

# A tudományos megismerés elemei

1. a jelenség(ek) felismerése/tudatosítása/  
elkülönítése/megfigyelése, a probléma  
felismerése/megfogalmazása
2. a jelenség viszonylag stabil előállítása
3. első vizsgálatok: kvalitatív megfigyelés,  
leírás
4. mérés
  - a) mérhető mennyiségek azonosítása
  - b) mérőeszközök kifejlesztése
  - c) skálák, mértékegységek meghatározása
5. kísérletek

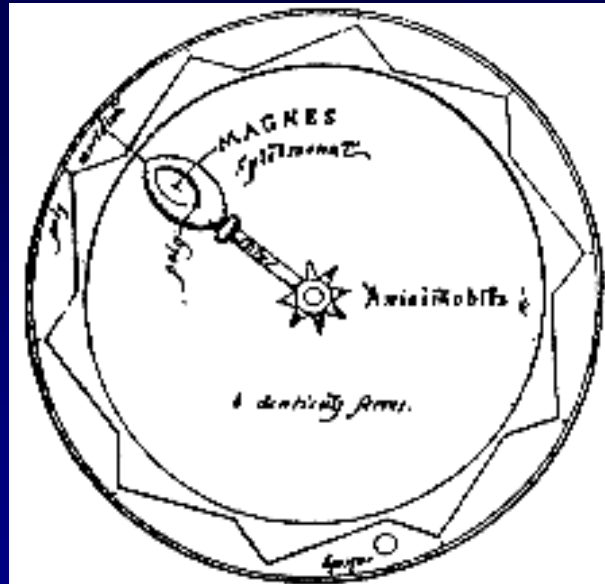
6. közben folyamatosan: hipotézisek (feltevések), elméleti megállapítások, modellek, filozófiai ötletek és alkalmazások gyártása/átvétele magyarázat illetve kipróbálás céljából
7. közben folyamatosan: a járulékosan felfedezett jelenségekre → 1.
8. közben folyamatosan: fogalomalkotás
9. közben folyamatosan: matematizálás
10. átfogó elmélet (törvények) megalkotása magyarázat és előrejelzés céljából
11. gyakorlati alkalmazások kiszélesítése
12. átvitel
  - a) más tudományágakba
  - b) köztudatba (népszerűsítés), világnézetbe <sup>tudományfilozófia</sup>

# Az elektromos és mágneses jelenségek tudományának fejlődése a Maxwell-egyenletekig

- Elektromos és mágneses alapjelenségek
  - kínaiak (i. e. XXVI. sz. ?)
    - mágnes az irányok megállapítására
  - görögök (i. e. 800)
    - magnetit (Magnézia - Thesszália)
    - borostyán (elektron)
  - XII. sz. Kína és a Mediterránium: iránytű

– Petrus Peregrinus [Pierre de Maricourt]  
(1269, 1558)

- *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, militem, de magnete*
  - gömb (Föld) alakú mágnes pólusai
  - mágnesezés
  - mágnesek alkalmazásai (pl. iránytű, örökmozgó)



# William Gilbert (vagy Gylberd[e] 1544-1603)

- Cambridge-ben orvos
- 1573-tól Londonban praktizál, később Erzsébet királynő háziorvosa
- 1581-től barátaival vizsgálja a mágnesességet és elektromosságot
- *A mágnesről* (1600)
- előbb a királynő, majd ő is meghal pestisben

# *Gilbert: De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure (1600)*

- összesen mintegy 600 mágneses (és dörzselektromos) kísérlet
- mágnesvasérc és megmágnesezett vas tulajdonságai
  - pólusok
  - vonzás = taszítás (nincs Peregrinus-féle örökmozgó)
  - gyógyító hatás (hiánya)
- hő, fokhagyma stb. hatása a mágneses vonzásra

