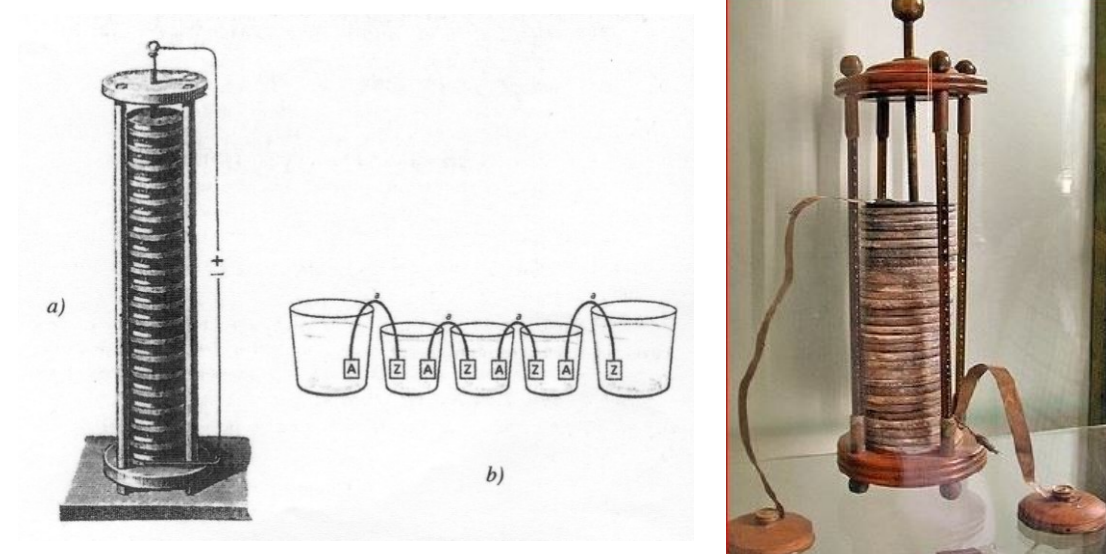


## PRVÉ POZNATKY O ELEKTRINE A MAGNETIZME

Elektrotechnika ako technický odbor vznikol z hľadiska histórie techniky a ľudskej spoločnosti pomerne neskoro. **Obvykle sa udáva ako rok vzniku elektrotechniky rok 1800**, keď taliansky fyzik Alessandro Volta predviedol v Londýne Kráľovskej spoločnosti svoj vynález - prvý zdroj elektromotorického napätia, galvanický (elektrochemický) článok, tzv. Voltov stĺp. V tom čase ani on sám nevedel podrobnejšie zdôvodniť princíp jeho fungovania, hoci nejakú (samozrejme z dnešnej úrovne poznania nesprávnu) predstavu mal. Vychádzal z poznatkov Luigiho Galvaniho a experimentálne dokázal pravú podstatu vzniku elektrických impulzov, ktoré Galvani pozoroval na vypreparovaných žabích stehienkach a považoval ich za prejav "živočíšnej elektriny". O týchto pokusoch si povieme neskôr viac. Skutočná povaha elektrických a magnetických javov ešte aj dlho potom nebola známa a zaujímavé boli len niektoré makroskopické prejavy niekedy dosť náhodne odpozorované z prírody. Viedli však postupne k posúvaniu úrovne poznania, plného aj chýb a omylov, hoci dnes sa nám zdajú jednoduché a samozrejme.



Obr. 1 a) Voltov stĺp b) sériové spojenie článkov s elektródami: A = striebro ; Z = zinok

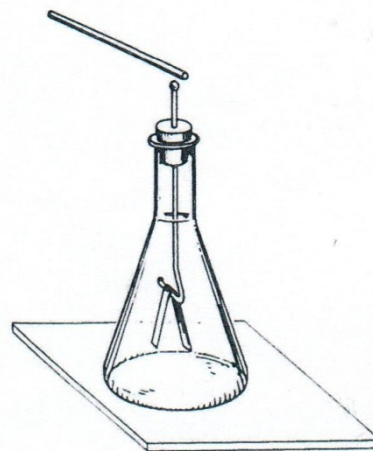
Pokiaľ hovoríme o elektrotechnike, jej fyzikálnym základom sú elektrické a magnetické javy, ktorých poznávanie má veľmi zaujímavú históriu. Pôvodne sa vôbec neočakávalo, že by tieto javy mohli navzájom súvisieť. Dnes však už veľmi dobre poznáme ich vzájomnú súvislosť, a preto elektrostatika a magnetostatika sa dnes chápu len ako špeciálne prípady všeobecnejšieho prípadu - elektromagnetizmu, t. j. vzájomne súvisiacich javov, ktoré odhalila časť fyziky, nazývaná elektrodynamikou. Tá je dnes jedným z pilierov fyziky a teoretickým základom elektrotechniky.

Postupné odhaľovanie zákonitostí elektromagnetizmu je vzrušujúci príbeh, ktorý si postupne rozpovieme. Prvé poznatky z elektromagnetizmu predstavovali z fyzikálneho hľadiska umne pripravené experimenty, no z technického hľadiska to boli často unikátne technické zariadenia, vedúce na ich postupné uplatnenie v technickej praxi. Pre fyziku boli zároveň zárodkom novej úžasnej teórie, ktorá dokázala predpovedať existenciu dovtedy neznámych javov. Tie sa neskôr stali základom nových technických riešení a vynálezov. Treba však povedať, že prví elektrotechnici boli predovšetkým experimentátori a praktici; fyzikálna teória a matematický opis pozorovaných javov vznikli až následne.

Na tomto mieste si povedzme **pár slov o podstate elektrických a magnetických javov, ako ich vnímame dnes**. Tým zároveň pochopíme, prečo sa elektrotechnika tak relatívne neskoro objavila na scéne. No začala sa potom naozaj búrlivo a rýchlo rozvíjať.

Všetky látky (tuhé, kvapalné, plynné) pozostávajú z atómov a molekúl. Jemnejšia štruktúra týchto atómov a molekúl začala byť lepšie zreteľná až začiatkom 20. storočia, kedy sa ukázalo, že atómy pozostávajú z elementárnych častíc (najdôležitejšie z nich sú elektróny, protóny a neutróny). Protóny (s nábojom, ktorý považujeme za kladný) a neutróny vytvárajú prostredníctvom zvláštnych - jadrových síl atómové jadro a elektróny (ich náboj považujeme za záporný) vytvárajú jeho elektrónový obal. Tieto elementárne častice sú teda nositeľmi elektrického náboja (protóny a elektróny, neutrón je elektricky neutrálny), ale aj magnetického momentu ako základného zdroja elementárneho magnetizmu. Vzájomné pôsobenie častíc sa odohráva bez toho, aby sa navzájom dotýkali, to je ide o vzájomné pôsobenie bezdotykové, "na diaľku". Sprostredkovateľom tohto pôsobenia je zvláštna forma prejavu prírody, ktoré dostala názov pole. V prírode teda máme vo vzájomnej podmienenosti častice a ich pole. Častice vďaka tomu vytvárajú relatívne stále zhľuky či útvary - atómy, ktoré medzi sebou môžu špecificky pôsobiť - vzniká medzi nimi chemická väzba. V základnom stave je atóm (a teda i látka) elektricky neutrálny. Magnetické vlastnosti látok veľmi závisia od toho, či je výsledný magnetický moment atómov nulový alebo nie. Narušením elektrickej rovnováhy napríklad oddelením časti elektrónov od materských atómov sa látka elektrizuje a vytvorí vo svojom okolí elektrické pole. V kovoch, elektrolytoch a ionizovaných plynch alebo sa môžu nabitie častice vo vnútri látky pohybovať a môže v nich tiecť pod vplyvom vonkajšieho elektrického poľa elektrický prúd. Podľa toho látky aj delíme na nevodiče (izolanty) a vodiče. Práve A. Volta vytvoril pre elektrotechniku veľmi dôležité zariadenie - zdroj elektrického napätia, ktorý vytvára na svojich vývodoch elektrické pole a po pripojení k vodiču vyvolá elektrický prúd. Je pozoruhodné, že v okolí pohybujúceho sa náboja (vodiča, v ktorom tečie el. prúd) vzniká magnetické pole, ktoré pôsobí na magnetické telesá, napr. na strelku v kompase. Naopak, ak pohybujeme magnetom okolo vodiča uzavretého do slučky, bude v ňom tiecť elektrický prúd aj bez prítomnosti zdroja elektrického napätia v podobe Voltovho článku. Vo vodiči teda vzniká elektrické pole aj vtedy, ak pohybujúcim sa magnetom vyvoláme v jeho okolí časovú zmenu magnetického poľa! Časová zmena magnetického poľa teda vyvolá pole elektrické a neskôr sa ukázalo, že to platí i naopak. Preto dnes hovoríme o jednotnom elektromagnetickom poli. Toto pole môže byť nositeľom prenosu energie na diaľku aj bez prítomnosti častíc (teda vo vákuu), čo dnes nazývame žiarením. Jeho špeciálny prípad je napríklad svetlo. Dnes sa žiarenie (elektromagnetické vlnenie) používa na prenos informácií. Ak sa náboje v látkach nepohybujú alebo nedochádza k časovým zmenám týchto polí, formálne možno obe zložky elektromagnetického poľa oddeliť na zložku elektrickú (presnejšie: elektrostatickú) a magnetickú (magnetostatickú).

