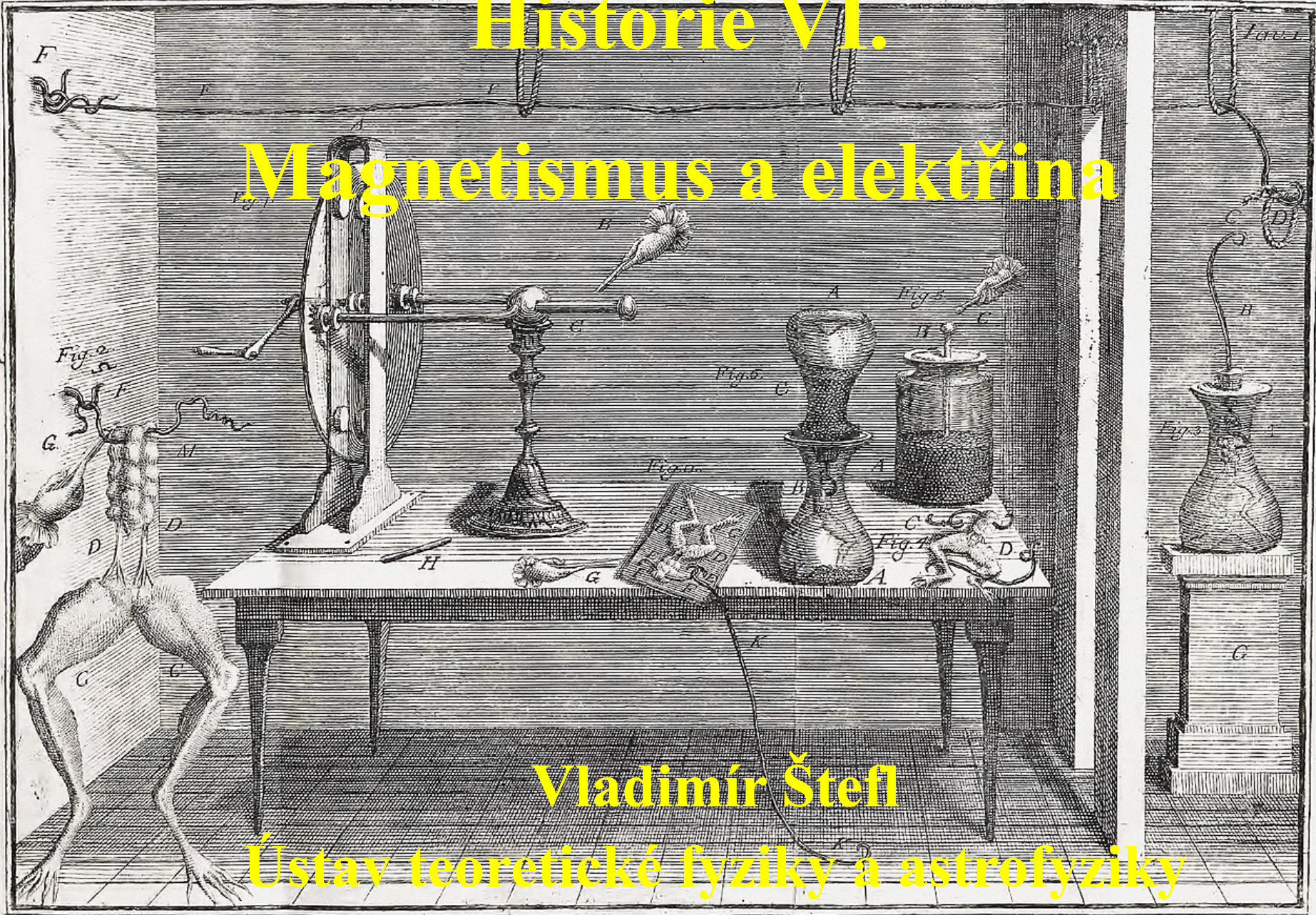


Historie VI.

Magnetismus a elektrina



Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Počátky magnetismu

slovo magnet - z řeckého *magnés*, spojitost se zeměpisným názvem *Magnésia*, oblast v Řecku, naleziště minerálu magnetovec (magnetit),

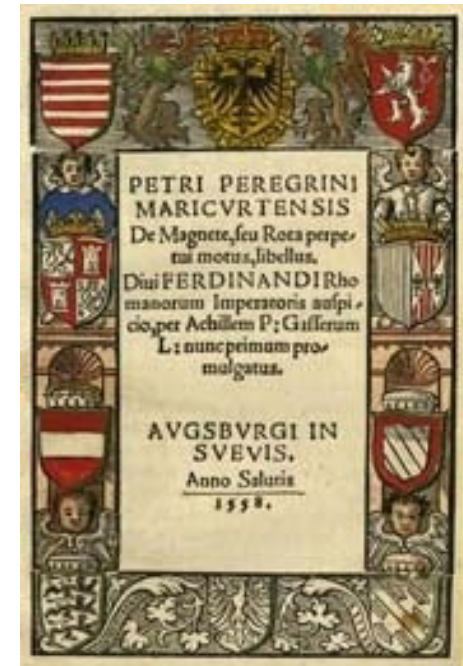
odvěká snaha k objasnění původu a povahy magnetických jevů, zejména v Číně, **kompas**, natáčení magnetů účinkem zemského magnetického pole, zeměpisná orientace, originální konstrukce, nebo realizace - jehla zmagnetovaná magnetitem, spojená s plovoucí slámkou či brčkem



Pierre Pélerin de Maricourt 1240 - 1300

r. 1269 dopis *Epistola Petri Peregrini de Maricourt...de Magnete*,
v **první části** autor popsal vlastnosti magnetu, experimenty k určení jeho polarity, zavedl název severní a jižní pól magnetické střelky, zkoumal přitažlivé a odpuzivé síly mezi nimi, vznik magnetu zmagnetováním železa, vlastnosti magnetických siločar na povrchu, průsečíky - póly magnetu, při rozdělení magnetu vznikají dva plnohodnotné magnety, experimenty s kulovým vybroušeným magnetem, objevil magnetické siločáry na povrchu

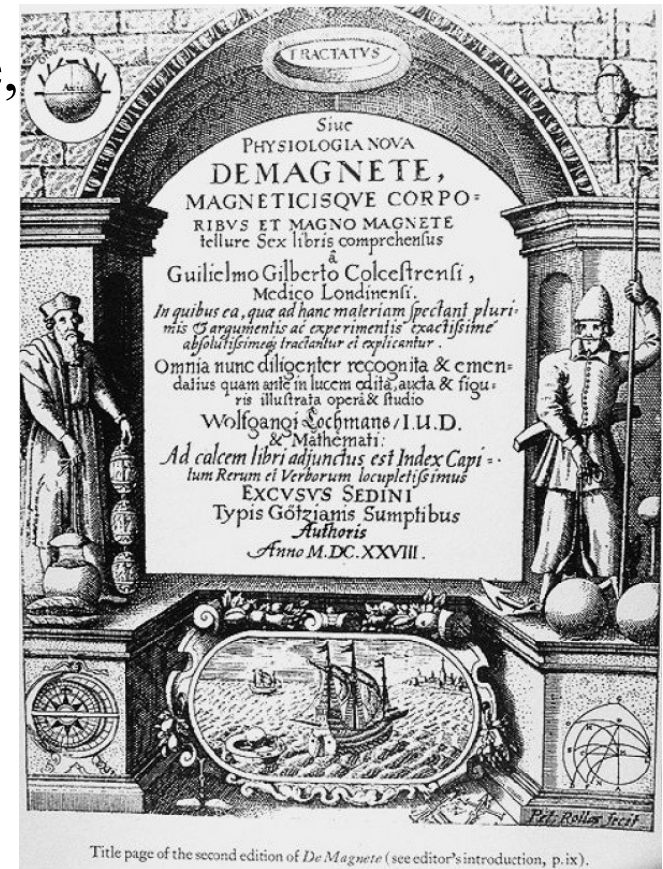
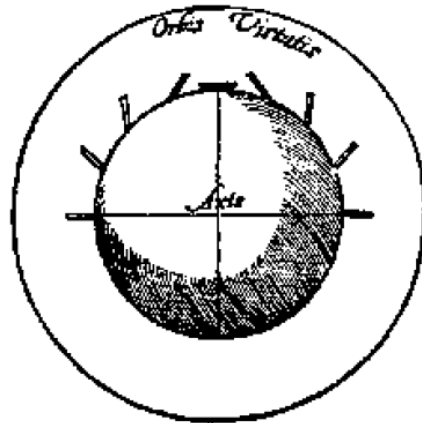
druhá část pojednává o konstrukci buzoly
a různých způsobech otáčivého uchycení střelky
třetí část zachycuje návrhy na konstrukci magnetického perpetua mobile
první experimentální fyzikální práce,
později na něj navázal Gilbert



William Gilbert 1544 - 1603

anglický lékař, královny Alžběty, zájem o fyziku, chemii, spis *Nová fyzika o magnetu, zmagnetovaných tělesech a o velkém magnetu Země ukázaná na mnoha argumentech a experimentech*

prováděl soustavná měření na magnetech kulového „terella“ – zemička, nebo elipsoidovitého tvaru z přírodního magnetovce, studoval magnetickou sílu pomocí zavěšené magnetky, určoval směry magnetického pole při povrchu magnetu a v jeho blízkosti na různých místech, dospěl k závěru, že Země je velký magnet



Title page of the second edition of *De Magnete* (see editor's introduction, p. ix).

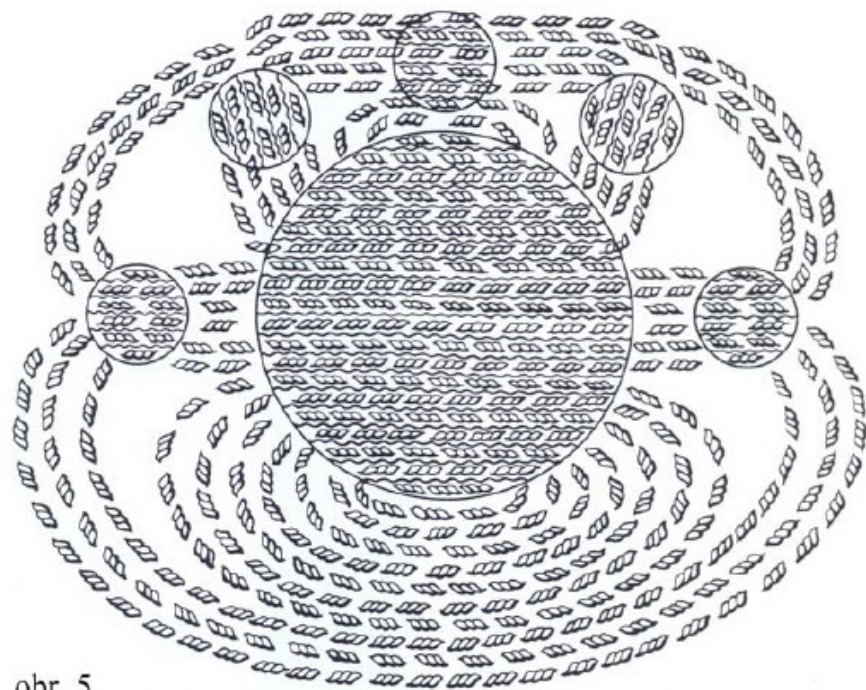
William Gilbert

současně s magnetickými silami se Gilbert zabýval i elektřinou, pojmy elektřina, elektrický zavedl právě on, vedle jantaru zelektrizoval i řadu dalších látek, jako křemen, safír, síru, vyslovil hypotézu zda elektřina a magnetismus spolu nesouvisí, odmítl představu elektrického resp. magnetického fluida, elektroskop (*versorium*)

přínos: zakladatel nauky o magnetizmu, ověřil a uspořádal základní poznatky o magnetických silách, vysvětlil existenci zemského magnetického pole, zmapoval pole magnetického dipólu, magnetické výrony – projevy duše těles, důsledně uplatňoval **experimentem zjištěná fakta a kritický rozum** při jejich hodnocení, přestože příliš nepoužíval matematiku zemský magnetismus spojoval s astronomickými představami, magnetickými silami vysvětloval i interakci mezi nebeskými tělesy, v té době Galileo i Kepler hledali původ působících sil mezi Sluncem a planetami, **Gilbert = Galileo magnetizmu**

