozžeravený prírodný kábel!

Kapitola, bohatá na učivo i pre žiakov, je vyvinutie žiarovky Edisonom. Na nej môže byť študované spolupôsobenie napätia, odporu a prúdu; a čo to znamená dosiahnuť použiteľnosť v práci toho, čo sa tak ľahko myslí. (Bližšie v poznámkach na okraj „Elektrická žiarovka“, s.183).

Veľkosť batérie, teda veľkosť platní článkov akumulátora - nie počet článkov - hrá tiež ešte často rozhodujúcu úlohu. Najskôr zhrňme vyššie povedané: Prúd v odporovom okruhu stúpa s veľkosťou vloženého napätia a klesá s veľkosťou odporu. Ak robíme odpor stále menší, tak sa prúd stáva stále väčším. To ale naráža na hranice. Batéria nemôže naplniť silou ľubovoľne veľké prúdy, nemôže byť ľubovoľne rýchlo rozožratá. To sa pri batériách zvlášť tak zariadi. Čo má človek z batérie, ktorá sa hneď rozhorúči, rozžeraví, quillt, vybuchne, rozšíri oblak prachu a tým je práve veľmi rýchlo použitá, zatiaľ čo veľmi krátko vykonáva niečo veľkého! Preto sa normálne napätie zrúti pri preťažení (skrat alebo pripojenie nejakého spotrebiča s malým odporom). S 12 voltovou batériou tranzistorového rádia nemôžeme naštartovať auto. A predsa má automobilový akumulátor tiež iba 12 voltov. Ale jeho pórovité olovené platne majú mnoho tisíc krát väčšiu plochu, než zinkové obloženie malej suchej batérie. Veľké platne akumulátora prinášajú stokrát väčšiu rozožieracu premenu. Pretože rozožieranie na odohráva na povrchu. maximálne možný prúd je teda, keď sa odpor obvodu stáva veľmi malým, ohraničený už nie vonkajším obvodom, ale veľkosťou platní. Na veľkosti článku akumulátora možno približne vidieť dostupný maximálny prúd, na počte článkov zase napätie.

IV. Zážitok elektriny

Aký pocitový úsudok, aké stanovisko si má získať žiak voči elektrine? Človek by ľahko odpovedal: Predvedieme vec a necháme to navoľno. To ale práve nejde - možno ešte pri dopelých. Vyučovať o nejakej veci - to musí byť dosiahnuté nejaké citové spojenie, žiak musí toto ponúkané hlbšie prežiť a dokázať to spojiť so svojim vnútorným svetom až do náboženských a morálnych pocitov, inak sa zoslabuje jadro dospievajúcej osobnosti. Len neverme, že formalizmus, chladná manipulácia, vzrušenie pri schopnosti vytvoriť efekty pri experimente a samozrejme využitie takzvaných podzmyslových prírodných síl nemajú žiadne pocitové spojenie so svetom. Aj nezmyselné, len veci slúžiace učenie sa o skutočnostiach obsahuje nejaké pocitové stanovisko ku svet,

napríklad vzťahovú prázdnotu, odtrhnutosť, bezohľadnosť. Natrénovanie nejakého tak určitého vzťahu ku svetu sa otláča hlboko, často sa ale chybné chápe ako „objektívne učenie“.

Kde sa teda v zaoberaní sa s nejakou vecou nevyhnutne pracuje i na pocitovom stanovisku k nej, tam je určite dobré toto pocitové stanovisko dávať žiakom z vlastného duchovného postoja vo vnútri sveta a tak dávať ich veku vedome sformované smerovanie. To je pre učiteľa v triede veľmi individuálne. A predsa nesie preberaná látka isté runy (znaky), ktoré môžu hovoriť. Prvú runu by som nazval: Prienik z priestoru a času - alebo, poznávacoteoreticky myslené: Hovoriace variácie vo „vedľa seba“ a živé transformácie v „po sebe“, ktoré naše myslenie inak vždy rozvíja na svete, tu nemôže práve vypestovať. Elektrina roztrháva bezprostredne koberec obrazov prírody. Tento charakter jej vystupovania porovnávam s nervozitou; na slove nezáleží.