Je zrejmé, že **kým o podstate elektromagnetizmu ľudia nevedeli, považovali elektrinu a magnetizmus za dva zvláštne navzájom nesúviace javy**. Ba dokonca elektrický výboj (napr. blesk) bol predmetom až mystických predstáv a dlho nikoho nenapadlo, že elektrostatické pole v okolí jantárovej tyče, ktorú trieme vhodnou látkou, má tú istú povahu ako blesk - v oboch prípadoch musí na vznik týchto javov dôjsť k oddeleniu elektrónov od ich materských atómov. V stredoveku teda jednoducho nemohlo dôjsť k uvedomelejšiemu poznaniu a využívaniu elektromagnetizmu, a teda ani k vzniku elektrotechniky. Meracie prístroje nejestvovali a na indikáciu polí sa používala magnetka alebo staniolové lístky (*elektroskop*).



Obr. 2 Elektroskop

## Prvé (nevedecké) skúsenosti z pozorovania magnetických a elektrických javov

Prvé príklady poznania niektorých javov z oblasti magnetizmu a elektriny siahajú hlboko do minulosti, aj keď ich podstatu si ľudia nevedeli správne vysvetliť. Napríklad grécky filozof a prírodovedec THALES MILÉTSKY (624-547 pred n. l.) opísal **príťahovanie drobných teliesok (páperie, prach, popol.) jantárom** (čo je fosílna živica zo stromov) po predchádzajúcom trení. V gréckom slove elektron = jantár nachádzame pôvod slov elektrón a elektrina. SENECA a LUKRETIUS CARUS (1. storočie pred n. l.) uvádzali, že železná ruda môže príťahovať iné malé kúsky tejto rudy a toto príťahovanie (silové pôsobenie) prechádza aj cez iné telesá. Zdá sa však, že títo dvaja grécki filozofi tieto poznatky prevzali od starších autorov. V 1. storočí pred n. l. v Číne našli magnetické javy uplatnenie v podobe **magnetickej strelky v kompase**. V Číne sa však magnet používal už niekoľko storočí predtým. V Európe sa prvá zmienka o kompase objavila až v roku 1187. Kompas a jeho vylepšenia našiel svoje uplatnenie až v 15.-16. storočí v súvislosti s rozvojom námorníctva a zemepisnými objavmi. Bola tak zároveň objavená magnetická deklinácia. (Je zapríčinená tým, že zemepisné a magnetické póly Zeme nie sú totožné, takže strelka v kompase neukazuje presne v smere sever-juh, ale je odchýlená o tzv. uhol deklinácie). Ľudstvo živelne prišlo na to, že Zem sa správa ako obrovský magnet.

**Poznámka.** Slová magnet, magnetizmus majú pravdepodobne pôvod v názve maloázijského mesta Magnesia. V jeho okolí sa nachádzala železná ruda – magnetit (oxid železato-železitý). Používali ju starí Gréci.

Elektrické a magnetické javy sa vysvetľovali „antropomorfné“ – prenášaním ľudských vlastností na prírodné javy. Napríklad sila vyvolaná permanetným magnetom sa považovala za prejav duše magnetu ako oživená hmota. Zemský magnetizmus vytvárajú údajne obrovské magnetické hory, ktoré ležia v okolí pólův Zeme.

Jedným z prvých elektrických javov, ktorý človek poznal, bol **blesk**. (Ide v podstate o elektrický výboj v ionizovanom vzduchu medzi dvoma miestami s rozdielnym elektrickým potenciálom.) Blesku sa pripisovala nadpozemská povaha, napríklad ako prejav boha, vládcu hromov. V starom Grécku to bol boh Zeus, ktorý vládol pomocou blesku, v starom Ríme bol podobne boh Jupiter, u starých Slovanov boh Perún. Aj starí Babylončania mali boha búrky – Adada. Egyptský faraón RAMSESS III. (1198-1168 pred n. l.) nechal na chráme v Karnaku postaviť stožiare s pokovovanými hrotmi, čo zrejme boli prvé bleskozvody. Grécky filozof ARISTOLES (4. storočie pred n. l.) predpokladal, že blesk vzniká zapálením horľavých plynův, ktoré sa nachádzajú vo vzduchu. Neskôr EPIKUROSO (3. - 4. storočie pred n. l.) vysvetľoval blesk ako dôsledok vzájomného trenia mrakov. Takéto pokusy o objasnenie blesku boli nevedomé, špekulatívne a nezakladali sa na poznaní prírodných zákonův.

V roku 1267 napísal francúzsky dôstojník PETER PEREGRINUS spis s názvom **Dopis o magnete** (*Epistolae de magnete*), ktorý sa počas bojův medzi Francúzmi a Talianmi pokúšal využiť magnetit na zostrojenie perpetua mobile. Je to súbor dopisův obsahujúcich dovtedajšie poznatky o magnetizme. Kniha sa prepisovala najskôr ručne, v roku 1558 po vynájdení kníhtlače bola vydaná v roku 1558 v Augsburgu. Táto kniha sa stala základom pre skutočne vedecké skúmanie elektromagnetizmu. Sú v nej opísané vlastnosti prírodného magnetu, je zavedený pojem rôznych "magnetických pólův", ktoré sa príťahujú alebo odpudzujú, a prenikanie magnetických síl cez niektoré látky.

## Prvé vedecké poznatky o elektromagnetizme

Pripisujú sa W. Gilbertovi, anglickému lekárovi, osobný lekár kráľovnej Alžbety I. WILIAM GILBERT (1544-1603) sa popri lekárskej praxi venoval chémii, astronómii,

metalurgii, zemským magnetizmom a elektrostatikou. Pri skúmaní elektrických a magnetických javov postupoval čisto experimentálne, systematicky vykonal vyše 600 pokusov a odmietal filozofické špekulácie a scholastiku.. V mnohých prípadoch využil aj knihu P. Peregrina.

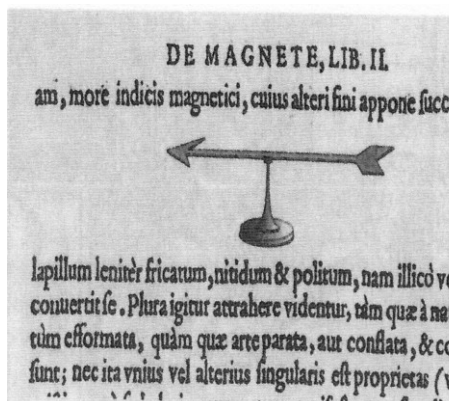
Medzi jeho najpozoruhodnejšie poznatky z oblasti magnetizmu patria:

- Permanentný magnet je vždy *magnetickým dipólom*, t. j. má vždy severný a južný pól, ktoré sa od seba nedajú nijakým spôsobom oddeliť.
- Póly magnetov s rovnakým menom sa odpudzujú, opačné sa priťahujú (to zistil už Peregrinus).
- Permanentným magnetom možno zmagnetizovať ďalšie železné telesá (existuje teda magnetická indukcia).
- Železo vložené pred permanentný magnet zoslabuje jeho silové pôsobenie (železný predmet pôsobí ako magnetické tienenie).
- Ohriatím magnetu do červena permanentný magnetizmus zanikne.
- V okolí permanentných magnetov zrejme existuje *magnetické effluvium* (magnetický výron), čo predstavovalo prvé tušenie o existencii magnetického poľa v okolí magnetov.
- W. Gilbert z magnetitu zhotovil guľu, ktorá slúžila ako prvý a vcelku už uspokojivý model zemského magnetizmu. Pomocou magnetky porovnával magnetické účinky tohto modelu a na povrchu Zeme a zistil, že Zem je veľký magnet. Predpokladal, že magnetické a zemepisné póly sú totožné.

Tieto poznatky zhrnul v latinsky napísanej knihe *De magnete*. Vyšla v Londýne v roku 1600. Bola to prvá vedecká publikácia o elektrických a magnetických javoch a stala sa dôležitým podkladom pre ďalších vedcov.

W. Gilbert sa zaoberal aj **elektrostatikou**. Najvýznamnejšie poznatky sú nasledovné:

- Nielen jantár, ale aj iné látky (napr. síra, sklo...) možno trením dostať do stavu, kedy priťahujú ľahké telieska.
- Elektrina je akási nevážitelná kvapalina – fluidum electricum, pričom elektrický náboj je určité množstvo tejto kvapaliny. Plameň neutralizuje elektrické vlastnosti telies získané trením.
- V okolí zelektrizovaných telies vzniká *elektrické effluvium* (elektrický výron).
- Na určovanie elektrického fluida zostrojil prvý merací prístroj - *elektrické versorium*. Pripomínalo kompas, ale namiesto strelky bolo na otočnej osi vložené ľahké stebielko. Bol to predchodca elektroskopu.