René Descartes 1596 - 1650

Spis *Principy filozofie 1644, část Teorie magnetismu*, příkladné použití deduktivní metody, původ magnetismu magnetovce a Země je společný, **primární je zemský magnetismu**, nositelem jsou nevažitelné částičky, jemné „závitky“, proudící neustále nitrem Země od pólu k pólu, kde Zemi opouštějí a vracejí se vzduchem zpět, jsou dvojího druhu, pravotočivé a levotočivé, což odpovídá dvěma různým směrům pohybu, uvnitř Země jedním nebo druhým směrem probíhá kanálky, magnetovec, původně uvnitř Země, si tuto vlastnost zachoval, železo, produkt z magnetitu, železné rudy, má kanálky porušené, prudkými nárazy částiček dochází k restituování



obr. 5

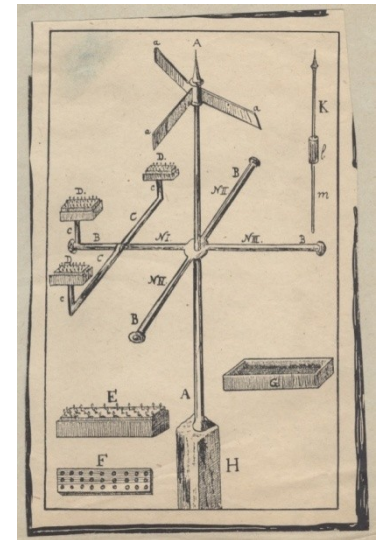
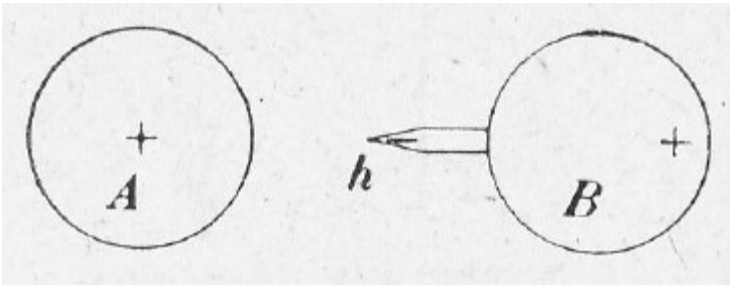
Descartův model zemského magnetismu.

Výzkumy elektřiny

Prokop Diviš (Václav Divíšek) 1698 - 1765

farář, zkoumal elektrické jevy, účinky slabých elektrických výbojů na tělesa, elektroléčba, sestrojil r. 1754 v Příměticích povětrnostní mašinu - obr. postavil o šest let dříve než B. Franklin uzemněný bleskosvod, shrnutí souboru poznatků včetně přesvědčení o elektrické povaze blesku - elektrické jiskře ve spisu *Magia naturalis čili Traktát theoretický o atmosférické elektřině 1765*, největší hustota náboje na místech s největším zakřivením - na hrotech

hrot saje elektrický náboj



Prokop Diviš

hromosvod, tyč - bidlo 15 m, 12 krabiček - 400 hrotů, ukotvení třemi řetězy, působnost zařízení, které mělo odsávat atmosférickou elektřinu, popsal slovy: *„Sotva přístroj postaven, udeřil nad ním silný blesk se silným praskotem; mračna se roztrhla a zrovna nad tyčí bylo viděti světlé místo ve mracích ...“*

znám ve světě, r. 1750 předváděl pokusy ve Vídni před Marií Terézií, dopisování s Eulerem, r. 1756 soutěž petrohradské Akademie věd—
„hledání skutečné příčiny elektrické síly a sestavení její úplné teorie“
Euler: *„přemlouval jsem také pátera Diviše z Moravy, který proslul svými pokusy s hromem, k tomu, aby imperátorské akademii poslal o této látce pojednání...“*

nezávisle na Divišovi **Benjamin Franklin 1706-1790**, vysvětlení kladné a záporné elektřiny - přebytek nebo nedostatek jemné substance - fluida, jehož množství je konstantní, zákon zachování elektrického náboje

Počátky elektřiny

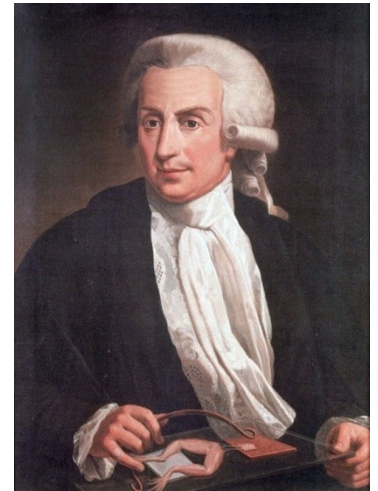
první etapa výzkumů jevů elektrických a magnetických v novověku spadala do 18. století.

italský profesor medicíny **Luigi Galvani 1773 - 1798**, fyziologie a medicína, preparování žáby, zjistil zkracování svalů při přiblížení kovových předmětů - teorie „*živé - živočišné*“ *elektřiny* - viz úvodní obr.

Komentář o elektrických silách při pohybu svalů

pokusy, velký zájem, opakovány, italský fyzik

Alessandro Giuseppe Volta 1745 - 1827, hlubší pohled, fyzikální stránka jevu - zkracování svalů žáby závisí na používaných kovech při preparaci, zdrojem elektřiny není žába, vzniká při styku dvou různých kovů oddělených elektrolytem, sval žáby je pouze registračním přístrojem, el. článek



Počátky elektřiny

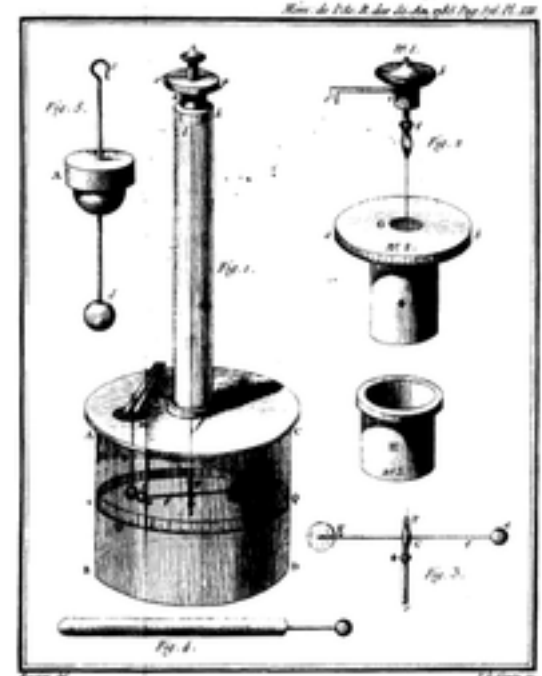
Volta sestrojil jednoduchý **Voltův článek - galvanický článek**, několik desítek na sebe daných kovových (stříbro, cín, měď, olovo) plíšků, mezi nimi papír napuštěný vodou - elektrolyt - tzv. vodič druhého druhu



Charles Augustin Coulomb 1736 - 1806

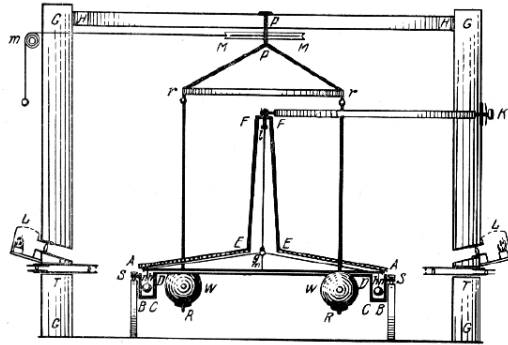
první francouzský experimentální fyzik, inženýr, od r. 1781 se věnoval fyzikálním problémům, torze, kroucení vláken, konstrukce torzních vah, citlivého přístroje, pomocí kterého dospěl ke svému zákonu, zkoumal závislost elektrostatické síly na vzdálenosti respektive velikosti nábojů odvodil vzorec pro intenzitu elektrického pole u povrchu vodičů, náboje se rozloží pouze na vnějším povrchu dutých vodičů...stínění elektrického pole tzv. Faradayova klec

$$F_{el} = k_e \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2}$$

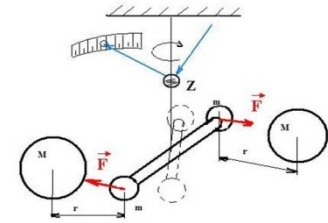


Počátky elektřiny

podobně postupoval **Henry Cavendish 1731 - 1810** určení gravitační konstanty G 1798, Coulombův zákon



Torzní váhy



William Hyde Wollaston 1766 - 1828

se zamýšlel nad souvislostí mezi elektřinou (statickou) a galvanizmem (jevy vyvolanými elektrickým proudem). přestože podstata elektrického proudu nebyla vyjasněna. Wollaston referoval že galvanické a elektrické jevy mají stejnou podstatu.

Elektrostatické výboje dávají vysoké napětí, malý proud, galvanické články malé napětí a velkou proud (vyjádřeno dnešními slovy). Sjednotil elektrické a galvanické působení, zkoumal elektrochemické jevy, krystaly, polarizované světlo

Magnetické působení elektrického proudu

objev dánského fyzika **Hanse Christiana Oersteda 1777 - 1851**
působení elektrického proudu na magnetickou strelku **1819**,

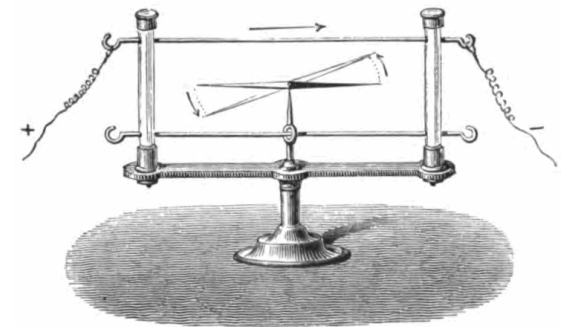
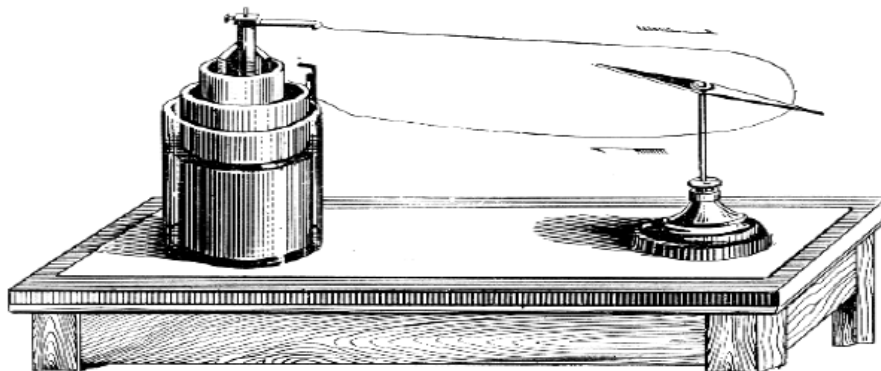
Oersted zjistil, že při umístění vedle magnetické strelky přímočarého vodiče, jehož směr je shodný se směrem magnetického poledníku, při průchodu proudu vodičem se magnetická strelka vychýlí,