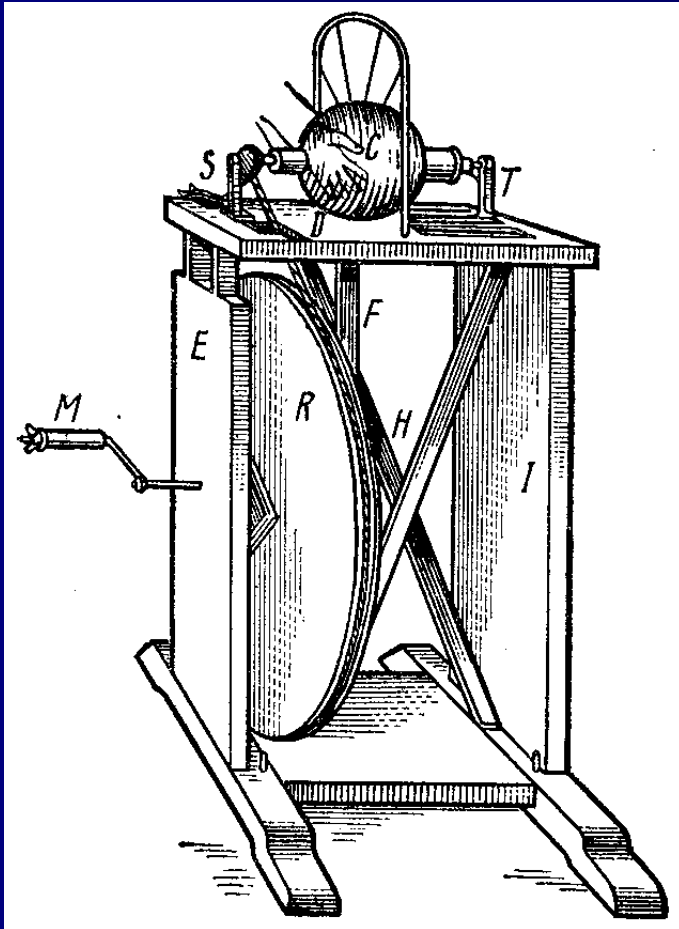
- a Föld mint mágnes
  - „terella” kísérletek (iránytű magyarázata)
    - inklináció (lehajlás)
    - deklináció („nem tökéletes terella”)
- az elektromosság és mágnesesség különbsége: a közeg szerepe
  - folyadék-modell (humor, effluvium), mint mechanikai kép
  - elektromos vonzás („vonz mint a borostyán” = „elektromos”), erő fogalma
- a földrajzi és mágneses pólusok analógiája
  - a mágnesség mozgató lélek → forgás, keringés
  - állásfoglalás a Föld for<sup>mű</sup>gása mellett

- Az elektromos jelenségek stabil létrehozása
  - forgómozgás segítségével
    - Otto von Guericke (1602-1686)