Obr. 3. Reprodukcia elektrického versoria z knihy W. Gilberta "De magnete"

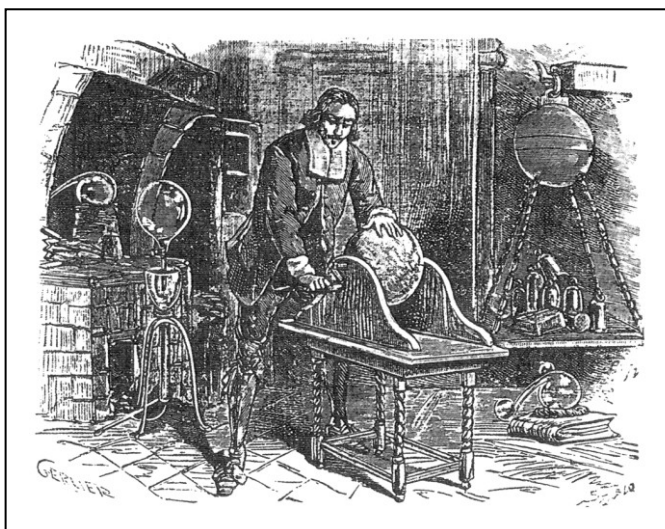
V okolí zelektrizovaných telies a magnetov teda Gilbert predpokladal prirodzenú existenciu *effluvií*, čo neskôr po asi 200 rokoch vyústilo do pojmu elektromagnetického poľa, ktorý ako pojem fakticky zaviedol M. FARADAY a ďalší experimentátori.

Na Gilbertove poznatky o zemskom magnetizme nadviazal nemecký astronóm a matematik JOHANNES KEPLER (1571-1630). V rokoch 1600-1612 žil v Prahe, najprv ako asistent astronóma Tycha de Brahe a po jeho smrti v roku 1601 bol menovaný za dvorného matematika cisára Rudolfa II. Po cisárovej smrti prešiel do Linzu v Rakúsku. Kepler využil de Brahove výsledky meraní pohybov planét a snažil sa ich využiť do formulácie matematických zákonov. Prvé dva zákony Kepler publikoval v roku 1609 v knihe *Astronomia Nova*, tretí zákon publikoval až v roku 1619 v Linci v spise *Harmonices mundi*.

**Poznámka.** Keplerove zákony znejú nasledovne: 1. Planéty obiehajú okolo Slnka po eliptických dráhach s malo výstrednosťou a v ich spoločnom ohnisku leží Slnko 2. Plocha, ktorú opíše sprievodič planéty za určitý čas, je vždy rovnaká 3. Pomer druhej mocniny obežnej doby planéty a tretej mocniny jej strednej vzdialenosti od Slnka má pre všetky planéty rovnakú hodnotu.

Na Keplerove zákony nadviazal v roku 1686 ISAAC NEWTON objavom gravitačného zákona. **Pre gravitačné pôsobenie zaviedol pojem okamžitého pôsobenia na diaľku** (*action in distans*). Ako možno odvodiť z Keplerových zákonov, gravitačná sila je nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti dvojice kozmických telies, čo platí i všeobecne pre akékoľvek telesá. Toto odvodenie možno nájsť napr. v učebnici fyziky napísanej prof. Ilkovičom. Vo vzťahu k elektrotechnike už teraz uveďme, že Newtonova koncepcia silového pôsobenia na diaľku, ktorá vzniká okamžite bez ohľadu na vzdialenosť dvojice telies, sa v prípade elektromagnetického poľa nepotvrdila; rýchlosť šírenia interakcie je konečná a vo vákuu rovná rýchlosti svetla.

V roku 1660 zostrojil OTTO von GUERICKE prvý **rotačný elektrostatický generátor - treciu elektrinu**. Experimentátor izolovaný od povrchu Zeme, sa suchou rukou dotýkal povrchu otáčajúcej sa sírovej gule, čím sa na jeho tele hromadil elektrický náboj. Sírová guľa po zelektrizovaní najprv ľahké telieska pritiahne, odovzdá im časť náboja a následne ich začne ako rovnako nabitú odpuďovať. Bol už blízko k pozorovaniu javu elektrostatickej indukcie. Zrejme ako prvý pozoroval iskrový výboj.



Obr. 4. Trecia elektrina zostrojená Ottom von Guericke

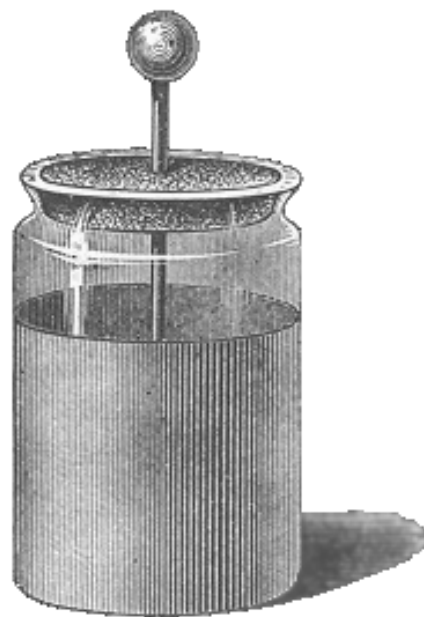
Otto von Guericke bol starostom mesta Magdeburg a prispel k obnoveniu mesta, ktoré vypálili švédske vojská ako pomstu za to, že mesto bolo protestantské. Najskôr študoval právo, potom aj prírodné vedy. Zaoberal sa vákuom a po E. Toricellim bol druhým vynálezcom, ktorý vytvoril vákuum pomocou vývevy. Tiež zostrojil barometer s vodným stĺpcom vysokým 10 m a dokázal súvislosť medzi atmosférickým tlakom a počasím. Známy sa stal najmä pokusom z roku 1657 s medenými dutými navzájom utesnenými **magdeburgskými polgulami** s priemerom 60 cm, medzi ktorým bol vyčerpaný vzduch. Polgule sa nepodarilo od seba odtrhnúť ani ôsmim párom koní. Po zrušení vákua polgule od seba odpadli. Myšlienka existencie vákua bola prijatá s rozpakmi, pretože náboženské predstavy nedovoľovali prijať predstavu priestoru, v ktorom "nič nie je, lebo to by odporovalo božej dokonalosti". Pokus zopakovali až v roku 1754 v Prahe pri návšteve cisárovnej Márie Terézie. Poznatky z pokusov z elektrostatiky O. Guericke neskôr popísal v knihe *Experimenta nova* v roku 1672.

Na poznatky O. Guerickeho nadviazal ROBERT BOYLE (1627-1691), ktorý jeho experimenty zopakoval. Zistil, že sila medzi dvoma zelektrizovanými telesami je vzájomná a je taká istá vo vzduchu i vo vákuu. Rozšíril počet látok, ktoré možno zelektrizovať trením (zafír, smaragd, krištál, ametyst).

Veľmi pozoruhodné boli objavy, ktoré vykonal STEPHEN GRAY (1666-1736), farbiar na dôchodku, zaujímavý sa o fyziku. Skúmal vplyv elektriny na rôzne druhy materiálov a zistil, že **látky možno rozdeliť na vodiče a izolanty**. V roku 1729 totiž zistil, že hodvábnym vláknom nemožno prenášať elektrický náboj, ale drôtom z mosadze sa náboj šíril okamžite. Pokusy s prenosom elektriny vykonával až na vzdialenosť 230 m. Na izolovanom telese ukázal, že sa na ňom udrží náboj niekoľko mesiacov. Údajne skúmal aj vplyv elektriny nabitého telesa na iné látky a zistil, že v kovoch (vodičoch) dochádza vplyvom vonkajšieho el. poľa k vzniku voľných povrchových nábojov (dnes tento jav nazývame elektrostatickou indukciou), ale u izolantov (nevodičov) dochádza na povrchu k vzniku plošného viazaného náboja (dnes tento jav nazývame polarizáciou nevodiča).

Na Grayove pokusy nadviazal francúzsky dôstojník CHARLES du FAY (1698-1739), ktorý experimenty vykonal podstatne dôkladnejšie. Trením rôznych druhov izolantov zistil, že existujú **dva druhy elektriny**: elektrina sklová a elektrina jantárová. V roku 1733 vykonal pokusy s výchylkami dvojice zavesených zlatých pásov, umiestnené v sklenenej banke, na ktoré sa prikladal náboj. Vznikol tak **prvý merací prístroj - elektroskop**, pozri obr. 2 na str. 2, ktorý pôvodne využíval už W. Gilbert. Pásiky sa rozostupovali v závislosti od veľkosti priloženého náboja. Du Fay vytvoril tzv. *dualistickú hypotézu* o existencii dvoch rôznych elektrických fluid: odpudzujúcich sa a priťahujúcich sa. Myšlienka o existencii dvoch rôznych typov nábojov - kladného a záporného - vtedy ešte nedozrela a naďalej čakala na svoj objav. (Neskôr však du Fay sám zistil, že dualistická hypotéza je zrejme nesprávna.) Patril však medzi jedným z prvých, ktorí sa domnievali, že **blesk má elektrickú povahu**.