jednotka intenzity magnetického pole – oersted

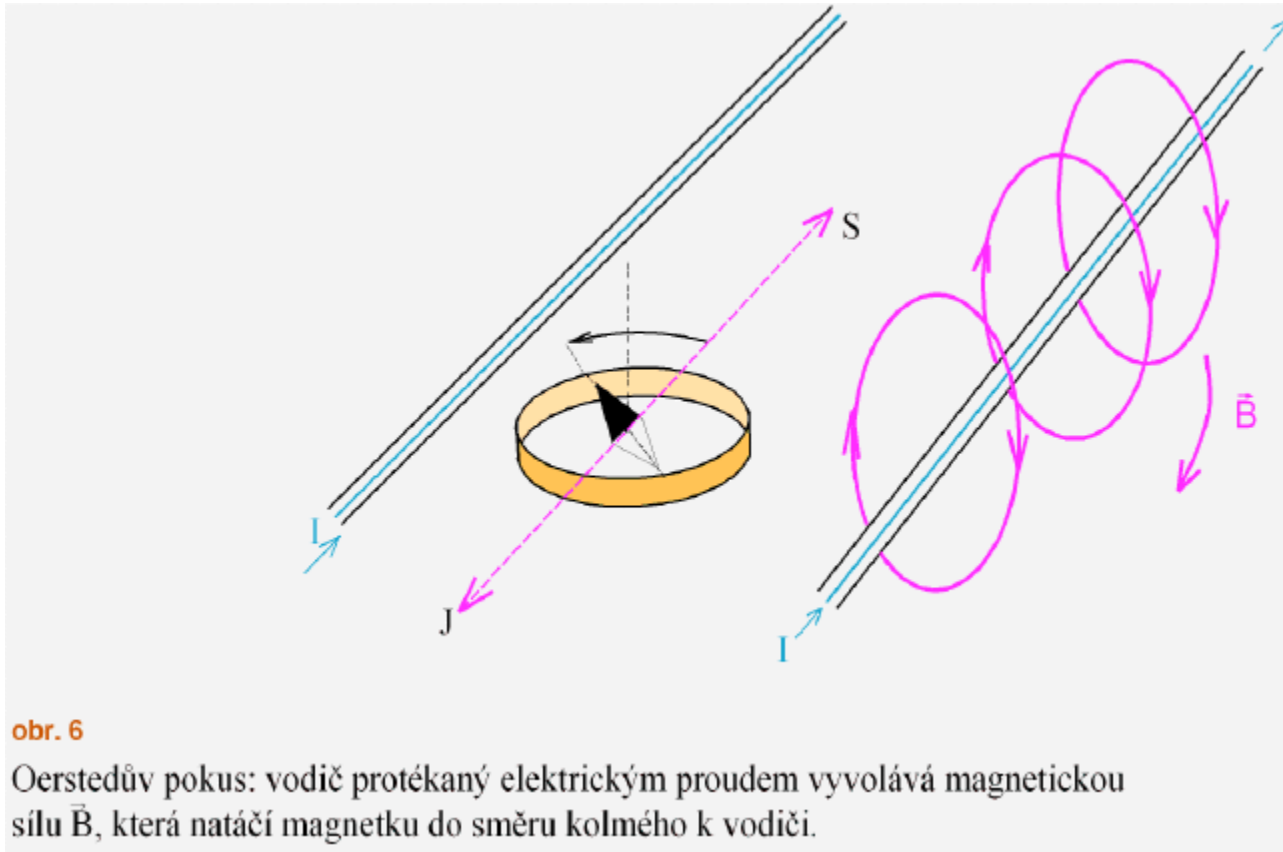
Pokusy o vlivu působení elektřiny na magnetickou strelku 1821:

„Galvanická elektřina, která prochází od severu k jihu nad volně zavěšenou magnetkou, ji odchyluje severním koncem na východ.

Prochází-li elektřina tímž směrem pod magnetkou, odchyluje ji na západ.“ přítel Hanse Christiana Andersena 1805 - 1875



Magnetické působení elektrického proudu

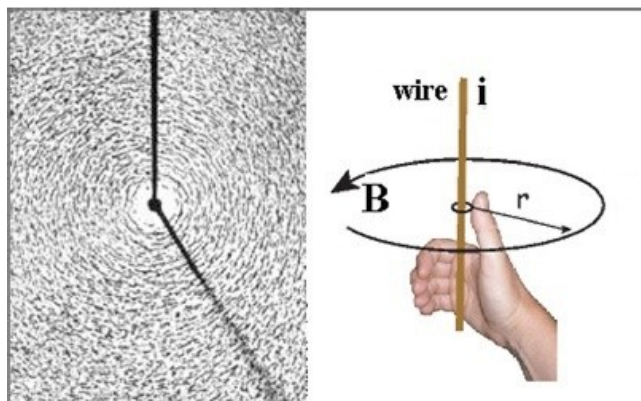


- existence souvislosti mezi magnetismem a elektřinou
- elektrický proud může být zdrojem magnetického působení

Magnetické působení elektrického proudu

objev Oersteda vyvolal velký zájem, impuls pro nové výzkumy

Dominique Francois Arago 1786-1853 ukázal působení vodiče, kterým proud na železné předměty, jsou zmagnetovány
magnetické působení elektrického proudu - konstrukce přístrojů k měření proudu a napětí, mechanické silové účinky mezi magnety a proudy nebo proudovým smyčkami – tvorba elektromotorů a generátorů



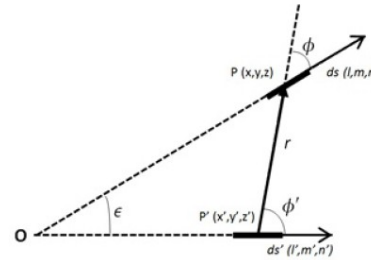
r. 1824 sestrojil citlivou buzolu pro měření vzdálenosti mezi geografickým a magnetickým pólem Země

společně s **Felixem Savartem 1791-1841** zformuloval zákon pro intenzitu magnetického pole uprostřed kruhové cívky

André Ampér 1775 - 1836

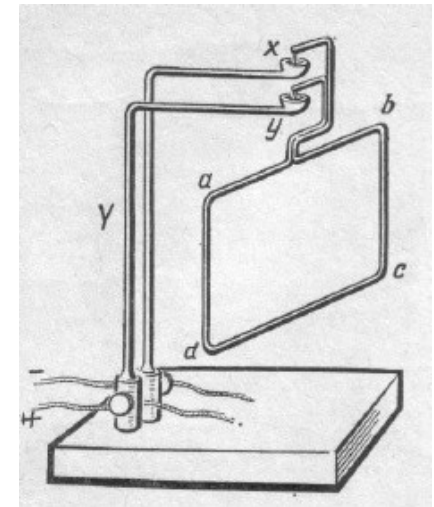
univerzální francouzský vědec, zabýval se matematikou, fyzikou, chemií, geologií, filozofií... Po roce 1820 magnetické účinky elektrického proudu, vzájemné silové působení vodičů protékaných proudem, Ampérův zákon, další experimenty

$$F_m = 2k_A \frac{I_1 I_2}{r}$$



Teorie elektromagnetických jevů odvozená výlučně z pokusů 1826

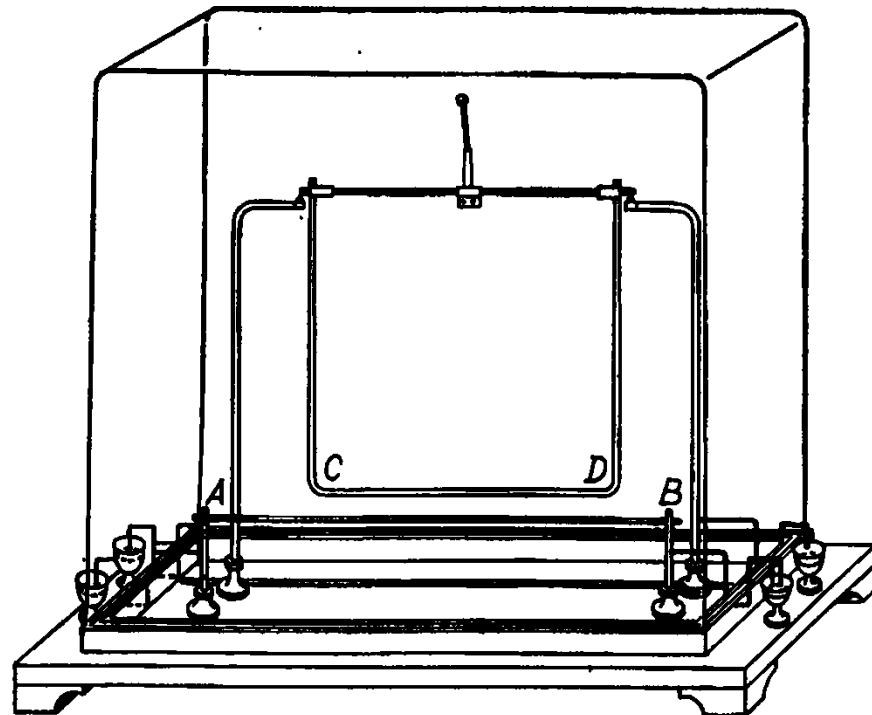
definoval pojem elektrického proudu a jeho směr jako směr pohybu kladného elektrického náboje, obecné pravidlo pro směr vychýlení magnetky působením proudu, vynalezl **cívku solenoid**, elektromagnetický měřicí přístroj - **galvanometr**, vybudoval budovu **elektrodynamiky**,



jednotka elektrického proudu - ampér

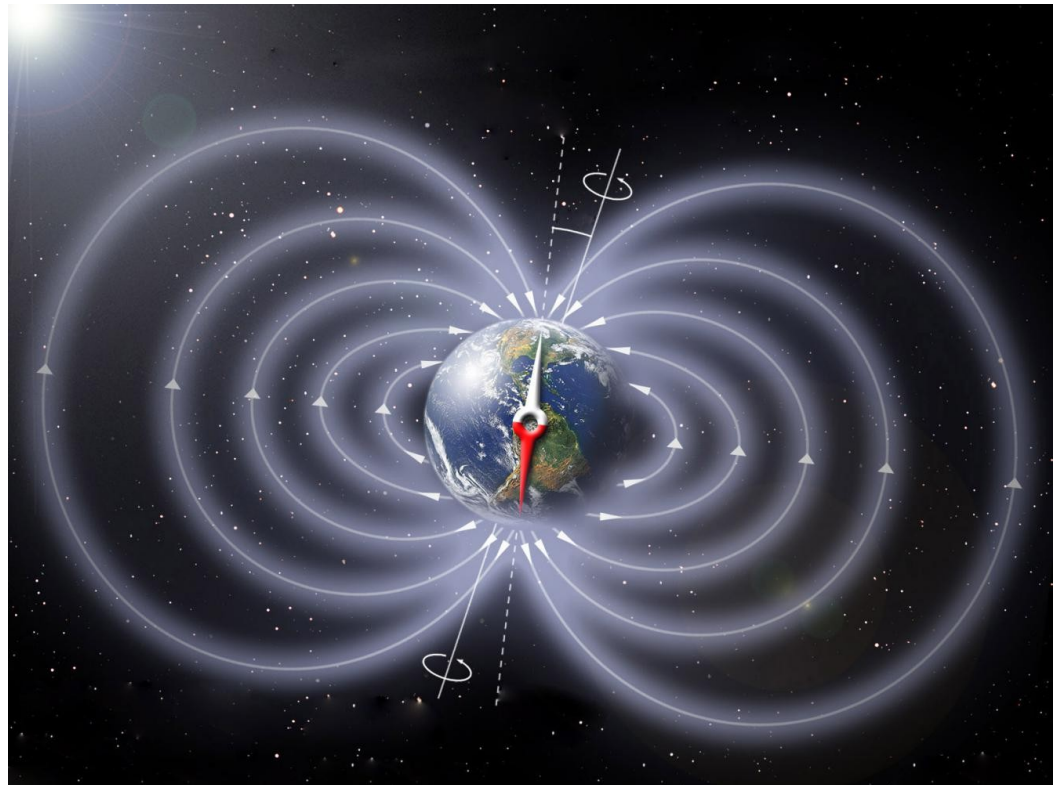
André Ampér

„Oba vodiče jsou rozloženy vzájemně rovnoběžně, jeden vedle druhého v jedné horizontální rovině. Jeden z nich může uskutečňovat kmity kolem horizontální přímky, procházející přes konce ocelových ostří a v tomto svém pohybu zůstává rovnoběžný k nepohyblivému vodiči. Nad středem skleněné osy je umístěna protiváha, která zvětšuje pohyblivost kmitající části přístroje, zvyšující její těžiště.“ ... „A a B jsou konce nehybného vodiče...“