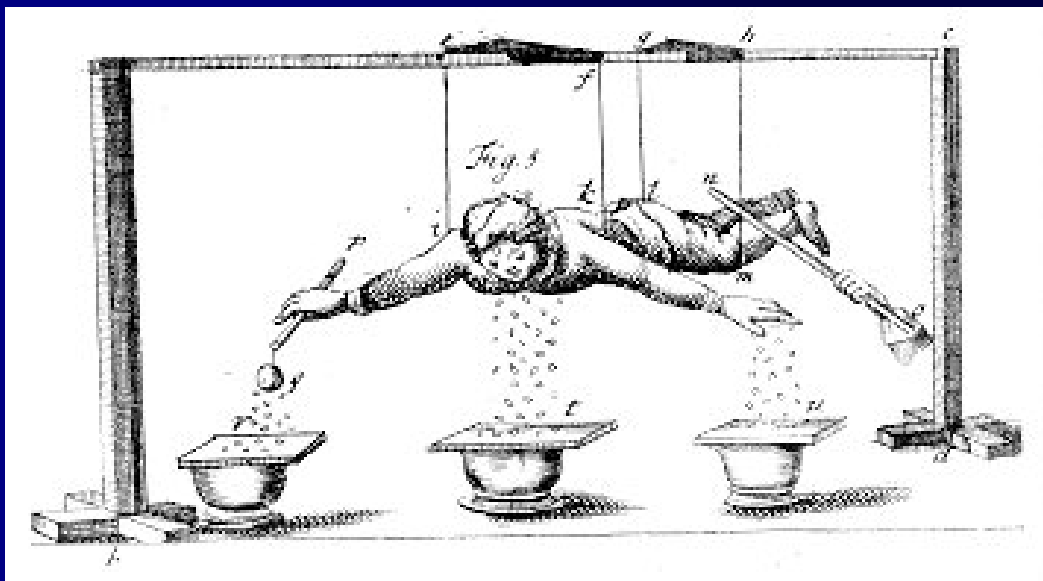
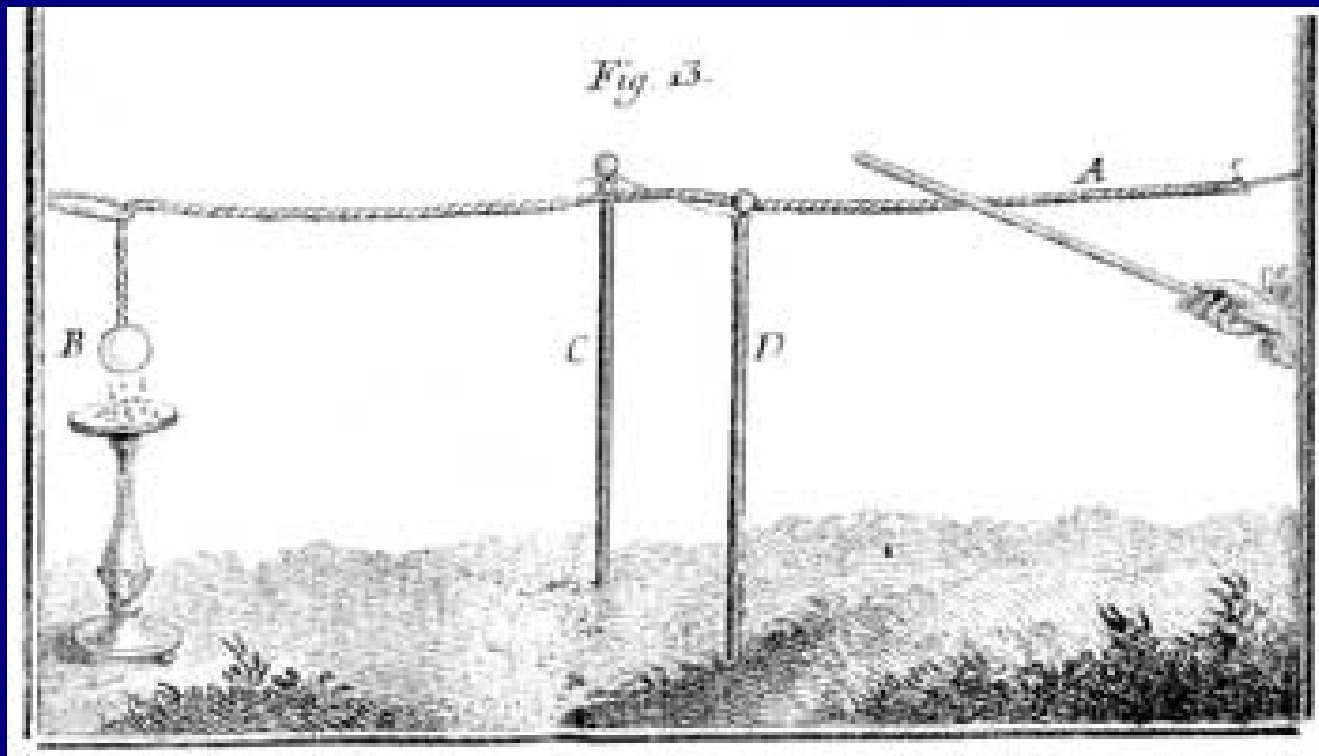




- Francis Hau(w)ksbee (1670?-1713)
  - folyadékmodell (fluvium)