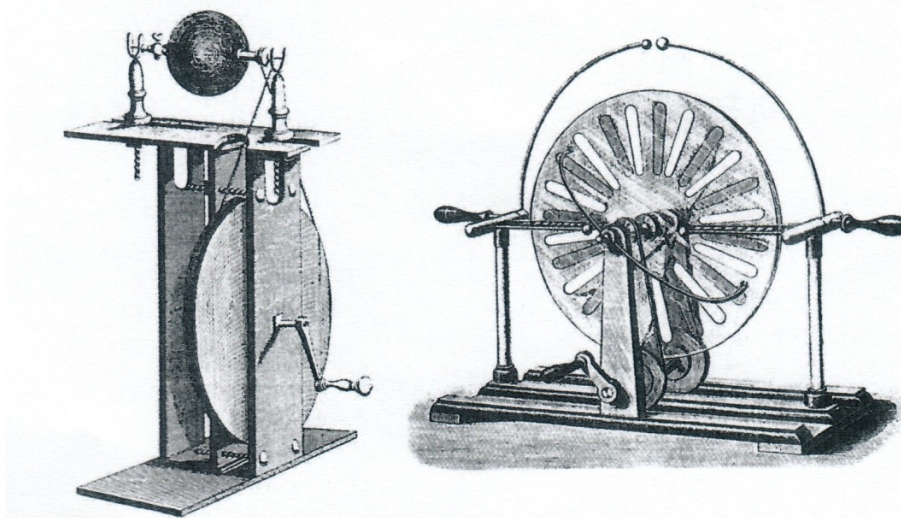
Predstava o tom, že elektrina je akási nehmotná nevážitelná kvapalina (fluidum) viedla k tomu, že by ju bolo možné zhromaždiť v nejakej fľaši. Tak vznikla tzv. **leidenská fľaša**, predchodkyňa kondenzátora (pôvodne sa označovala ako leydenská). Bola to sklenená fľaša zvonku obalená cínovou fóliou do výšky asi dvoch tretín. Druhá fólia bola vložená do vnútra fľaše a spojená s vonkajškom kovovým vývodom s kovovou guľou na konci cez hrdlo fľaše. Fólie tvorili akúsi dvojicu elektród. (Pôvodne sa ako vnútorná elektróda používala voda s kovovým vývodom. Ako vonkajšia elektróda sa používala ruka držiaca zvonka fľašu, fľaša bola ešte bez staniolovej fólie.) Sklo slúžilo ako dielektrikum. Fľaša slúžila ako zariadenie na akumuláciu elektrického náboja.



Obr. 5 Leidenská fľaša

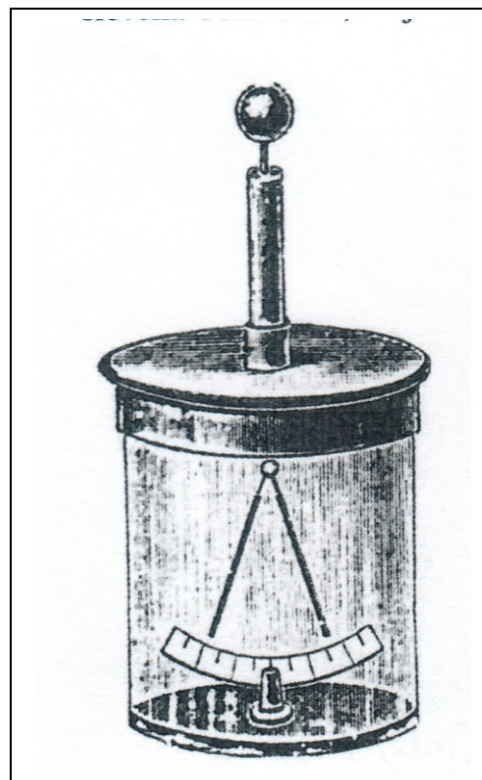
Leidenskú fľašu skonštruoval ako prvý Ewald Jürgen GEORG von KLEIST v roku 1745, nemecký fyzik. O rok neskôr na holandskej univerzite v Leidene ju uviedol do používania PIETER van MUSSCHENBROEK. Na dlhé roky to bol jediný zdroj elektrického náboja potrebný pre experimenty. K leidenskej fľaši sa postupne vyvíjali nové systémy získavania

statickej elektriny a sírová guľa bola nahradená v statických trecích elektrinách valcom alebo kotúčom zo skla alebo ebonitu. Postupným zdokonaľovaním sa získavali zdroje pomerne vysokého napätia (až stovky kilovoltov) používané na získavanie elektrických výbojov. Tie sa predvádzali verejnosti ako "elektrické ohne". Napr. influenčná elektrina vytvorená v r. 1883 britským inžinierom Jamesom WIMSHURSTOM (obr. 6 vpravo) používala na výrobu statického náboja systém protibežných kotúčov.



Obr. 6. Vylepšené systémy získavania trecej elektriny. Náboj sa zachytával Leidenskou fľašou.

Elektrostatické výboje sa tak stali predmetom výskumu v rôznych laboratóriách. Okrem už spomínaných predvádzaní výbojov ako atrakcie ("elektrické ohne") na pobavenie divákov pri rôznych príležitostiach sa robili pokusy s prenosom elektrického náboja na veľké vzdialenosti a skúmala sa "rýchlosť šírenia náboja vo vodičoch". Vtedy vznikla (nesprávna) predstava o tom, že táto rýchlosť je nekonečne veľká. (Dnes vieme, že elektromagnetický rozruch sa šíri aj vo vodičoch konečnou rýchlosťou a voľné elektrické náboje v kovoch vykonávajú tepelný chaotický pohyb; po priložení el. poľa vznikne v kove ešte ďalší druh rýchlosti pohybu nosičov náboja - tzv. prenosová rýchlosť, ktorá dosahuje obvykle rádovo hodnotu  $\text{cm min}^{-1}$ . Je teda veľmi malá a možnosť prenosu veľkého náboja v kove je daná ich obrovskou objemovou hustotou.) Taktiež boli uskutočnené pokusy využiť elektrické výboje na liečebné účely, no bez významnejšieho úspechu. Zasluhou du Faya a ďalších bol Gilbertov elektroskop zdokonalený na tzv. **elektrometer**, ktorý už mal i stupnicu. Nebolo však v tom čase jasné, akú veličinu elektrometer meria.



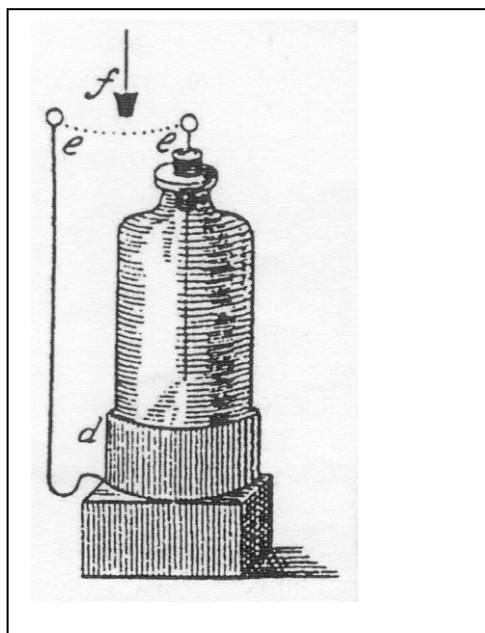
Obr. 7 Elektrometer z roku 1790, jeden z prvých meracích prístrojov

Rozvoj poznatkov z elektrostatiky viedol aj na vznik nových hypotéz a teórií, smerujúcich k vysvetleniu fyzikálnej podstaty elektrických javov. Jedným z prvých tvorcov týchto teórií bol americký politik, ale i veľký vynálezca BENJAMIN FRANKLIN (1706-1790), jeden z významných zakladateľov USA. Vynašiel napríklad

- bifokálne okuliare
- skonštruoval kachle s veľkou výhrevnosťou, ktorá bezpečne zamedzovala vzniku požiaru ("Franklinove kachle")
- navrhol novú metódu merania vzdialeností pomocou počítadla otáčok kola
- zmapoval Golský prúd
- navrhol teórie vysvetľujúce zmeny počasia a vznik zemetrasenia
- hľadal vlnové analógie medzi svetlom a zvukom
- skonštruoval hudobný nástroj, tzv. sklenenú harmoniku

Nás však bude zaujímať jeho prínos pri skúmaní elektrických javov. Na rozdiel od du Faya prepokladal, že v každom elektricky neutrálnom telese je uložené určité množstvo fluida. Ak ho je prebytok, teleso je nabité kladne, pri nedostatku fluida je teleso nabité záporne. Vytvoril tak **unitárnu hypotézu** (v roku 1750). Tým mohlo byť objasnené, prečo sa dva "opačné" náboje môžu neutralizovať. Franklin teda už používal pre fluidum dnešné pojmy kladného a záporného náboja, aj keď v inom význame, ako tieto pojmy používame dnes. Fluidum je fakticky sústava kladných iónov a záporných elektrónov (častíc).