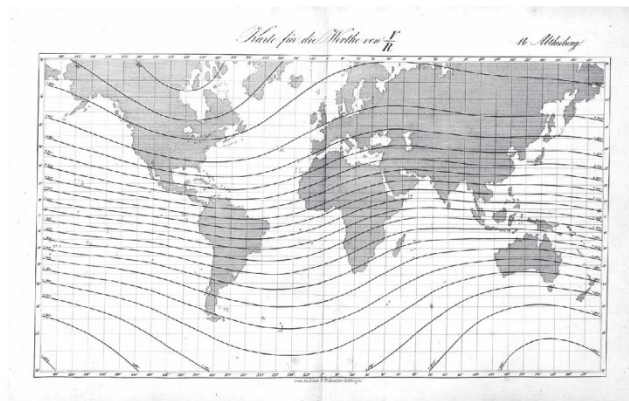
André Ampér

zkoumal podstatu magnetismu, magnetickými účinky vyložil existenci uzavřených proudových smyček protékajících v látkách v nitru Země, uprostřed Země protékají magnetické proudy, navenek magnetismus planet Merkuru atd...



Carl Friedrich Gauss 1777 - 1855

německý matematik, fyzik, astronom, prvních 20 roků po vystudování univerzity se věnoval astronomii, vypočítal dráhu Ceres ze tří pozorování, observačně znovunalezená, *Teorie pohybu nebeských těles pohybujících se kolem Slunce po kuželosečkách* 1809
později zkoumal magnetismu, vybudoval magnetickou observatoř, měřil zemský magnetismus v různých částech světa, sestrojil magnetometr, vytvořil metodu měření horizontální intenzity magnetického pole, společně s Weberem sestrojili **elektromagnetický telegraf** 1831
články *Intenzita magnetické síle Země redukováná absolutním měřením* 1832, *Obecná teorie zemského magnetismu* 1838, *Atlas zemského magnetismu* 1840 – **jednotka magnetické indukce - gauss**



Jean Baptiste Biot 1774 - 1862

Félix Savart 1791 - 1841

stanovili zákon působení přímočarého vodiče s proudem jím procházejícím na magnetickou střílku, výsledky zobecnili do vztahu **Biotův-Savartův zákon**

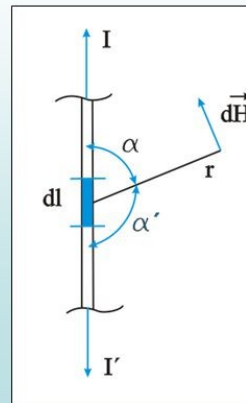


Zákon oběhového magnetického napětí

$$F_m = \oint H dl = \sum I$$

lze užít tehdy, je-li znám průběh pole (tvar siločar)

Biot-Savartův zákon



$$dH = \frac{I \cdot dl}{4\pi \cdot r^2} \sin \alpha \quad \left[\frac{A}{m}; A, m, -, m \right]$$

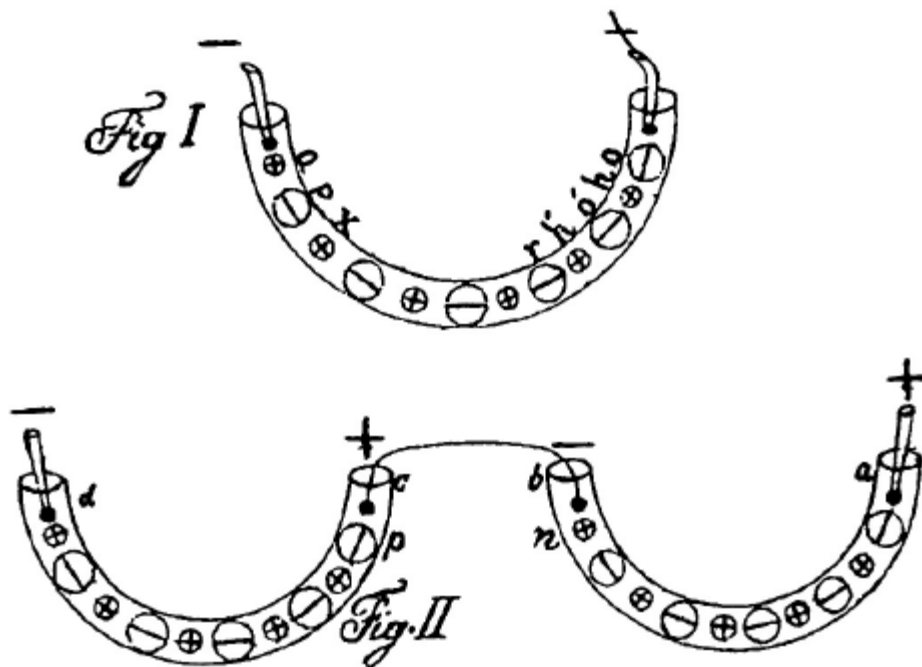
α - úhel orientovaný směrem průtoku proudu

Bod A nesmí ležet na proudovém vlákně (vodiči).

Směr \vec{dH} je určen kolmicí na rovinu, danou elementem vodiče a referenčním bodem A.

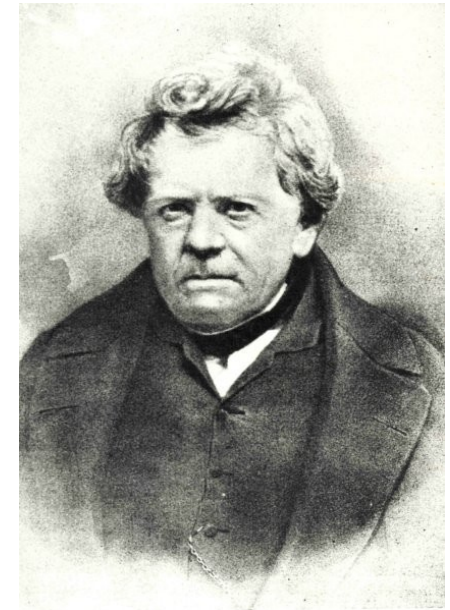
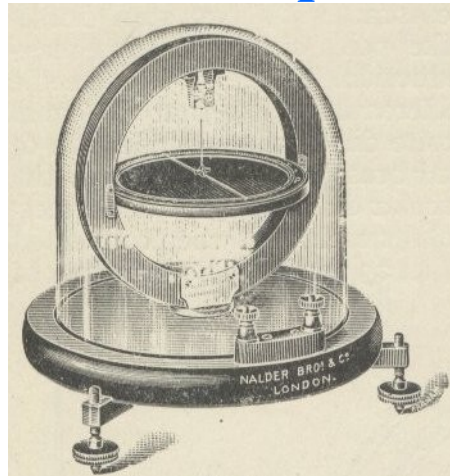
Theodor von Grothuss 1789 - 1822

německý přírodovědec, chemik, fyzik, studium v Lipsku, Paříži, člen Bavorské akademie věd, elektrolytické děje, první výklad elektrolýzy, mechanismus Grothusse - přenos protonů v prostředí s vodíkovou vazbou, objasnění anomálie vodivosti vody, fotochemie, článek *Teorie rozkladu kapalin elektrickými prostředky 1806* objasnil anomální elektrovodivost vody, schéma pohybu částic elektrolytem...



Georg Simon Ohm 1789 - 1854

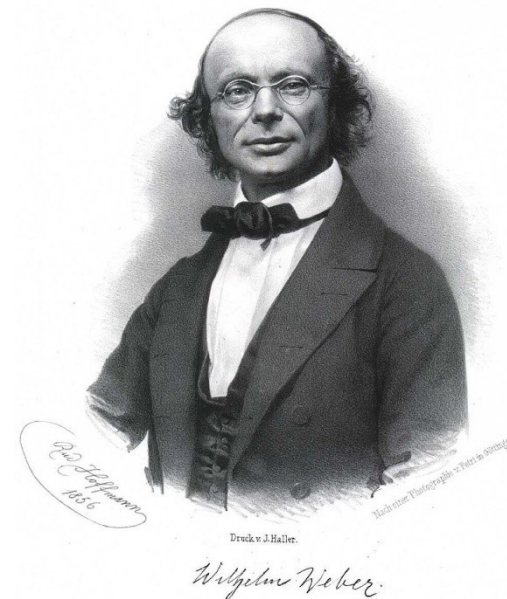
německý matematik, prováděl pokusy s měřením proudu, prokázal, že velikost proudu je stejná podél celého obvodu a proud protéká v celém průřezu vodiče, definoval odpor vodiče jako fyzikální veličinu (nyní ji měříme v *ohmech*), používal galvanometr, zavedl nové veličiny v souvislosti s galvanickým článkem v obvodu – elektromotorické napětí, vnitřní odpor článku, stanovil velikost elektrického závisící na délce vodiče, jeho průřezu a počtu galvanických článků v obvodu, pozdější zpřesnění závěrů pokusů Ohma vedlo k formulaci **Ohmova zákona 1826**
jednotka elektrického odporu - ohm



Wilhelm Eduard Weber 1804 - 1891

německý fyzik, pocházel z Wittenbergu, působil v Halle, Gottingenu, Lipsku, našel vztah pro sílu působící mezi dvěma pohybujícími se elektrickými náboji, pokoušel se spojit Coulombův a Ampérův zákon (rozměrová analýza), vytvořil teorii elementárních magnetických dipólů, upřesnění představ o elektrickém proudu, jeho závislosti na hustotě a rychlosti uspořádaného pohybu nábojů ve vodiči, zastával názor okamžitého šíření elektromagnetických sil na dálku, bez prostředníka, vyjádřil velikost náboje kondenzátoru v elektrické a magnetické soustavě jednotek, kde vystupuje konstanta rovná rychlosti světla, myšlenka souvislosti šíření světla s elektromagnetickými jevy,

jednotka magnetického toku - weber

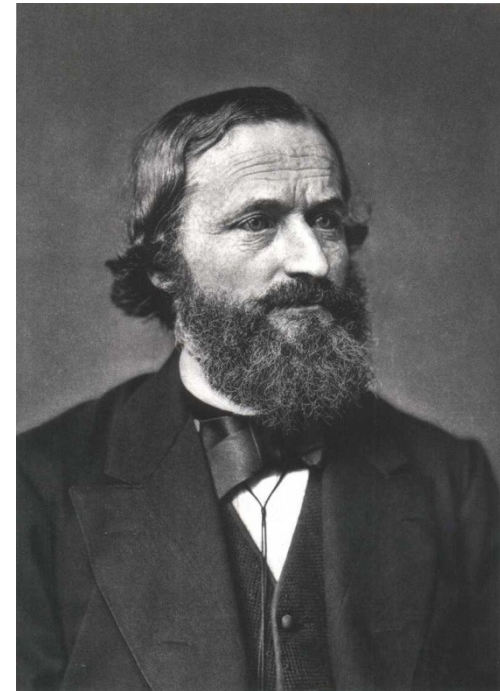


Gustav Robert Kirchhoff 1824 - 1887

německý fyzik, prováděl pokusy s elektrickými obvody, zkoumal vztahy mezi proudy v uzlech elektrické sítě a napětím podél proudových smyček, *Kirchhoffovy zákony*