- Az elektromosság kvalitatív vizsgálata
  - Stephen Gray (1666-1736)
    - „Ennek megfelelően 1729. július 2-án délelőtt tízkor elvégeztünk egy kísérletet. Körülbelül négy lábra a galéria végétől volt egy zsinór keresztben, amelynek a végeit a galéria két oldalán szögekkel rögzítettük; a zsinór középső része selyem volt, a többi a két végén spárga. A  $80\frac{1}{2}$  láb hosszú vezetéket, amelyre az elefántcsont golyót függesztettük, és amely az elektromosságot a csőből hozzávezette, ráfektettük a keresztben lévő selyemzsinóra, úgyhogy a golyó körülbelül 9 lábnyira alatta függött. A vezeték másik végét egy hurokkal felfüggesztettük az üvegrúdra, a rézlemezt pedig a golyó alatt tartottuk egy darab fehér papíron; amikor a csövet dörzsöltük, a golyó vonzotta a rézlemezt és egy darabig fenn is tartotta.”

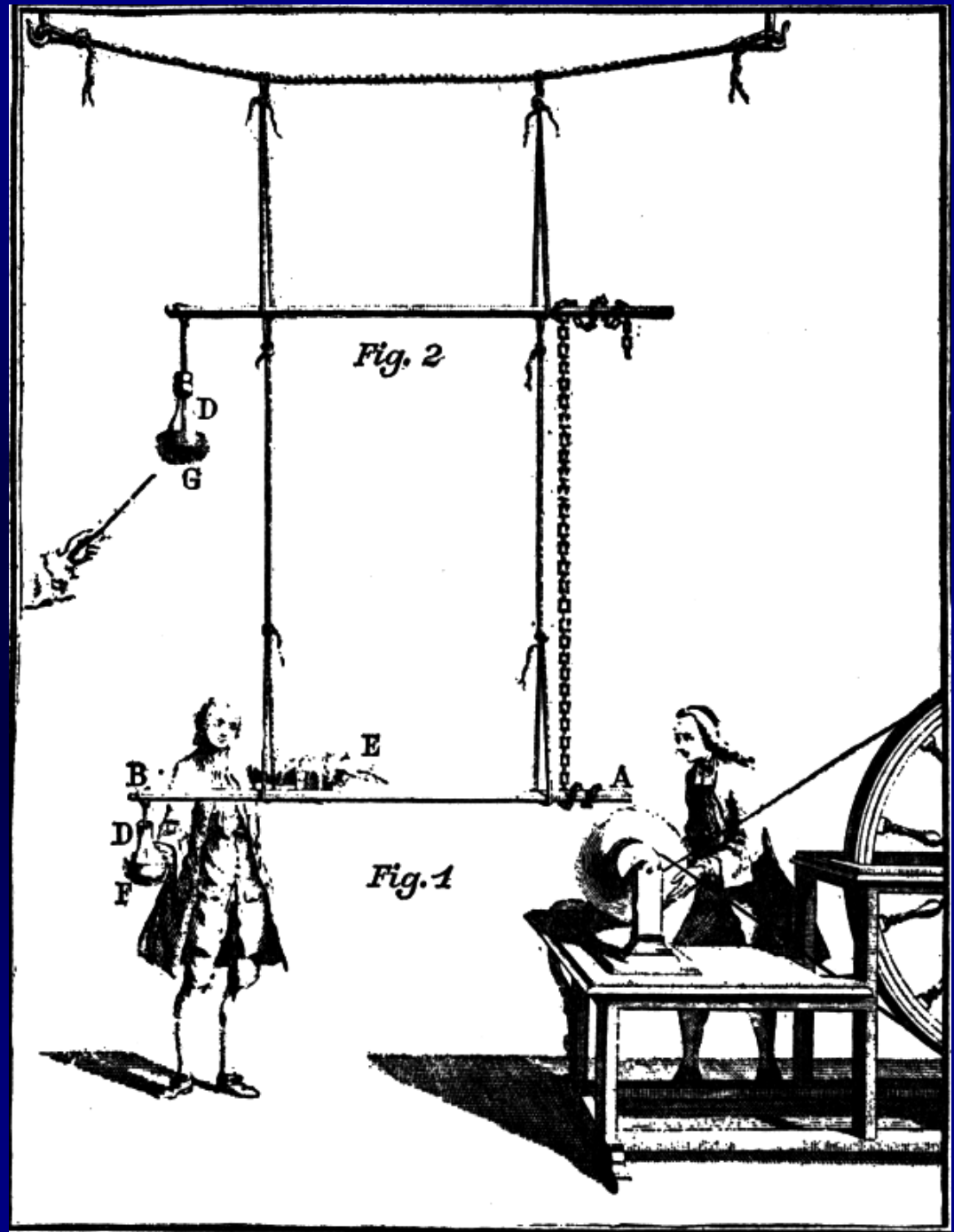


– Charles François  
de Cisternay  
DuFay (1698-  
1739)

- kétféle  
elektromosság -  
kétfolyadék  
(effluvium)  
modell (1733)

– Pieter van  
Musschenbroek  
(1692-1761)

- leydeni palack  
(1746)





# – Benjamin Franklin (1706-1790)

- síkkondenzátor
- villámhárító
- egyfolyadék-modell ( $\pm$ )



- Az elektromosság mérése
  - Jean-Antoine Nollet (1700-1770)
    - az elektroszkóp
    - az elektromosság népszerűsítése



– Charles-Augustine de  
Coulomb (1736-1806)

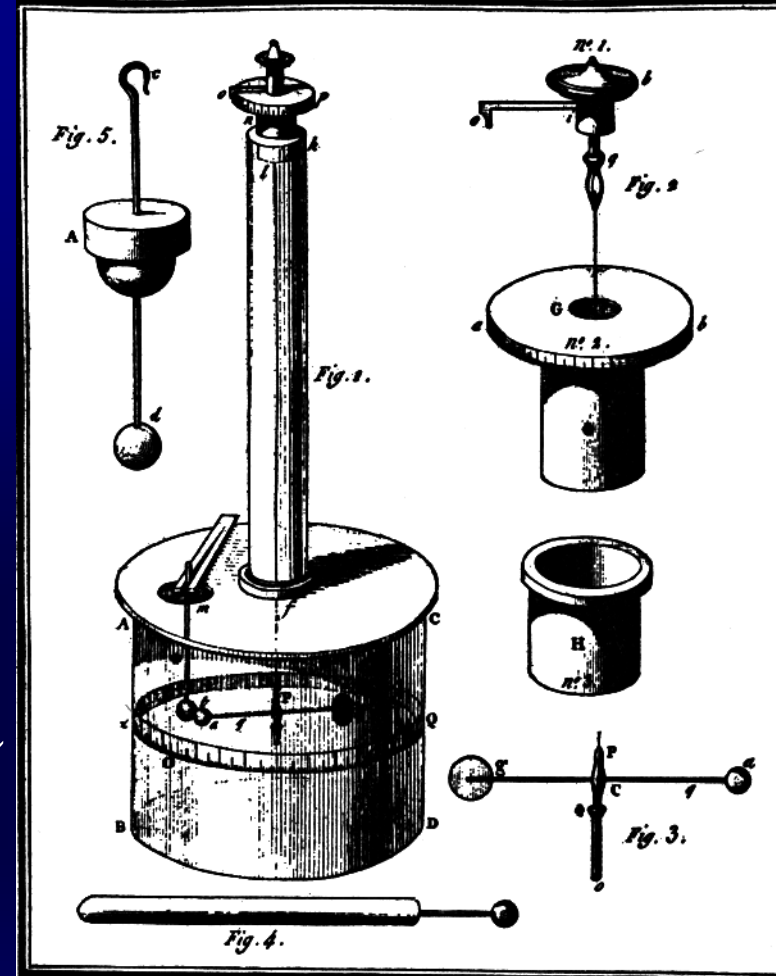
- Newton+torziós mérleg →  
Coulomb-törvény (1777-)
- mágneses pólusok

• Az elektromosság és  
mágnesség matematizálása

– Siméon-Denis Poisson  
(1781-1840)