**Poznámka:** Franklinova unitárna hypotéza nie je zrejme pôvodná, je len teoretickým spresnením (a jeho experimentálnym doložením) názorov, ktoré publikoval už Angličan Wiliam Wattson v knihe *Nature and Properties of Electricity*.



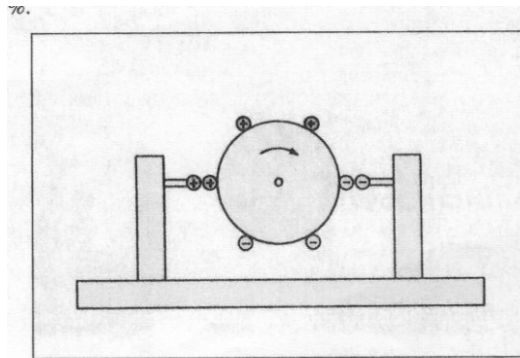
Jeden z Franklinových experimentov z roku 1747, v ktorom sa prevádza elektrina na mechanický pohyb, je znázornený na obr. 8. Kúsok korku je zavesený medzi dvoma guľovými elektródami na hodvábnnej niti. Elektródy sú pripojené k nabitej leidskej fľaši. Ak sa korkovým telieskom dotkneme jednej z elektród, bude sa pohybovať medzi dvoma elektródami, pretože bude striedavo priťahovaný a zároveň odpudzovaný. Bude tak vyrovnávať nadbytok a nedostatok fluida na rôznych elektródach. (Dnes vieme, že sa tým vlastne vyrovnáva kladný a záporný náboj). Je to však prvý známy pokus na demonštráciu "prevodu elektriny na mechanický pohyb".

*Obr. 8. Franklinov pokus s prevodom elektriny na (kmitavý) mechanický pohyb.*

Možno to bol prvý zárodok snáh o vytvorenie elektromotora. Niektoré historické pramene udávajú, že Franklin navrhol aj zariadenie, v ktorom je kmitavý pohyb kúska korku zaveseného na hodvábnom závесе nahradený rotačným pohybom izolačného kotúča, upevneného na vodorovnej osi otáčania. Ku kotúču sú privedené dve pevné guľové kovové elektródy, napojené na leidskú fľašu, a na kotúči sú pripevnené guľové elektródy, ktorými sa prenáša náboj medzi dvoma pevnými guľovými elektródami. Nedávno bol tento model



odskúšaný: pri napätí 50 kV mal účinnosť 5%, výkon asi 2W a dosiahol asi 500 otáčok za minútu. Takýto **pravdepodobne prvý model elektromotora** je znázornený na obr. 9.



Obr. 9. Údajný Franklinov model elektrického motora. Motor nemal magnetické diely.

B. Franklin upravil aj leidenskú fľašu na tzv. **Franklinovu dosku**, čo bol fakticky prvý **doskový kondenzátor**. Na sklenenej doske boli z oboch strán nanosené staniolové fólie. Franklin zistil, že kondenzátorový efekt je závislý od druhu skla. Dnes vieme, že kapacita kondenzátora závisí od permitivity vloženého dielektrika, ktorá je pre rôzne druhy skla rôzna.

B. Franklin zrejme ako jeden z prvých prišiel s myšlienkou o atomizme a časticovom charaktere elektrického náboja (atomizmus = existuje najmenšie možné množstvo náboja, ďalej už nedeliteľné, a každý náboj je jeho celočíselným násobkom). V roku 1749 totiž napísal: *Elektrická substancia sa skladá z neobyčajne malých častíček, takže môžu potom prechádzať aj cez také husté látky, ako sú kovy, voľne a ľahko, bez zjavného odporu.*

Dôležitým prínosom B. Franklina bolo **skúmanie atmosférických výbojov - bleskov**. Dovtedy sa všeobecne prijímal názor gréckeho filozofa Aristotela, ktorý sa domnieval, že pri búrke dochádza k výbuchu plynov zhromaždených v mrakoch (zloženie plynov bolo predmetom rôznych názorov). Hrmenie bolo podľa francúzskeho racionalistu R. Descarta dôsledkom rachotu, ktorý vzniká pádom mrakov z vyššej vrstvy do nižšej. Ale už v 17. storočí sa objavili názory (I. Newton, Ch. du Fay, J. A. Nollet), že fyzikálna podstata blesku a trecej elektriny je rovnaká. Franklin tento názor prijal a doložil experimentálne porovnávaním účinkov blesku a výbojov vyvolaných z nabitej leidenskej fľaše. V roku 1749 napísal:

*Elektrické fluidum sa zhoduje s bleskom v týchto javoch:*

1. Vyžaruje svetlo
2. Má farbu svetla
3. Má kľukatú dráhu
4. Rýchlo sa pohybuje
5. Možno ho viesť cez kovy
6. Sprevádza ho praskanie alebo hluk
7. Preniká vodou i ľadom
8. Rozkladá látky, ktorými prechádza
9. Zabíja živočíchy
10. Taví kovy
11. Zapáľuje horľavé látky
12. Zapácha po síre

Franklin tiež zistil, že hustota povrchového náboja závisí od stupňa zakrivenia povrchu a na hrotoch dosahuje vysoké hodnoty. Vzniku blesku teda možno predísť tým, že z búrkového mraku odsajeme pomocou kovovej tyče, na konci zahrotenej, elektrické fluidum. V jednom zo svojich listov známemu londýnskemu obchodníkovi Collinsovi vtedy napísal: *Takáto zahrotená tyč by asi elektrický oheň mraku rozptýlila ticho a skôr, než by sa k nám mrak priblížil a vyšľahol by z neho blesk a ochránil by nás od náhleho a veľkého nešťastia.* Collins neskôr z Franklinových listov vydal knihu *Pokusy a pozorovanie elektriny v Philadelphii v Amerike.*

Bola predložená do viacerých jazykov.

Následne v roku 1752 skupina francúzskych prírodovedcov na pokyn kráľa Ľudovíta XV. (G. L. Leclerc, J. F. D'Alibart a de Lor) uskutočnila neďaleko Paríža pokus, v ktorom postavil nad zemou zahrotenú tyč vysokú asi 12 m (tyč nebola uzemnená). Experimentátor sa k dolnej časti tyče pri prechode búrkových mrakov približoval s mosadzným drôtom v ruke a získal tak iskry dlhé až 4 cm. Dodnes nevieme, prečo ho tento pokus nejako osobitne neohrozil. (Menej šťastia mal pri takých pokusoch profesor Richmann v Petrohrade, ktorého guľový blesk zabil v roku 1753 priamo v jeho laboratóriu.)

B. Franklin tento pokus zdokonalil. Spolu so synom vypustil papierového šarkana, z ktorého vyčnieval kovový drôt. Drak bol priviazaný čiastočne vodivým konopným motúzom, ktorý bol zakončený kovovým kľúčom. **Keď sa k šarkanovi priblížil búrkový mrak, konopné vlákna sa ježili (lebo sa vzájomne odpudzovali) a medzi kľúčom a Franklinovým zapästím preskakovali iskry.** Tieto iskry dokázali nabiť leidskú fľašu, zapáliť lieh podobne, ako to bolo možné urobiť s trecou elektrinou. K úrazu nedošlo len vďaka tomu, že konopný motúz mal veľký prechodový odpor. Franklin tiež zistil, že **pri prechode elektrického výboja cez kľúč sa tento kľúč zmagnetizuje (!)**



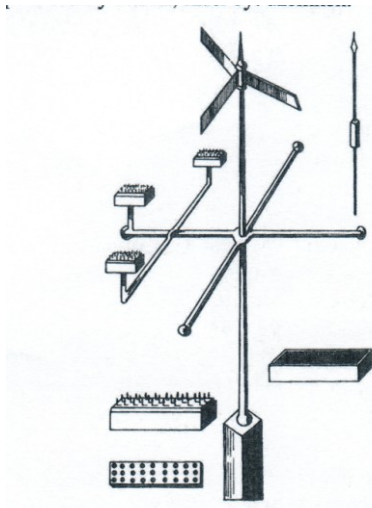
Obr. 10. Franklin so svojím synom experimentujú s atmosférickou elektrinou (1752)

Franklin teda vlastne pozoroval **súvislosť medzi elektrickými a magnetickými javmi.** Spoľahlivo tento súvis preukázal o 70 rokov dánsky vedec HANS CHRISTIAN OERSTED

(v okolí vodiča prúdu sa magnetka kompasu vychýľuje). Franklin sa za svoje objavy a politickú činnosť dočkal mnohých ocenení a dnes je jeho portrét na bankovke 100 \$.