I. zákon - v každém uzlu elektrické sítě je součet proudů vstupujících do uzlu roven součtu proudů vystupujících z uzlu

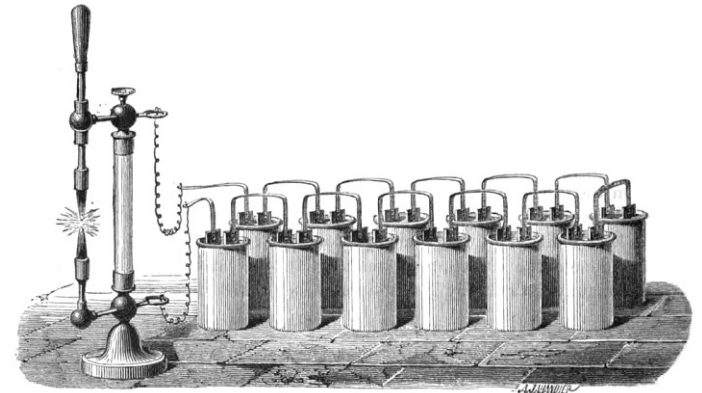
II. zákon - součet úbytků napětí podél uzavřené proudové smyčky musí být roven nule



Humpry Davy 1778 - 1829

anglický fyzik, chemik, průkopník elektrochemie, r. 1809 objevil princip elektrické obloukové lampy - k pólům galvanické baterie připojil dvě uhlíkové tyčinky, přeskočila jiskra, začal protékat elektrický proud, teplota mezi uhlíky narůstala, vytvořil se jasný světelný oblouk, technické problémy-uhlíky uhořívaly, při zvětšení vzdálenosti uhasly...

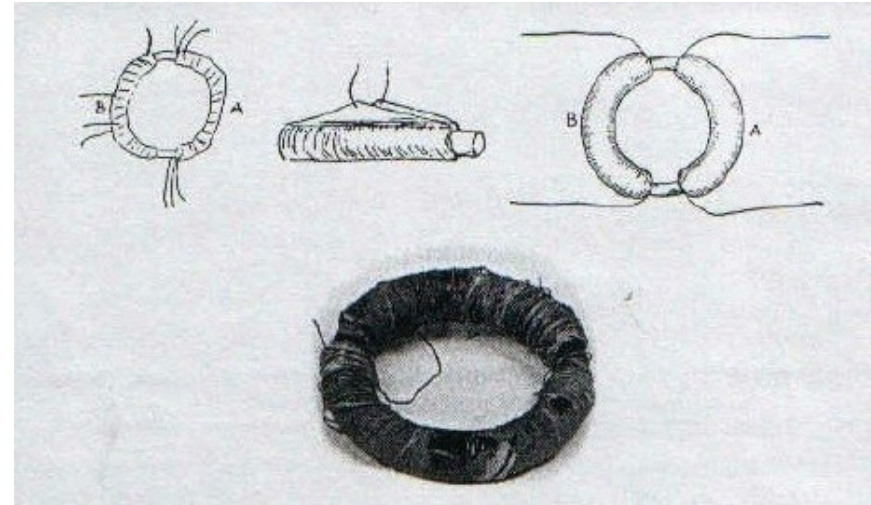
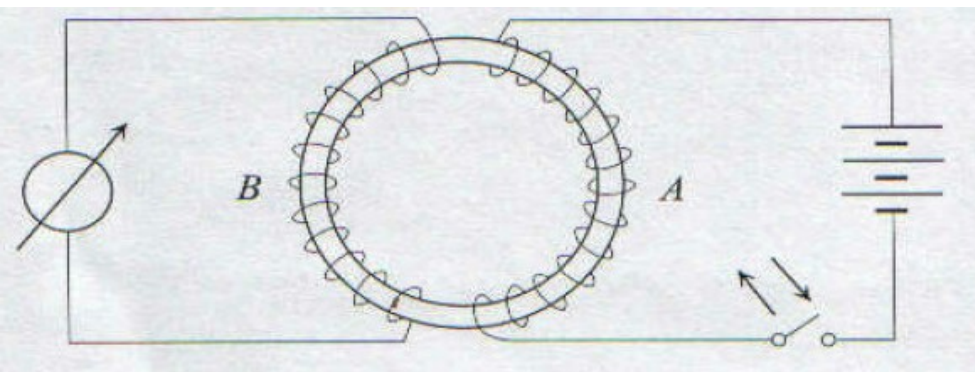
zdokonalení obloukové lampy
spojujeme se jmény francouzských
fyziků **Bernard Léon Foucault 1819-1868**
Jules Duboscq 1817-1886



jednu tyčinku upevnili, druhá se k ní přibližovala pomocí mechanického hodinového strojku, tím regulovali vzdálenost uhlíků
obloukové lampy byly zdrojem intenzivního bílého světla, promítací přístroje, maják...
u nás **František Křižík 1847-1941**, lampa k osvětlení ulic...

Michael Faraday 1791 - 1867

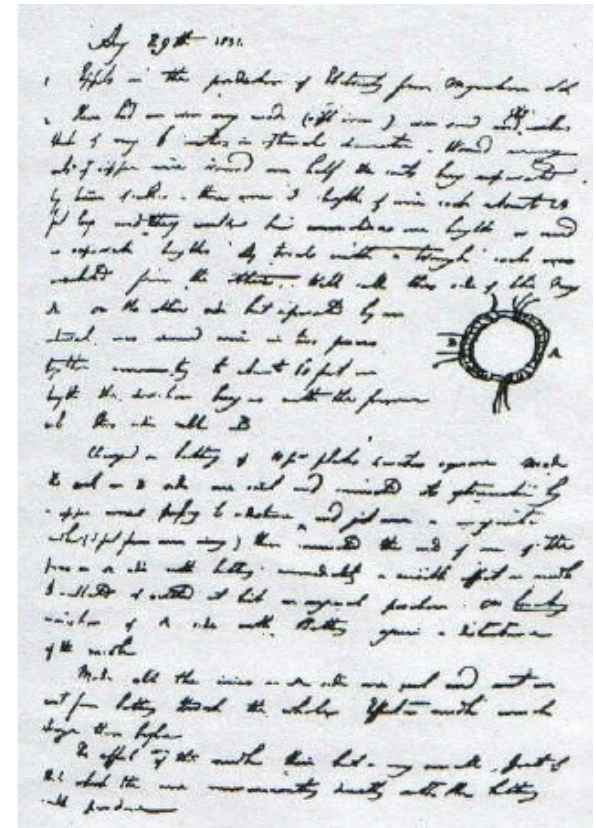
anglický samouk, neměl vyšší matematické vzdělání, asistent **H. Davyho** 1778-1829, po Oerstedových objevech přešel na výzkumy v oblasti elektřiny a magnetismu, cílem bylo **přeměnit, obrátit magnetismus v elektřinu, klíčový experiment elektromagnetické indukce 1831** - dvě cívky navinuté na společném jádře ve tvaru válce, jednu z cívek připojil ke zdroji napětí, které střídavě přerušoval, pohyb magnetiky indikoval že v druhé cívce vznikaly střídavé impulsy elektrického proudu, později vsunoval tyčový magnet do cívky z měděného drátu, **Lenzovo pravidlo** - indukované napětí a proud působí vždy proti změně, kterou byly vyvolány



č. 7 a-b: Uspořádání a schema Faradayova pokusu z 29. srpna 1831

Michael Faraday

„Dal udělat (píše o sobě v třetí osobě) železný kruh sedm osmin palce tlustý o vnějším průměru šest palců. Navinul měděný drát A mnohokrát kolem jedné poloviny prstence; na druhou stranu navinul asi 60 stop dalšího drátu B. Spojil konce drátu B měděným drátem, který vedl nad magnetkou. Oba konce drátu A spojil s baterií: objevil se zřetelný účinek na magnetku – oscillovala a vrátila se do původní polohy. Po přerušení spojení s baterií se opět projevil účinek na magnetku.“

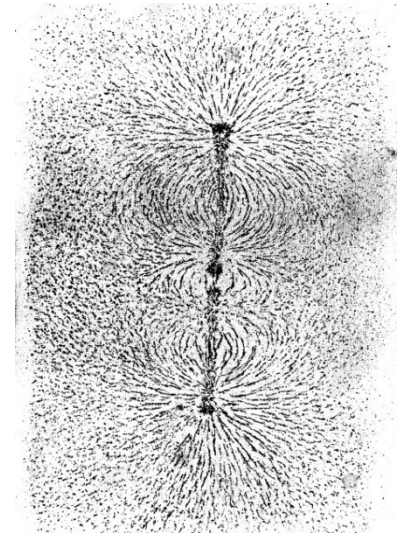
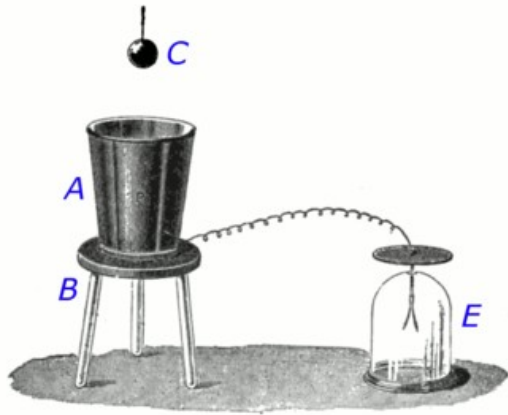


Obr. 5: Záznam ve Faradayově deníku z 29. srpna 1831 181

Tímto experimentem Faraday zároveň objevil princip transformátoru. **elektromagnetickou indukci** nazval **volta-elektrickou indukci**, neboť se domníval, že jde o vytvoření galvanické elektřiny (elektrického proudu) z voltaické elektřiny (baterie).

Michael Faraday

spisy - Experimentální výzkumy o elektřině - vycházely dvě desetiletí, výsledky experimentů, bez matematických vzorců, *princip interakce na krátké vzdálenosti*, stav elektricky nabuzený - *elektrotonický stav*, pozorován ve vodiči pouze v případě změn, vodič se přibližuje či vzdaluje od magnetu, elektrotonický stav se zesiluje nebo zeslabuje, *zákony elektrolýzy 1833*, představa o *interakci předávané spojitě od jedné elektrody k druhé přes každou částici...*



Michael Faraday

O fyzikální povaze magnetických siločar 1852

úvahy zda siločáry jsou hmotné objekty, s čím souvisí stav prostoru zaplněný polem: „*Bude-li vysvětlení nutně vyžadovat hmotu, záleží na tom, co pod pojmem hmota rozumíme. Omezíme-li se na vážitelné a gravitující substance, hmota není pro fyzikální magnetické siločáry o nic víc podstatná než pro světelné paprsky nebo teplo*“

hypotéza o elektromagnetické podstatě světla - vlnění, „*kloním se k názoru, že..., vibrační teorii lze aplikovat na všechny jevy, jako je tomu v případě zvuku a snad i světla. Podle analogie soudím, že bude možno aplikovat tuto teorii také na jevy elektrické indukce.*“

Elektrické a magnetické pole se mohou šířit v podobě příčných vln, nikoliv podélných jako zvuk

Faraday - geometricko-fyzikální model k výkladu elmag. jevů, s pojmy „*siločáry a silové trubice*“, postuloval princip „*působení na blízko*“ – elektrické a magnetické objekty působí jen ve své bezprostřední blízkosti, působení se přenáší od místa k místu elmag. polem

Michael Faraday

nové vysvětlování elektrických a magnetických jevů, **zavedení pojmu pole**, chápané jako prostor, ve kterém se projevují silové účinky elektrických nábojů a magnetů, jednalo se o fyzikální realitu, kontinuální stav těsně spojený se všemi ostatními tělesy, Faraday uvedl: *„Při tomto pohledu na magnet je prostředí nebo prostor kolem něho tak podstatné jako magnet sám, neboť je součástí skutečného a úplného magnetického systému.“*

Prostor kolem elektrického náboje a magnetu si představoval prostoupený elektrickými a magnetickými siločarami, nejprve jako pomocný pojem a teprve od r. 1852 jim přisuzoval fyzikální realitu. V jeho struktuře to byly silové trubice, které mají tendenci se rozšiřovat bočním směrem, zkracovat v podélném směru. Inspirací k zavedení pojmu siločar byly známé pokusy s pilinovými obrazci, znázorňující magnetické pole proudovodičů a magnetů. Zavrhl newtonovskou koncepci *„působení na dálku“* („actio in distans“), tedy představu, že k silovému působení proudů, nábojů, magnetů dochází okamžitě.