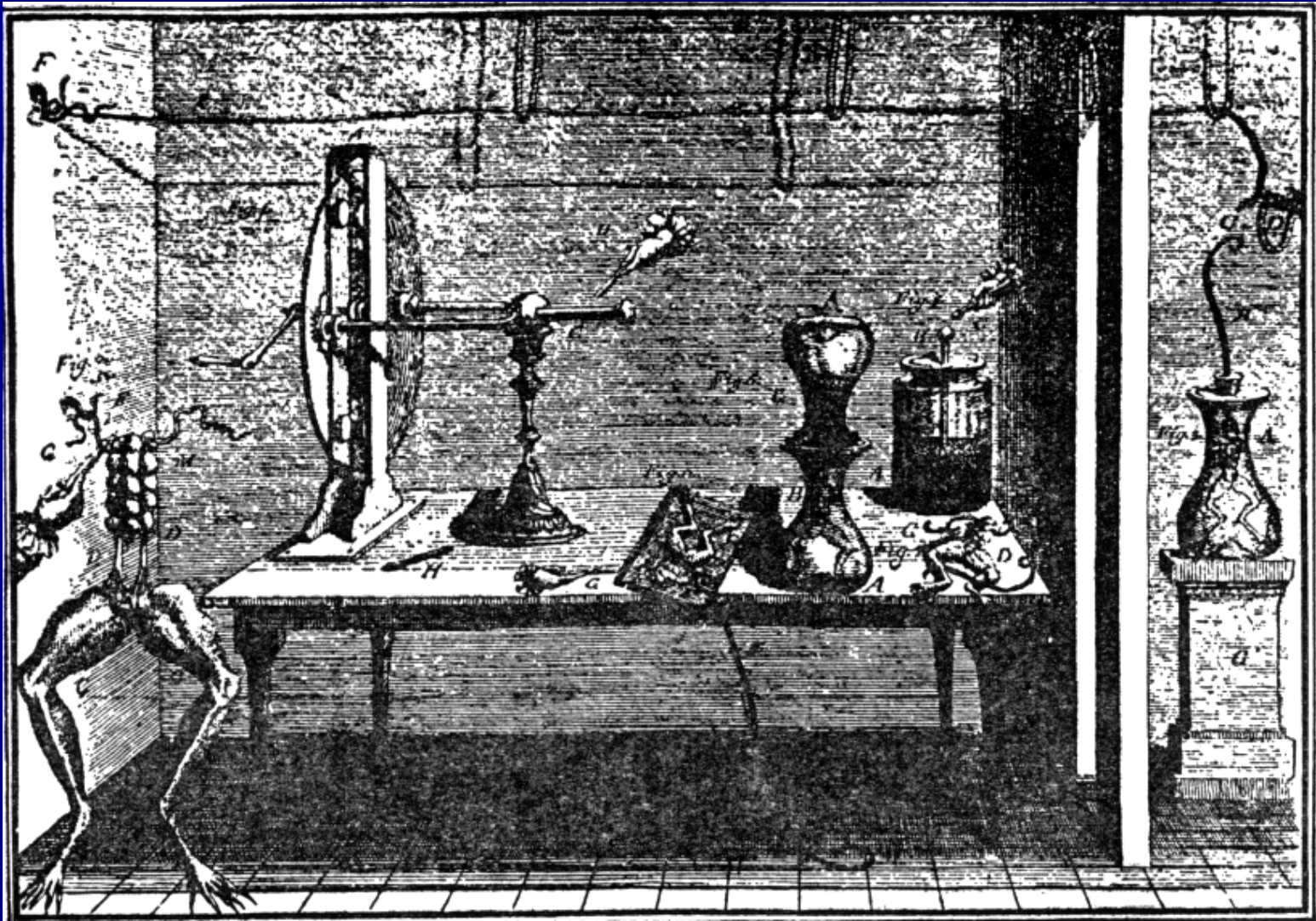
- az elektrosztatikai potenciál  
matematikai elmélete
- magnetosztatika

– George Green (1793-1841)