Franklin vlastne použil princíp dnešného **bleskozvodu**. Ale jeho systém pôvodne nebol uzemnený. Do dnešnej koncepcie uzemneného bleskozvodu významne prispel juhomoravský kňaz PROKOP DIVIŠ (Přímětice pri Znojme). Bol inšpirovaný pokusmi s atmosférickou elektrinou a z novín sa dozvedel sa o tragickej smrti prof. Richmanna v Petrohrade. V roku 1754 si dal postaviť od miestneho kováča už uzemnený bleskozvod, tzv. meteorologický stroj. Bol umiestnený na 42 m vysokom drevenom stožari. Jeho úlohou bolo preventívne odsávať atmosférickú elektrinu z mrakov a udržať tak dobré počasie.

Benjamin Franklin taktiež dospel k poznatku, že hromozvod musí byť uzemnený, ale až 6 rokov po P. Divišovi. Takýto bleskozvod prvýkrát predviedol v Philadelphii v roku 1760 a odvtedy sa začal používať po celom svete. Divišov projekt nenašiel pochopenie ani u cirkvi, ani u miestnych občanov, hoci Diviš tvrdil, že voči blesku sa možno brániť a teda blesk nie je prejav božieho hnevu trestajúci ľudí. V roku 1756 nastalo v oblasti veľké sucho a nahnevaní sedliaci Divišov meteorologický stroj zničili.

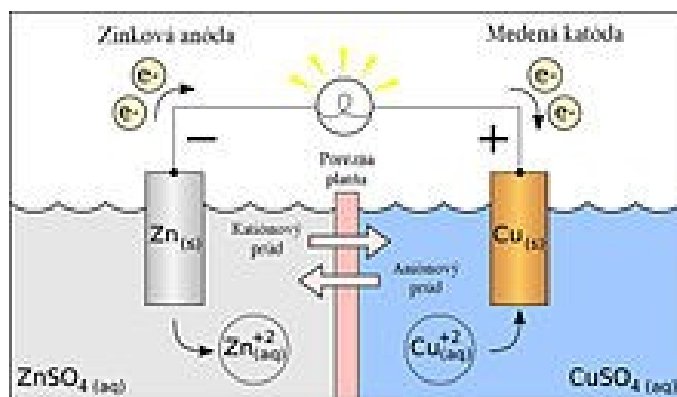


*Obr. 11. Divišov meteorologický stroj.*



## Galvanický (elektrochemický) článok - historicky prvý zdroj jednosmerného prúdu

Koncom 18. storočia sa objavil nový zdroj elektrického napätia, ktorý postupne nahradil leidenskú fľašu a prispel tak k využívaniu jednosmerného prúdu na rôzne účely. Bol objavený elektrochemický článok, ktorý sa podľa histórie svojho vzniku nazýva *galvanickým článkom* podľa LUIGIHO GALVANIHO, ktorého experimentálne skúsenosti viedli na objav nového zdroja elektrického napätia.

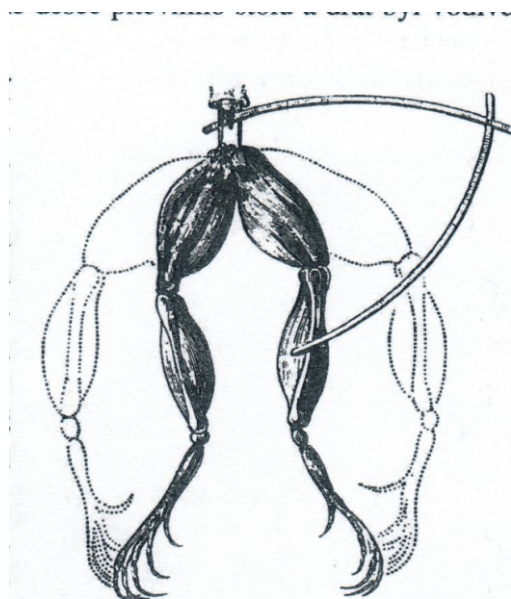


Obr. 12. Princíp konštrukcie elektrochemického článku s medenou a zinkovou elektródou, elektrolyt je zriedená kyselina sírová. Článok poskytuje napätie 1 volt.

**Ako funguje elektrochemický článok?** Elektrochemický článok pozostáva z dvoch kovových elektród, každú z iného kovu, vložených do kvapaliny - elektrolytu, ktorým je napr. zriedená "disociovaná" kyselina sírová. Na oboch elektródach prebieha chemická reakcia medzi kovom a elektrolytom, pri ktorej ióny kovov prechádzajú do elektrolytu (elektróda sa teda chemickou reakciou rozpúšťa) a vytvárajú zlúčeninu (napr. soľ príslušnej kyseliny). Na povrchu každej elektródy vznikne elektrická dvojvrstva (s kladným nábojom atómov kovu v hraničnej vrstve medzi kovom a elektrolytom a záporným nábojom v samotnej elektróde). Na rozhraní medzi elektródou a elektrolytom existuje teda rozdiel elektrických potenciálov. Pokiaľ sú kovové elektródy z rôznych materiálov, záporný náboj na každej z nich je iný, takže elektróda s vyššou hodnotou záporného náboja predstavuje záporný pól elektrochemického článku a elektróda s nižšou hodnotou záporného náboja sa považuje za kladný pól (má vyšší elektrický potenciál). Záporný náboj totiž prechádza z miesta, kde ho je viac, do miesta, kde ho je menej. V stave rovnováhy (keď zdroj nie je pripojený do okruhu) sa tento proces zastaví, avšak po pripojení článku do elektrického okruhu sa naruší a chemická reakcia prebieha ďalej. Na elektródach sa pritom ukladajú produkty elektrolýzy. (El. prúd totiž tečie i vo vnútri článku, nielen vo vonkajšom okruhu.) Usadzovanie produktov chemickej reakcie na povrchu elektród (tzv. elektrolytická polarizácia elektród) následne znižuje svorkové napätie, takže chemický článok v tejto kombinácii nie je trvalým zdrojom konštantného napätia. (V technickej realizácii sa pridávajú do elektrolytu tzv. depolarizátory, ktoré rozpúšťajú produkty chemickej reakcie usadzované na elektródach.)

Princíp elektrochemického článku objavil nečakane taliansky lekár LUIGI GALVANI (1737-1798) v roku 1780. Už aj dovtedy bolo známe, že orgány zvierat, v tomto prípade vypreparované žabie stehienka, sa po priložení zdroja napätia (z trecej elektriny) šklbnú - prebiehajúci elektrický výboj zapríčiní kontrakciu stehenného svalu. Ale ku šklbnutiu dôjde aj vtedy, ak sa nervu dotkneme medeným alebo strieborným drôtom, pričom k drôtu nebol

privedený žiadny náboj! Sval žabieho stehna bol pritom položený na vodivej doske, ktorá bola spojená vodivo s drôtom. Dnes vieme, že efekt nastane vždy, ak sa stehienka dotkne dvoma drôtmi s rôznych kovov. (Galvani taktiež zistil, že ku kontrakcii svalu dôjde aj vtedy, ak v blízkosti stehienok, zavesených na vodivý drôt a uzemnených vodičom ponorenom do studne, prebehne elektrický výboj, či už vytvorený trecou elektrinou alebo bleskom počas búrky. To bolo objasnené až po objave elektromagnetického vlnenia.) Po 11 rokoch vyskumu Galvani usúdil, že objavil nový druh elektriny - živočíšnu elektrinu. Tá podľa jeho názoru vzniká priamo v tkanive svalu a uvoľňuje sa po dotyku drôtu. Galvani sa z tohto dôvodu považuje za zakladateľa elektrofyziológie, ale toto jeho "vysvetlenie" bolo úplne mylné. Dnes vieme, že živé organizmy sú zdrojom malých elektrických impulzov.