Michael Faraday

K čemu je dobrá elektromagnetická indukce?

verze mu otázku „K čemu je to dobré?“ položil britský ministerský předseda Robert Peel při návštěvě jeho laboratoře. Faraday mu prý odpověděl: „Nevím, sire, ale soudím, že to vaše vláda jednou zdaní.“

Později J. C. Maxwell napsal:

Faradayovy „Experimental Researches in Electricity“ ... Čím více jsem Faradayovy práce studoval, tím více jsem zjišťoval, že i jeho způsob přístupu k elektrickým jevům a jejich popisu byl vlastně matematický, i když nebyl vyjádřen běžnou řečí matematických symbolů.“ Maxwell ve svých prvních pracích, např. v pojednání „O Faradayových siločarách“ z r. 1855 – 1856, také vycházel z analogií s ustáleným tokem tepla a označil to za modifikaci Thomsonových analogií.

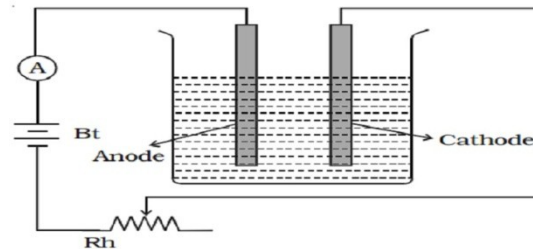
Faraday - zakladatel elektrochemie

Výzkumy o elektrolýze, v letech 1833-34 objevil dva kvantitativní vztahy, nazývané nyní **první a druhý Faradayův zákon elektrolýzy**, **první zákon Faraday** formuloval: „*Chemické působení elektrického proudu je přímo úměrné absolutnímu množství prošlé elektřiny.*“

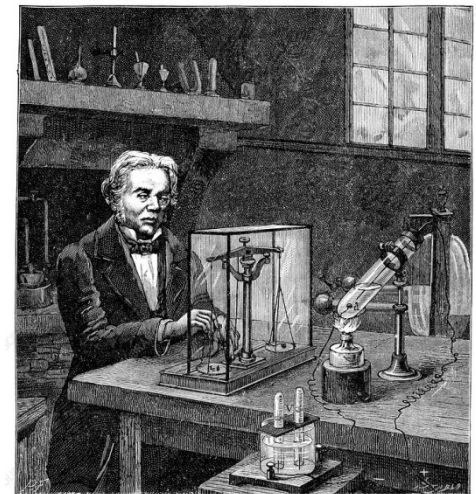
Soudobá formulace: „*Množství látky vyloučené na kterékoliv elektrodě je přímo úměrné elektrickému náboji, který prošel elektrolytem.*“

druhý zákon Faraday vyslovil: „*Jestliže dvěma různými elektrolyty projde týž elektrický náboj, potom je poměr množství látek vyloučených na příslušných elektrodách roven poměru chemických ekvivalentů*“

Faradayovy zákony jsou výsledkem obsáhlého experimentálního výzkumu, platí velmi přesně, pro různé velikosti proudů.



Verification of Faraday's first law

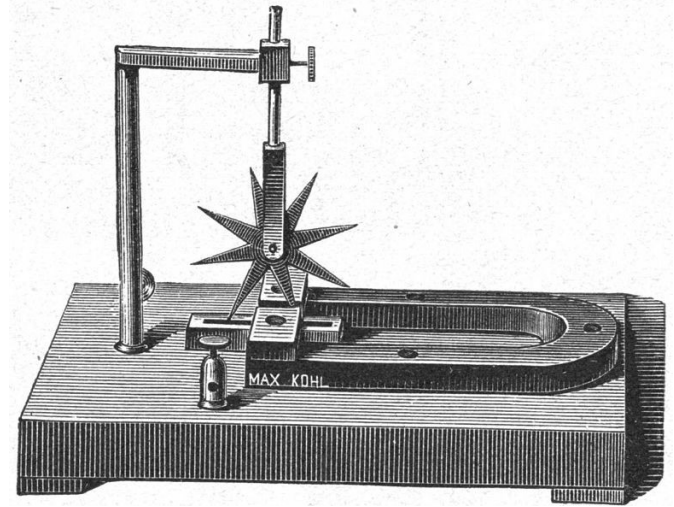


Michael Faraday - význam

Farady se řídil ideou jednoty přírody, všeobecného spojení věcí a jevů, takto byl předchůdcem objevu zákona zachování energie. Naznačil, že elektrický proud může mít účinky ponderomotorické (pohybové), tedy způsobuje pohyb proudovodičů a magnetů... možná hypotéza

sestrojení elektromotoru, určitý předchůdce elektrického motoru sestrojil anglický matematik a fyzik

Peter Barlow 1776-1862 r. 1822,
(Barlowo kolečko)



Na tomto principu funguje Barlowovo kolečko, které roku 1823 navrhl anglický fyzik Peter Barlow. Původní Barlowovo řešení sestávalo z otočné plechové hvězdice, jejíž ramena procházela mezi póly permanentního magnetu a svými hroty se brodila rtutí v kovové misce. Jeden pól galvanického článku byl připojen k hřídelce, na níž se hvězdice otáčela, druhý pól k misce se rtutí. Rameno hvězdice při kontaktu se rtutí tak vytvářelo proudovodič, jenž byl z prostoru mezi póly vytlačován magnetickým polem. Za přispění setrvačnosti se děj neustále opakoval a kolečko se otáčelo. Tento přístroj je považován za jeden z prvních modelů elektrického motoru na stejnosměrný proud. ^{E2}

Michael Faraday význam

Téměř každý Faradayův objev otevřel novou oblast vědeckého bádání. Na Faradayovy myšlenky a představy navázali další fyzici, William Thomson (lord Kelvin) a zejména James Clerk Maxwell, který se problematice elektřiny a magnetismu začal věnovat v r. 1854. Ten byl asi také jediný, kdo v té době bral vážně Faradayovo učení o siločarách jako realistický model elektromagnetického působení. Maxwell teoreticky a matematicky zobecnil do té doby nahromaděné experimentální poznatky o elektřině a magnetismu, dovršené Faradayovými pracemi, a zformuloval soustavu rovnic



James Clerk Maxwell 1831 - 1879

„žádná fyzikální teorie neovlivnila lidstvo tolik jako Maxwellova teorie elektromagnetického pole“ -

patentování existence elektromagnetických vln, životopis, nová koncepce elektrodynamiky vytvořena skotským fyzikem z Edinburgu, tvorba elektrických a magnetických jevů, Faradayovy myšlenky doplnil a vyjádřil matematicky, s využitím matematického aparátu, který již vytvořili Laplace, Lagrange, Poisson, Gauss, Ostrogradskij, Weber

O Faradayových siločarách 1856

O fyzikálních siločarách 1861

Dynamická teorie elektromagnetického pole 1861

Teorie tepla 1871

Pojednání o elektrině a magnetismu 1873

Hmota a pohyb 1876



James Clerk Maxwell - přínos

- čistá geometrie
- teorie pružnosti, hydrodynamika
- mechanika, stabilita prstenců Saturna
- geometrická optika, pokusy s barevným viděním
- kinetická teorie plynů, termodynamika
- teorie elektromagnetismu včetně teorie světla

James Clerk Maxwell

A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field

J. Clerk Maxwell

Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1865 **155**, 459-512, published 1 January 1865

oprostil se od **mechanického modelu elektro-magnetismu**, zavedl **dynamickou teorii elektromagnetického pole**, uvedl:

*„Upřednostnil jsem tudíž hledat jiné vysvětlení, předpokládat, že vznikají působením, jež přechází do okolního prostředí stejně jako do excitovaných těles, a snažit se vysvětlit působení mezi vzdálenými objekty bez předpokladu existence sil bezprostředně působících na dálku. Teorie, kterou navrhuji, by tudíž mohla být nazývána teorií **elektromagnetického pole**, neboť se týká prostoru v okolí elektrických nebo magnetických těles, a mohla být nazývána **teorií dynamickou**, neboť předpokládá, že v uvedeném prostoru se hmota pohybuje, čímž pozorované elektromagnetické jevy vznikají...“*

James Clerk Maxwell

A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field

J. Clerk Maxwell

Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1865 **155**, 459-512, published 1 January 1865

veličiny:

Maxwell, 1864		dnešní vektorová notace	
electromagnetic momentum	F, G, H	$\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$	vektorový potenciál
magnetic intensity	α, β, γ	$\vec{H} = (H_x, H_y, H_z)$	magnetická intenzita
electromotive force	P, Q, R	$\vec{E} = (E_x, E_y, E_z)$	elektromotorická síla
current due to true conduction	p, q, r	$\vec{j} = (j_x, j_y, j_z)$	proudová hustota
electric displacement	f, g, h	$\vec{D} = (D_x, D_y, D_z)$	elektrická indukce
total current	p', q', r'	$\vec{j} + \partial\vec{D}/\partial t$	\vec{j} +Maxwellův proud
quantity of free electricity	e	ρ	hustota náboje
electric potential	Ψ	ϕ	skalární potenciál
coefficient of magnetic induction	μ	μ	permeabilita
coefficient of electric elasticity	k	$\epsilon \sim k^{-1}$	permitivita

zavedl dvacet fyzikálních veličin, popisujících stav a dynamiku elektromagnetických soustav, dvacet rovnic je svazuje ...

James Clerk Maxwell

rovnice:

$\mu\alpha = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$ $\mu\beta = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$ $\mu\gamma = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$	$\vec{B} = \text{rot} \vec{A}$
$\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} = 4\pi p' = 4\pi \left(p + \frac{df}{dt} \right)$ $\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} = 4\pi q' = 4\pi \left(q + \frac{dg}{dt} \right)$ $\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} = 4\pi r' = 4\pi \left(r + \frac{dh}{dt} \right)$	$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$
$P = \mu \left(\gamma \frac{dy}{dt} - \beta \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}$ $Q = \mu \left(\alpha \frac{dz}{dt} - \gamma \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}$ $R = \mu \left(\beta \frac{dx}{dt} - \alpha \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$	$\vec{F}/q = \vec{v} \times \vec{B} + \vec{E}$
$P = kf$ $Q = kg$ $R = kh$	$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$
$P = -\rho p$ $Q = -\rho q$ $R = -\rho r$	$\vec{E} = \vec{j}/\gamma$
$e + \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz} = 0$	$\text{div} \vec{D} = \rho$
$\frac{de}{dt} + \frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} = 0$	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \vec{j} = 0$

James Clerk Maxwell

Pojednání o elektrině a magnetismu 1873

Clarendon Press Series

A TREATISE

ON

ELECTRICITY AND MAGNETISM

BY

JAMES CLERK MAXWELL, M.A.