Druhá runa poukazuje na črtu izolovanosti, ktorú nesie každý elektrický obvod. Plus pól batérie môže vytvoriť jav prúdu len s mínusovým pólom tej istej batérie. Kus vedenia môže byť zaradený súčasne v dvoch elektrických obvodoch bez toho, že by sa v jednotlivých účinkoch mnoho zmenilo; obvody sa neovplyvňujú pri jednosmernom prúde o nič viac než aj inak vyvolávaným oteplením spoločného kusa vodiča (zvýšenie odporu) a malým, v ňom spočívajúcim protinapätím. V nasledovnom usporiadaní to zostáva ešte nepatrné:

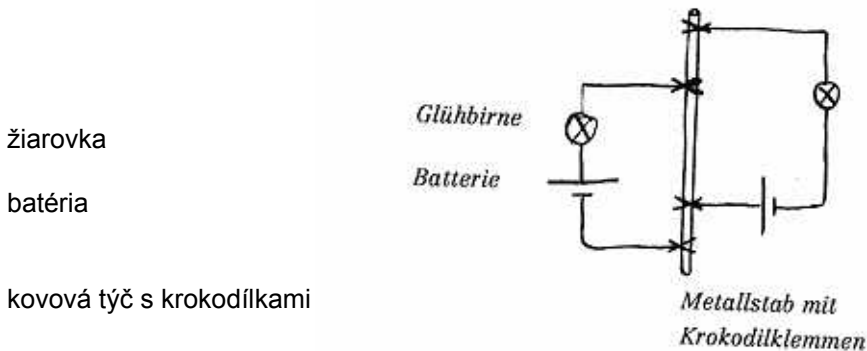


Abb. 50: Unabhängige Stromkreise überschneiden sich am selben Metallstück

obr.50: nezávislé elektrické obvody sa prelínajú na tom istom kuse kovu

Každý elektrický obvod sa stavia do sveta ako sebecký, len na seba vzťahnutý útvar. Je uzatvorený. To, čo povedľa, v jeho okolí, prebieha, tu nepôsobí. Správa sa podľa svojich vlastných vlastností. Preto možno takého zariadenia s elektrickým obvodom nosiť v taške, v uchu v hrudi. - Ako je to v akustike? Tam sa tóny nasmerovávajú nielen do strany, ale po celom nástroji, ba do celého priestoru. - Jas spája najvzdialenejšie krajiny sveta všetky naraz. Stupeň tepla sa premieňa v okolí spolu s tým, čo je zahrievané. Elektrický okruh so svojimi prírodou cudzími materiálmi, s celkom silne vodiacim a celkom silne izolujúcim (v protiklade napríklad ku koži a drevu), sa prežíva ako sebaurčujúce cudzie teleso.

Zatiaľ čo prvá runa sa obracia viac na myslenie, druhá na diferencované cítenie, tretia vyznačuje cestu činu, neohraničené možnosti. Ak sme plne uchopili vyššie načrtnuté pojmy napätie, prúd a odpor, tak môžeme skrze elektrinu vyvolať a dávkovať rôznorodé pôsobenia s rozumom, racionálne a nedbalo, bez hlbšieho vcítenia sa do prírodnej súvislosti. Lacným usporiadaním myšlienok sa dajú slabé batérie čisto vonkajškovo zaradiť spolu a tvoria tak bez nejakej zmeny jednu silnú; zastrčenie nejakého slabého drôtika stačí, aby sa vysoké napätie zmenilo na vysokú silu prúdu (paralelné zapojenie). Bez námahy vykonané zapnutie či vypnutie vyvoláva veľké pôsobenia, ktoré človek predtým abstraktne prepočítal.

S tromi runami sa samozrejme nevyovie všetko. Patria však dohromady a dávajú obraz. Tomu, čo je zmyslovo-morálne (Goethe v náuke vo farbách), by sme sa práve mali kúsok venovať. To by sa malo cítiť zo žiakov a - v prerozprávani - činne rozvážne uskutočniť. Jasný úsudok v tom by sa mal azda - po ročnom „spánku vecí“ - v 8.triede zostríť; potom napríklad tak, že človek sleduje následky ohromnej elektrocivilizácie pre život jednotlivca, pre sociálny organizmus, pre zem a potrebuje morálne impulzy na riadenie techniky.

Teraz existuje ešte jedna úplne iná cesta ako uchopiť elektrické javy, to jest všetko to, čo sa napája na dielo Galvaniho. Je to elektrická ryba. V mnohých zoo sa také dajú vidieť, napríklad úhora elektrického z južnej ameriky či pasumca elektrického zo strednej afriky. - Mohli by sme z toho, ako aj z vyššie spomínaného na s.99 a zo zoologickej literatúry (napríklad Grzimekovho „Tierleben“, Mníchov 1980), rozvinúť vyučovací obsah. Pritom záleží viac na životných javoch a okolitej prírode, menej na anatómii elektrických orgánov.