Obr. 13. Obrázok z knihy L. Galvaniho Traktát o elektrických silách pri pohybe svalov

Správne objasnenie Galvaniho pokusov experimentálne podal taliansky fyzik ALESSANDRO VOLTA. Žabie stehná sú len nepodstatnou rekvizitou a slúžia len ako citlivý indikátor malého prúdu. Žiadna elektrina však vo svaloch a nervoch nevzniká! Na styku dvoch rôznych kovov vzniká tzv. kontaktný rozdiel potenciálov, ktorý po priložení na stehienko vyvolá prúd a dôjde ku šklbnutiu. Experimentálne určil tzv. *Voltovej rad* kovov:

- Zn, Pb, Sn, Fe, Cu, Ag, Pt, C +

Kov ležiaci vľavo od iného kovu v rade sa nabije záporne. Čím sú kovy v rade od seba ďalej, tým je napätie väčšie. Ak je dvojica kovov položená do elektrolytu (v roku 1793 Volta používal slanou vodu), tečie v sústave trvalý prúd. Volta napätie meral jazykom a posudzoval chuť, ktorá vznikala na povrchu rôznych kovov. Ale trvalo 7 rokov, kým tieto články zapojil do série: zinkové a medené (potom aj strieborné) kotúčiky oddeľoval plst'ou alebo pijavým papierom namočeným do slanej alebo okyslenej vody a postupne ich ukladal do radu za sebou. Tak vznikol slávny **Voltovej stĺp** (pozri obr. 1 na str. 1), ktorý sa stal zdrojom trvalého toku náboja - elektrického prúdu. Dovtedy bola elektrina známa len ako súbor impulzov, napr. iskier. Svoj objav oznámil Volta 20. marca 1800 písomne prezidentovi Kráľovskej spoločnosti v Londýne. Jeho dopis vyšiel v novinách a tak sa dostal medzi vedcov

a inšpiroval ich k ďalším pokusom. Tento rok považujeme za **vznik elektrotechniky**. Postupne sa začali vyvíjať nové a nové články. Sám Volta nedokázal správne vysvetliť fyzikálnu podstatu svojho článku. Myslel si, že ide o zvláštny druh kondenzátora, ktorý sa vodivým spojením nevybíja a stále produkuje elektromotorické napätie. Vysvetlenie podal o 15 rokov neskôr anglický fyzik HUMPHRY DAVY.

Volta mal však aj iné objavy. V roku 1781 skonštruoval merací prístroj na meranie veľkosti náboja (*elektroskop*) a v roku 1783 kondenzátor. Asi najzaujímavejším bolo to, že v jednej svojej štúdiu použil slovo "polovodič" ako nedokonalý vodič. V roku 1778 ako prvý použil pojem "napätie". Jednotkou napätia bola určená v roku 1881 na kongrese elektrotechnikov v Paríži jednotka **volt** na počesť A. Voltu. (Ako však udáva MAYER na str. 62, Volta zrejme nebol prvý, čo objavil galvanický článok...)

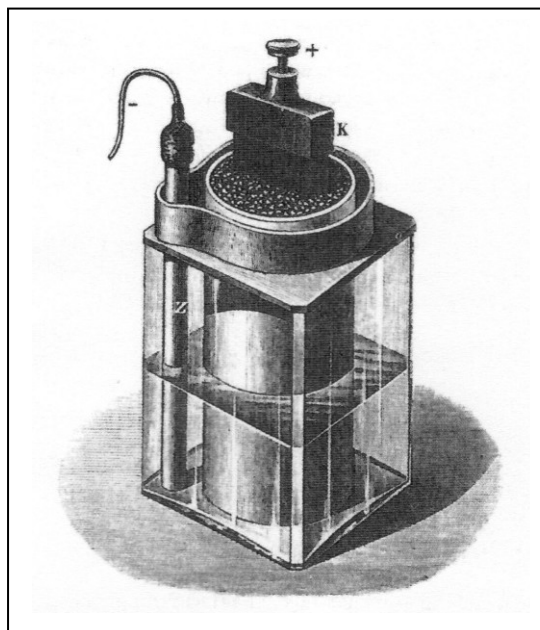
Volta tiež ako prvý zrejme použil pre náboj na kondenzátore vzťah

$$Q = CU$$

Voltov objav nového zdroja elektrického napätia vyvolal ďalší pokrok pri rozvoji elektrotechniky a elektrochémie. Už v roku 1800 bola uskutočnená prvá **elektrolýza**, najskôr vody (roztok kyseliny sírovej, elektródy sú z Pt, ktorá nereaguje s touto kyselinou), potom aj ďalších roztokov. To bolo neskôr základom pre **galvanické pokovovanie** a pre výrobu rôznych chemických prvkov, pretože pri elektrolýze sa na elektródach vylučujú ióny príslušných prvkov z elektrolytu. V roku 1807 HUMPHRY DAVY nechal vybudovať Voltov stĺp s 2000 článkami a elektrolýzou vyrábala rôzne prvky (z roztokov solí týchto prvkov). Pomocou Voltovho stĺpa **rozžeravil drôtik z platiny** a tým naznačil **možnosť výroby svietidla** pomocou elektriny. H. Davy dokonca uskutočnil prvý **elektrický oblúk**.

Voltov stĺp sa stal dôležitým zariadením pre ďalšie skúmanie elektrických a magnetických javov. Používal ho Oersted, Ampère, Ohm, Faraday a mnohí ďalší.

Nevýhodou Voltovho článku je, že pri pripojení do vonkajšieho okruhu svorkové napätie na ňom klesá. V elektrolyte dochádza pri prechode prúdu k elektrolytickej polarizácii elektród, napr. bublinky kationu vodíka, ktoré pokrývajú povrch Cu elektródy. Tým vzniká na elektróde tzv. polarizačné napätie opačného smeru. Z tohto dôvodu boli navrhnuté rôzne spôsoby „depolarizácie“. Tak vznikol **Daniellov článok** (1836) a galvanické články nemeckých bádateľov **Bunsena a Meindingera** (1859). Vysoký stupeň dokonalosti mal článok, ktorý v roku 1866 zostrojil GEORGE LECLANCHÉ. Vo Voltovom článku nechal Zn elektródu, ale ako druhá elektróda bola použitá lisovaná zmes uhoľného prachu s oxidom manganičitým. Ako elektrolyt použil mäkkú salmiakovú pastu. Tak vznikol prvý **suchý galvanický článok**.



Obr. 14. Suchý Leclanchéov článok

Alternatívou k Voltovmu elektrochemickému článku je **akumulátor**. Jeho vývoj bol v porovnaní s Voltovým článkom jednoduchší. V roku 1801 francúzsky učiteľ hudby

NICOLAS GAUTHEROT skúmal elektrolýzu roztoku NaCl pomocou Voltovho článku. Ako elektródy použil Ag a Pt. Zistil, že po odpojení zdroja napätia existuje na krátky čas medzi elektródami napätie. Na jeho pokusy nadviazal nemecký fyzik JOHAN WILHELM RITTER v roku 1803. Ako elektródy použil medené kotúčiky oddelené vložkou z kartónu, navlhčenou v soľnom roztoku. Ak tento systém nabil Voltovým stĺpom, bol schopný krátkodobo dodávať pomerne silný elektrický prúd. **Ritterov stĺp** bol vlastne prvý akumulátor. V roku 1854 vojenský lekár WILHELM JOSPEH SINSEDEN si všimol, že pri elektrolýze s použitím olovených elektród sa kladná Pb elektróda pokryje oxidom olovičitým a mala vyšší záporný potenciál ako záporná Pb elektróda. Po vypnutí vonkajšieho zdroja a vodivom spojení elektród pretekal okruhom prúd opačného smeru až dovtedy, kým sa oxid olovo úplne nerozložil.

Dnešný **olovený akumulátor** má na kladnej elektróde PbO<sub>2</sub>, na zápornej hubovité olovo a elektrolytom je zriedená H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. V roku 1903 vynášiel T. A. EDISON **alkalický akumulátor (niklovo-ocel'ový)**. Katóda je z jemne rozptýleného železa, anódou je hydroxid nikelnatý Ni(OH)<sub>2</sub>, ako elektrolyt je hydroxid draselný KOH s prísadou lítia. Dôvodom pre vývoj tohto akumulátora bola snaha použiť akumulátor na pohon áut (elektromobil). Alkalické akumulátory sa následne rozvíjali, no na pohon elektromobilu nemali dostatočnú účinnosť. O akumulátory nebol spočiatku ani záujem, pretože sa zdalo málo vhodné používať ich namiesto primárnych (Voltových) galvanických článkov a nabíjať nimi akumulátory. Akumulátory začali byť zaujímavé až po vynáleze dynamy. Zavedením striedavého prúdu koncom 19. storočia význam akumulátorov opäť poklesol. Ich význam stúpol až po rozvoji automobilového priemyslu, mikroelektroniky a informačnej techniky.

V roku 1821 bol objavený ďalší zdroj jednosmerného prúdu - **termočlánok** (THOMAS JOHANN SEEBECK – kontaktný Seebeckov jav). Dva kovové drôtičky z dvoch rôznych kovov navzájom spojené dvoma kontaktami sa stanú zdrojom elektromotorického napätia, ak má každý z kontaktov inú teplotu. V roku 1834 JEAN CHARLES ATHANASE PELTIER objavil jav, inverzný k Seebeckovmu (kontaktnému) javu. **Peltierov jav** spočíva v tom, že ak dvoma kovmi spojenými dvoma kontaktami tečie jednosmerný el. prúd, jeden kontakt je studenší a druhý teplejší, ako je teplota okolia.