LL.D. EDIN., F.R.SS. LONDON AND EDINBURGH
HONORARY FELLOW OF TRINITY COLLEGE,
AND PROFESSOR OF EXPERIMENTAL PHYSICS
IN THE UNIVERSITY OF CAMBRIDGE

VOL. I

Oxford

AT THE CLARENDON PRESS

1873

[All rights reserved]

Obsah kapitol...

Měření veličin

Popis jevů

Elementární matematická teorie elektriny

Obecné věty

Mechanické působení mezi elektrizovanými tělesy

Body a linie rovnováhy

Tvary ekvipotenciálních povrchů a přímky toku

Jednoduché případy elektrizace

Sférické harmonie

Povrchy druhého stupně se společnými ohnisky

James Clerk Maxwell

Pojednání o elektřině a magnetismu 1873

soustava rovnic propracovanější, zavedl zápis pomocí *kvaternionů*

„třírozměrných komplexních čísel“. Toho bylo dosaženo v roce 1843, kdy irský fyzik a astronom W. R. Hamilton (1805–1865) zavedl tzv. *kvaterniony*.

Kvaternion je veličina, kterou lze zapsat ve tvaru $a = a_0 + a_1\mathbf{i} + a_2\mathbf{j} + a_3\mathbf{k}$, kde a_i jsou skaláry (a_0 je „skalární část“, zbytek pak „vektorová část“ kvaternionu, přičemž a_1, a_2, a_3 lze chápat například jako kartézské souřadnice v prostoru), zatímco hyperkomplexní jednotky $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ jsou analogony imaginární jednotky \mathbf{i} dobře známé z teorie komplexních čísel. Sčítání dvou kvaternionů je definováno obvyklým způsobem „po složkách“, násobení je určeno základními pravidly pro násobení jednotek $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$:

$$\begin{aligned} \mathbf{i}^2 = \mathbf{j}^2 = \mathbf{k}^2 &= -1, \\ \mathbf{ij} = \mathbf{k}, \quad \mathbf{jk} = \mathbf{i}, \quad \mathbf{ki} = \mathbf{j}, \\ \mathbf{ji} = -\mathbf{k}, \quad \mathbf{kj} = -\mathbf{i}, \quad \mathbf{ik} = -\mathbf{j}. \end{aligned}$$

Součin dvou kvaternionů $a = a_0 + a_1\mathbf{i} + a_2\mathbf{j} + a_3\mathbf{k}$ a $b = b_0 + b_1\mathbf{i} + b_2\mathbf{j} + b_3\mathbf{k}$ tudíž je

$$\begin{aligned} ab = a_0b_0 - (a_1b_1 + a_2b_2 + a_3b_3) + \\ + (a_0b_1 + a_1b_0 + a_2b_3 - a_3b_2)\mathbf{i} + \\ + (a_0b_2 + a_2b_0 + a_3b_1 - a_1b_3)\mathbf{j} + \\ + (a_0b_3 + a_3b_0 + a_1b_2 - a_2b_1)\mathbf{k}. \end{aligned}$$

Hamilton také zavedl kvaternionový diferenciální operátor označovaný ∇

$$\nabla = \mathbf{i}\frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j}\frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z},$$

jehož jméno *nabla* pochází z asyrského pojmenování pro harfíčku podobného tvaru.

Aplikován na *skalární funkci* $f(x, y, z)$ dává vektor

$$\nabla f = \mathbf{i}\frac{\partial f}{\partial x} + \mathbf{j}\frac{\partial f}{\partial y} + \mathbf{k}\frac{\partial f}{\partial z}.$$

Aplikován na *vektorovou funkci* $\mathbf{v} = v_1\mathbf{i} + v_2\mathbf{j} + v_3\mathbf{k}$ dává kvaternion

$$\begin{aligned} \nabla \mathbf{v} &= \left(\mathbf{i}\frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j}\frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k}\frac{\partial}{\partial z} \right) (v_1\mathbf{i} + v_2\mathbf{j} + v_3\mathbf{k}) = \\ &= - \left(\frac{\partial v_1}{\partial x} + \frac{\partial v_2}{\partial y} + \frac{\partial v_3}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial v_3}{\partial y} - \frac{\partial v_2}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial v_1}{\partial z} - \frac{\partial v_3}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial v_2}{\partial x} - \frac{\partial v_1}{\partial y} \right) \mathbf{k}. \end{aligned} \quad (1)$$

James Clerk Maxwell

Pojednání o elektřině a magnetismu 1873

vektorové veličiny:

Maxwellova notace, 1873		dnešní vektorová notace	
radius vector of a point	$\rho = (x, y, z)$	$\vec{r} = (x, y, z)$	polohový vektor
electromagnetic momentum	$\mathcal{A} = (F, G, H)$	$\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$	vektorový potenciál
magnetic induction	$\mathcal{B} = (a, b, c)$	$\vec{B} = (B_x, B_y, B_z)$	magnetická indukce
total electric current	$\mathcal{C} = (u, v, w)$	$\vec{j} + \partial\vec{D}/\partial t$	\vec{j} +Maxwellův proud
electric displacement	$\mathcal{D} = (f, g, h)$	$\vec{D} = (D_x, D_y, D_z)$	elektrická indukce
electromotive force	$\mathcal{E} = (P, Q, R)$	$\vec{E} = (E_x, E_y, E_z)$	elektrická intenzita
mechanical force	$\mathcal{F} = (X, Y, Z)$	$\vec{f} = (f_x, f_y, f_z)$	Lorentzova síla
velocity of a point	$\mathcal{G} = \dot{\rho} = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$	$\vec{v} = (\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$	rychlost
magnetic force	$\mathcal{H} = (\alpha, \beta, \gamma)$	$\vec{H} = (H_x, H_y, H_z)$	magnetická intenzita
intensity of magnetization	$\mathcal{J} = (A, B, C)$	$\vec{J} = (J_x, J_y, J_z)$	magnetická polarizace
current of conduction	$\mathcal{K} = (p, q, r)$	$\vec{j} = (j_x, j_y, j_z)$	proudová hustota

James Clerk Maxwell

Pojednání o elektríně a magnetismu 1873

skalární veličiny:

Maxwellova notace, 1873		dnešní notace	
electric potential	Ψ	φ	skalární potenciál
magnetic potential	Ω	φ_m	magnetostatický potenciál
electric density	e	ρ	hustota náboje
density of magnetic 'matter'	m	ρ_m	hustota magnetického náboje

materiálové veličiny:

Maxwellova notace, 1873		dnešní notace	
conductivity for electric currents	C	γ	měrná vodivost
dielectric inductive capacity	K	ε	permitivita
magnetic inductive capacity	μ	μ	permeabilita

James Clerk Maxwell

Pojednání o elektrině a magnetismu 1873

rovnice:

Maxwellova notace, 1873		dnešní notace
magnetic induction	$B = V\nabla A$	$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$
electromotive force	$\mathcal{E} = VGB - \dot{A} - \nabla\Psi$	$\vec{F}/q = \vec{v} \times \vec{B} + \vec{E}$
mechanical force	$\mathcal{F} = VCB - e\nabla\Psi - m\nabla\Omega$	$\vec{f} = \vec{j} \times \vec{B} + \rho\vec{E}$
magnetization	$B = \mathcal{H} + 4\pi\mathcal{J}$	$\vec{B} = \mu_0\vec{H} + \vec{J}$
electric currents	$4\pi\mathcal{C} = V\nabla\mathcal{H}$	$\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$
current of conduction	$\mathcal{K} = C\mathcal{E}$	$\vec{j} = \gamma\vec{E}$
electric displacement	$\mathcal{D} = \frac{1}{4\pi}K\mathcal{E}$	$\vec{D} = \epsilon\vec{E}$
total current	$\mathcal{C} = \mathcal{K} + \dot{\mathcal{D}}$	$\vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$
magnetic induction	$B = \mu\mathcal{H}$	$\vec{B} = \mu\vec{H}$
electric volume-density	$e = S\nabla\mathcal{D}$	$\text{div } \vec{D} = \rho$
magnetic volume-density	$m = S\nabla\mathcal{J}$	$\text{div } \vec{J} = -\rho_m$
magnetic force	$\mathcal{H} = -\nabla\Omega$	$\vec{H} = -\nabla\varphi_m$

James Clerk Maxwell

- Originally there were 20 equations

Three equations of magnetic force (H_x, H_y, H_z)

$$\mu H_x = \frac{dA_z}{dy} - \frac{dA_y}{dz}, \quad \mu H_y = \frac{dA_x}{dz} - \frac{dA_z}{dx} \quad \text{and} \quad \mu H_z = \frac{dA_y}{dx} - \frac{dA_x}{dy}.$$

Three equations of electric currents (I_x, I_y, I_z)

$$\frac{dH_z}{dy} - \frac{dH_y}{dz} = 4\pi I'_x, \quad \frac{dH_x}{dz} - \frac{dH_z}{dx} = 4\pi I'_y \quad \text{and} \quad \frac{dH_y}{dx} - \frac{dH_x}{dy} = 4\pi I'_z.$$

Three equations of electromotive force (E_x, E_y, E_z)

$$\left. \begin{aligned} E_x &= \mu \left(H_z \frac{dy}{dt} - H_y \frac{dz}{dt} \right) - \frac{dA_x}{dt} - \frac{d\phi}{dx}, \\ E_y &= \mu \left(H_x \frac{dz}{dt} - H_z \frac{dx}{dt} \right) - \frac{dA_y}{dt} - \frac{d\phi}{dy}, \\ \text{and} \quad E_z &= \mu \left(H_y \frac{dx}{dt} - H_x \frac{dy}{dt} \right) - \frac{dA_z}{dt} - \frac{d\phi}{dz}. \end{aligned} \right\}$$

Three equations of electric elasticity (D_x, D_y, D_z)

$$E_x = kD_x, \quad E_y = kD_y \quad \text{and} \quad E_z = kD_z.$$

Three equations of electric resistance (ρ)

$$E_x = -\rho I_x, \quad E_y = -\rho I_y \quad \text{and} \quad E_z = -\rho I_z.$$

Three equations of total currents (I'_x, I'_y, I'_z)

$$I'_x = I_x + \frac{dD_x}{dt}, \quad I'_y = I_y + \frac{dD_y}{dt} \quad \text{and} \quad I'_z = I_z + \frac{dD_z}{dt}.$$

One equation of free electricity (ρ_e)

$$\rho_e + \frac{dD_x}{dx} + \frac{dD_y}{dy} + \frac{dD_z}{dz} = 0.$$

One equation of continuity ($d\rho_e/dt$)

$$\frac{d\rho_e}{dt} + \frac{dI_x}{dx} + \frac{dI_y}{dy} + \frac{dI_z}{dz} = 0.$$

contains Lorentz force

$$B = \mu H = \text{curl } A,$$

$$\text{curl } H = 4\pi I' = 4\pi \left(I + \frac{dD}{dt} \right),$$

$$E = \mu(v \times H) - \frac{dA}{dt} - \nabla\phi = (v \times B) - \frac{dA}{dt} - \nabla\phi,$$

$$E = kD,$$

$$E = -\rho I,$$

$$I' = I + \frac{dD}{dt},$$

$$\rho_e + \nabla \cdot D = 0$$

$$\frac{d\rho_e}{dt} + \nabla \cdot I = 0.$$

continuity equation

The result is 20 equations for the 20 variables which are:

electromagnetic momentum	A_x	A_y	A_z
magnetic intensity	H_x	H_y	H_z
electromotive force	E_x	E_y	E_z
current due to true conduction	I_x	I_y	I_z
electric displacement	D_x	D_y	D_z
total current (including variation of displacement)	I'_x	I'_y	I'_z
quantity of free electricity	ρ_e		
electric potential	ϕ		