## Prvé pokusy o teóriu elektromagnetizmu a o jej matematický opis

Pravdepodobne prvým fyzikom, ktorý sa pokúsil o vytvorenie teórie elektromagnetizmu, bol Nemec pôsobiaci v Petrohradskej akadémii FRANZ ULRICH THEODOR AEPINUS. V roku 1759 napísal v latinčine knihu *Tentamen Theoriae Electricitas et Magnetism (Pokus o teóriu elektriny a magnetizmu)*. Po Gilbertovom diele to bol naozaj prvý významný pokus o systematickú vedeckú sumarizáciu poznatkov. V knihe bol napríklad formulovaný **zákon elektrostatickej indukcie** (vznik indukovaného náboja na povrchu vodiča, ležiaceho v blízkosti iného nabitého telesa) a **zákon zachovania elektrického náboja**. Aepinus bol zástancom unitárnej teórie náboja ako nevážiteľnej kvapaliny - elektrického fluida používanej už B. Franklinom. Taktiež používal predstavu magnetického fluida. Bližšiu súvislosť prípadného vzájomného pôsobenia elektrického a magnetického fluida síce nedokázal rozvinúť ani matematicky opísať, ale upozornil na mnohé analógie medzi elektrickými a magnetickými javmi. Usiloval sa nájsť zákon vzájomného pôsobenia medzi časticami elektrického, resp. magnetického fluida podľa vzoru gravitačného zákona I. Newtona. Elektrické a magnetické fluidá však považoval za zásadne odlišné. Okrem vodičov a nevodičov používal aj pojem čiastočne vodivých látok podobne ako S. Gray. Na turmalíne (minerál-drahokam rôznych farebných modifikácií s pomerne zložitým chemickým zložením)

pozoroval a opísal *pyroelektrický jav* - zahriatím vznikajú na rôznych koncoch kryštálu elektrické náboje opačného znamienka.

V roku 1760 DANIEL BERNOULLI objavil zákon kvadratickej interakcie medzi dvoma zelektrizovanými telesami. Používal na merania špeciálny elektrometer, ale podrobnosti neuviedol ani nikdy nepublikoval. Angličan a objaviteľ fotosyntézy chemik, filozof a fyzik JOSEPH PRIESTLEY v roku 1767 vydal knihu *História a súčasný stav náuky o elektrine s originálnymi pokusmi*. Tieto pokusy nadväzovali na pokusy a na podnet B. Franklina (zátky v kovovom valci). Vyslovil hypotézu, že elektrická sila sa rovnako ako gravitačná riadi zákona nepriamej úmernosti druhej mocniny vzdialenosti. Relatívne presné kvantitatívne merania vedúce k matematickému vyjadreniu príslušných zákonov vykonali HENRY CAVENDISH a CHARLES COULOMB. Cavendish sa síce narodil vo Francúzsku, ale pochádzal z bohatej anglickej rodiny a rodinné bohatstvo využil na súkromné bádanie, vykonávané v tichosti. Svoje bádanie nezverejňoval a až neskôr J. C. Maxwell pri riešení úlohy oživiť v roku 1874 Cavendishove laboratóriá (ležiace na okraji Londýna) zo starých záznamov zistil, že Cavendish urobil mnohé objavy, ktoré boli neskôr „znova objavené“. Cavendish teda sám k rozvoju poznania v dôsledku izolácie od okolia fakticky neprispel. Ale po ňom pomenované laboratóriá patria dodnes medzi najprestížnejšie na svete.

Medzi Cavendishove objavy patria:

- 13 rokov pred Coulombom objavil zákon pre silu, ktorou na seba pôsobia dva elektrické náboje. Tento zákon mal tvar  $f \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^{2+\varepsilon}}$ , kde  $\varepsilon$  nie je väčšie ako 1/50.
- 45 rokov pred Ohmom formuloval Ohmov zákon
- Zaviedol pojem kapacity kondenzátora a vplyv prostredia na kapacitu, zmeral vlastné permitivitu rôznych dielektrík
- Vnútri nabitej vodivej gule je elektrické pole nulové
- Tušil o existencii elektromagnetického poľa
- Vykonával astronomické výpočty
- Pomocou torzných váh overil gravitačný zákon, zmeral gravitačnú konštantu a stanovil hmotnosť Zeme a jej priemernú hustotu.

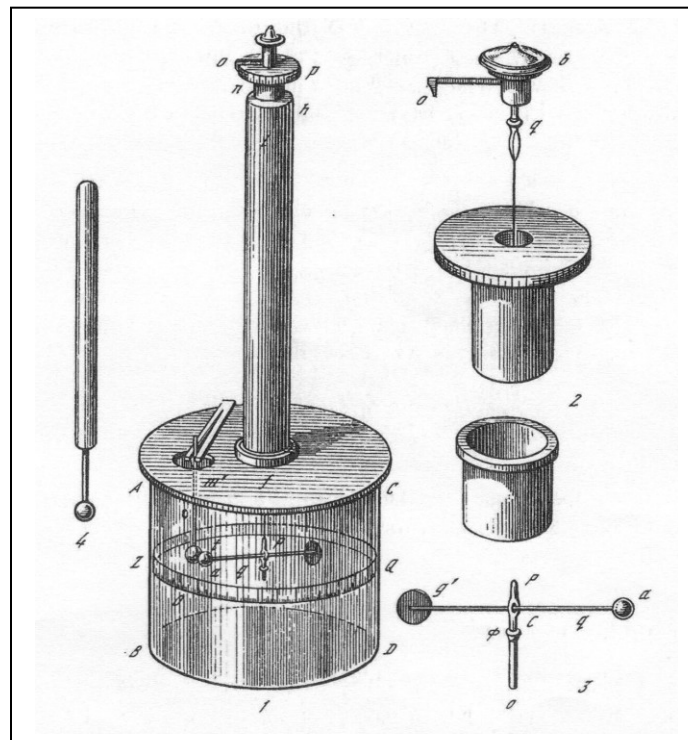
Prvým matematickým vyjadrením fyzikálneho zákona overeného experimentálne je zrejme **Coulombov zákon**. CHARLES AUGUSTIN de COULOMB (1736-1806) bol vojak a vojenský staviteľ vodných diel a pevností. Výskumu sa venoval až v rokoch 1785-89, kedy bol povolaný na univerzitu v Paríži a prijatý do Francúzskej akadémie vied. Venoval sa predovšetkým problémom trenia, torzie vlákien a drôtikov a odporu (pružnosti) materiálu. Skonstruoval **torzné váhy**, v ktorých využil znalosť veľkosti momentu torznej sily vlákna od uhla jeho pootočenia. Skúmal aj rozloženie elektriny (elektrického náboja) na povrchoch vodičov a zistil, že sa náboj rozloží len na povrchu vodiča. Jeho hustota závisí od polomeru zakrivenia povrchu. Ak sa dve vodivé telesá navzájom dotknú, náboj sa na nich rozdelí v rovnakom množstve. Sila vzájomného pôsobenia je vždy kolmá k povrchu vodičov a je priamo závislá od plošnej hustoty náboja na povrchu nabitých vodičov (to je v podstate slávna *Coulombova veta*). Pripomeňme, že tieto Coulombove poznatky vznikli *pred* objavením Voltovho stĺpa.

Coulomb použil na určenie sily medzi dvoma malými nabitými guľôčkami meranie periódy kmitov váhadla torzného kyvadla v torzných váhach; jedna guľôčka bola pripevnená na váhadle a druhá bola vo váhach pevne uložená. Tak zistil, že *odpudivá sila dvoch malých rovnako zelektrizovaných guľôčok je nepriamo úmerná druhej mocnине ich vzájomnej vzdialenosti (vzdialenosti ich stredov):*



$$F \approx \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

kde veličiny v čitateli predstavujú veľkosti nábojov oboch guľôčok. To je slávny **Coulombov zákon**. Neskôr Coulomb zistil aj to, že taký istý vzťah platí aj pre guľôčky, ktoré majú opačný náboj a priťahujú sa. Pritom používal dynamickú metódu kmitov torzného kyvadla, no dnes vieme, že tento zákon platí presne len pre dva nepohybujúce sa náboje. Zákon slúži aj na definovanie elektrického náboja a jeho jednotku (dnes pomenovanú podľa Coulomba). Zákon tiež platí aj pre silové pôsobenie medzi pólmi magnetu - to tiež experimentálne overil Coulomb.



Obr. 15. Torzné váhy, ktoré Coulomb použil na nájdenie Colombovho zákona

Aj keď Coulombov zákon formálne pripomína Newtonov gravitačný zákon (vtedy známy už vyše 100 rokov), ukázalo sa, že elektrostatické pôsobenie nie je obdobou gravitačného, a navyše, sila môže byť aj odpudivá. Neskôr bol Coulombov zákon zovšeobecnený na prípad navzájom sa pohybujúcich nábojov. Ukázalo sa, že Newtonova koncepcia (okamžitého) pôsobenia na diaľku (dobré použiteľná pre výpočet pohybov planét) nie je pre elektrické sily vhodná. V čase Coulombových experimentov sa neprípúšťal akýkoľvek súvis medzi elektrickými a magnetickými javmi.

Spracované podľa:

D. Mayer: Pohledy do minulosti elektrotechniky, nakladateľstvo Kopp České Budějovice, 2004

R. Zajac, J. Šebesta: Historické pramene súčasnej fyziky