James Clerk Maxwell

Současný tvar rovnic

Differential Form		Integral Form	
$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$	$\left. \begin{array}{l} \iiint_V (\nabla \cdot \vec{F}) dV = \oiint_S \vec{F} \cdot d\vec{S} \\ \text{Gauss' theorem} \end{array} \right\}$	$\oiint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \iiint_V \rho dV$	Gauss's law
$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$		$\oiint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$	Gauss's law for magnetism
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\left. \begin{array}{l} \iint_S (\nabla \times \vec{F}) \cdot d\vec{S} = \oint_{\partial S} \vec{F} \cdot d\vec{l} \\ \text{Stokes' theorem} \end{array} \right\}$	$\oint_{\partial S} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$	Faraday's law of induction
$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$		$\oint_{\partial S} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \iint_S \vec{J} \cdot d\vec{S} + \iint_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$	Ampère's law

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$$

ϵ_0 =permittivity of free space

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$$

μ_0 =permeability of free space

ρ = electric charge density (C/m³=As/m³)

J = electric current density (A/m²)

D = electric flux density/displacement field (Unit: As/m²)

E = electric field intensity (Unit: V/m)

H = magnetic field intensity (Unit: A/m)

B = magnetic flux density (Unit: Tesla=Vs/m²)

James Clerk Maxwell

pojem *energie pole* Maxwell vyložil následovně:

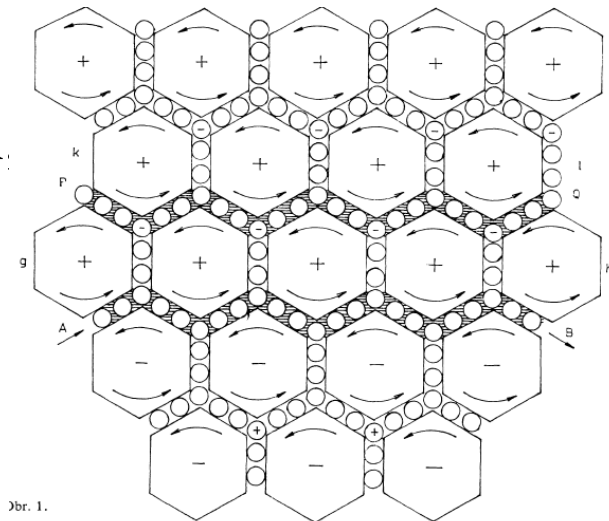
„pokud však hovořím o energii pole, přeji si být chápán doslova. Veškerá energie je totožná s energií mechanickou, ať existuje ve formě pohybu, pružnosti, nebo kterékoliv jiné podobě. Energie v elektromagnetických jevech je mechanická energie. Jedinou otázkou je, kde tato energie sídlí? Podle starých teorií sídlí v nabitých tělesech, vodivých obvodech a magnetech, v podobě neurčité veličiny zvané potenciální energie, či ve schopnosti vyvolávat jistá působení na dálku. Podle naší teorie sídlí v elektromagnetickém poli, v prostoru obklopujícím nabitá a zmagnetovaná tělesa, stejně jako v tělesech samých.“

ze slov veškerá energie je totožná s energií mechanickou plyne nezavrnutí možného vysvětlení elektromagnetických jevů pomocí specifických pohybů a napětí elastického éteru, i když tuto představu dále Maxwell nerozpracovával...

James Clerk Maxwell

dotvoření elektrodynamiky dielektrika, polarizované dielektrikum – množina rozptýlených v izolující prostředí částic, na kterých je rozdělen elektrický náboj určitým způsobem, jakékoliv změny stavu polarizace musí být doprovázeny změnami rozdělení elektrického náboje v každé částici, tj. reálným elektrickým proudem, ohraničeným objemem částice – každá **změna stavu polarizace je doprovázena posuvným proudem** předpokládal tzv. **frikční molekuly**, které vložil mezi víry... „*jestliže potřebujeme, aby se v mechanismu otáčely dvě kola v stejném smyslu, vložíme mezi ně kolo, které zasahuje do obou*“

Ampérův zákon Maxwell rozšířil na oblast nestacionárních elmag. polí, k **vodivému proudu** vyvolanému pohybem elektrických nábojů ve vodičích přidal **posuvný proud**, časovou derivaci indukčního elektrického toku, který může existovat v dielektriku



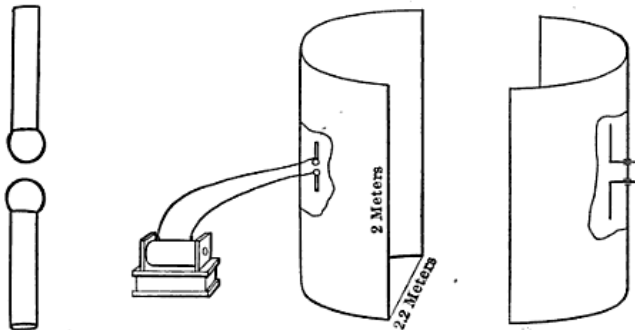
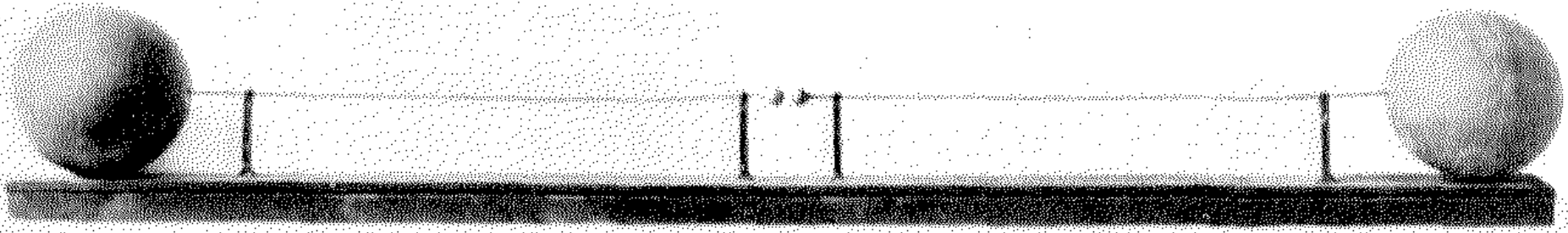
James Clerk Maxwell

podstatná část - **elektromagnetická teorie světla**,
kde ukázal, že rozruchy elektromagnetického pole se ve vakuu mohou šířit v podobě transverzálních (příčných) vln, viz rovnice, stanovil hodnotu rychlosti světla, srovnal ji s hodnotami získanými experimentálními metodami, uvedl: *„Shoda výsledků zřejmě prokazuje, že světlo a magnetismus jsou projevy téže substance a že světlo je elektromagnetický rozruch šířící se polem dle zákonů elektromagnetismu.“*

vytvořil **elektromagnetickou teorii světla**,
sjednotil elektřinu a magnetismus s optikou,
předpověděl **existenci elektromagnetických vln**

Heinrich Rudolf Hertz 1857 - 1894

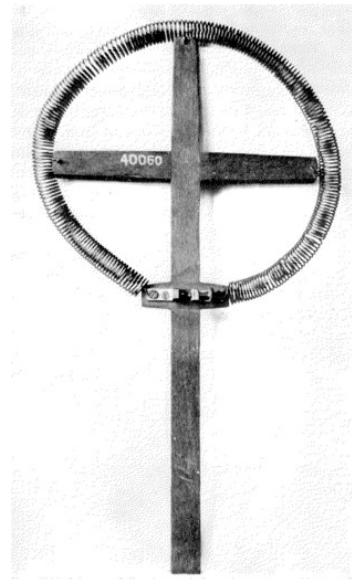
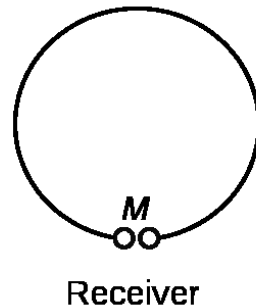
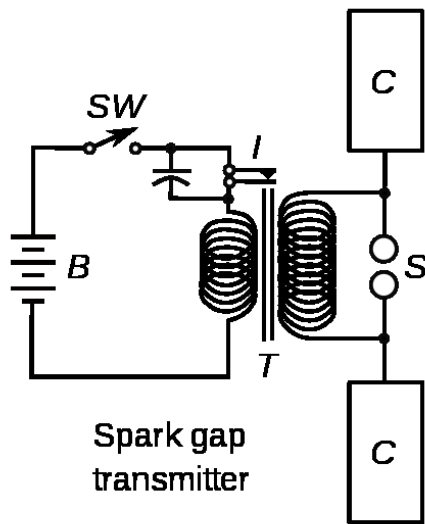
pomocí generátoru a rezonátoru experimentálně dokázal, že kmitající náboj vytváří vyvolává v prostoru vlny cm, dm délky, skládající se ze dvou složek – elektrické a magnetické, *jednotka frekvence - hertz*



A handwritten signature of Heinrich Rudolf Hertz.

Heinrich Rudolf Hertz

objev vysokofrekvenčních elektromagnetických vln, experimentálně, popsal *O elektrodynamických vlnách ve vzduchu a jejich odrazu*, na Maxwellovu teorii se neodvolával, byly experimentálním faktem, pokus - Hertzův vibrátor, dvě kuličky, mezi kterými přeskakovala jiskra, rezonátor (do kruhu stočený drát, přerušovaný krátkým jiskřištěm, byl umístěn několik desítek metrů od vibrátoru, při dopadu elmag. vlny o metrových délkách pozoroval indukované jiskření, zkoumal vlastnosti, rychlost šíření, odraz, lom, vlnovou délku, správnost Maxwellovy teorie



Rozvoj teorie elektromagnetického pole

přenos energie elmag. vlnami, anglický fyzik **John Henry Poynting 1852-1914**, obecná teorie přenosu energie, její hustoty v prostoru a toku jejího proudění, **Nikolaj Aleksejevič Umov 1846-1915** roztáčení mlýnku při dopadu světelných paprsků **William Crookes 1832-1919**, přesný výklad jevu – otáčení vyvoláno částičky plynů kondenzovaných na lopatkách mlýnku, teplem se uvolňují, odlétají, reakční silou roztáčejí mlýnek, záleží na stupni vakua

tlak světla změřil pomocí torzních vah
Petr Nikolajevič Lebeděv 1866-1912



Rozvoj technických aplikací

V druhé polovině 19. století se dříve získané poznatky dostávají do běžného života a vzniká nová věda - elektrotechnika, která prakticky a technicky využívá elektrické a magnetické jevy. Například roku 1860 byl objeven telefon, později zdokonalený *Alexandrem Grahamem Bellem* (1847-1922), což byl americký fyzik a vynálezce. Dalším významným vynálezcem té doby byl Němec *Werner Siemens* (1816-1892), který jako první sestrojil elektrodynamický stroj, v němž byl použit elektromagnet. *Thomas Alva Edison* (1847-1934) americký vynálezce, který proslul vynálezem žárovky. *Nikola Tesla* (1856-1943), srbský fyzik, jenž vynalezl například indukční motor. Německý fyzik *Heinrich Rudolf Hertz* (1857-1894) experimentálně ověřil Maxwellovy a Faradayovy teoretické předpoklady o šíření elektromagnetických vln, a tím odstartoval cestu k vývoji bezdrátového spojení. Z Čechů uveďme například *Františka Křižíka* (1847-1941), jehož nejznámějším vynálezem je oblouková lampa se samočinnou regulací vzdálenosti uhlíků.

Rozvoj technických aplikací

rozvoj radiotechniky, přenosu rádiových signálů, **Guglielmo Marconi 1874-1937**, italský vynálezce, podnikatel, prováděl pokusy, v prosinci 1901 transatlantický přenos signálu z Cornwallu signál na dlouhých vlnách 2 000 m – tři tečky do Nového Foundlandu, vzdálenost 3 540 km, zakřivení Země, **Nobelova cena r. 1909** ...