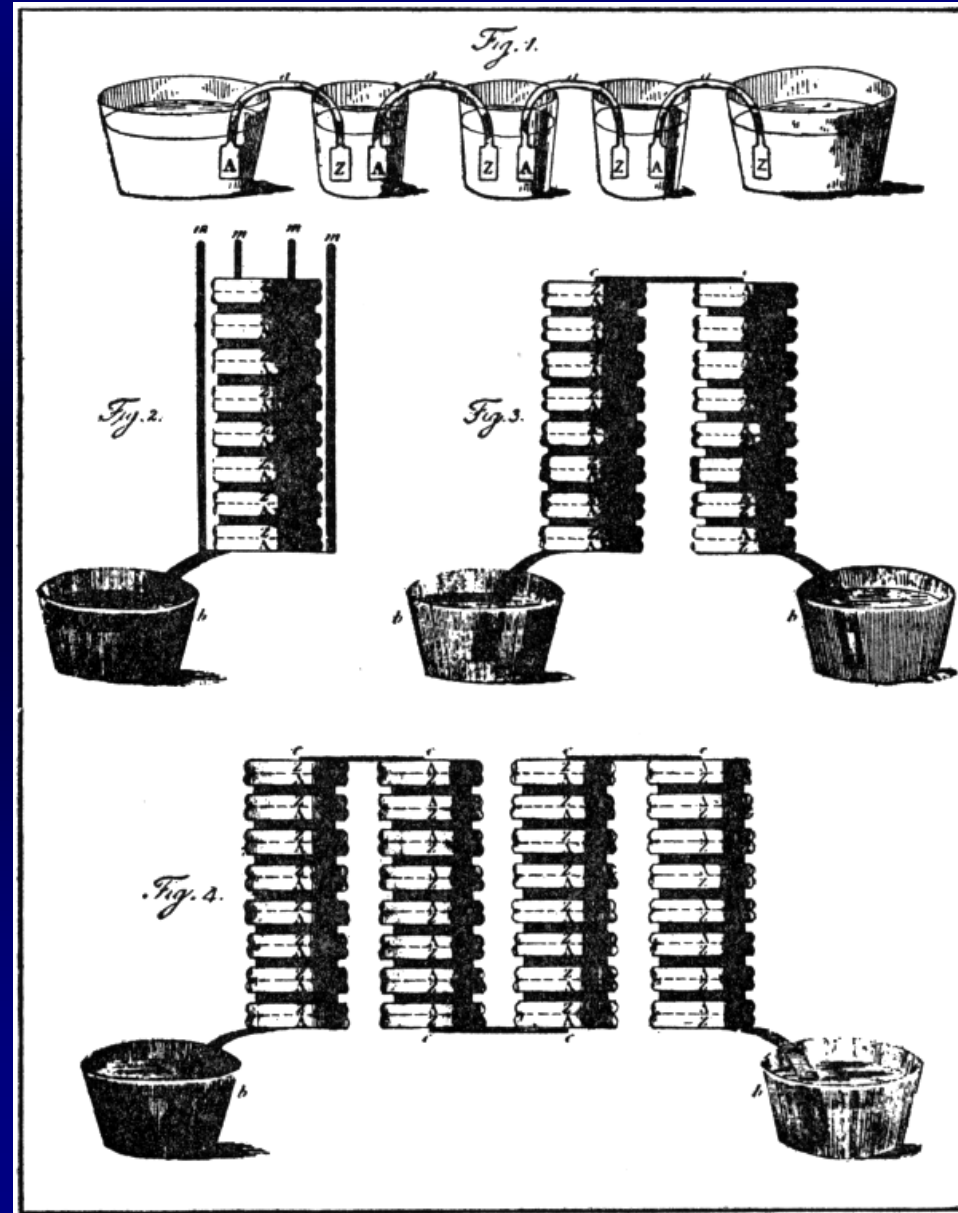
- Az elektromos áram felfedezése és vizsgálata
  - Luigi Galvani (1737-1798)
    - állati elektromosság (1780)





# – Alessandro Volta (1745-1827)

- Volta-oszlopok (1799)

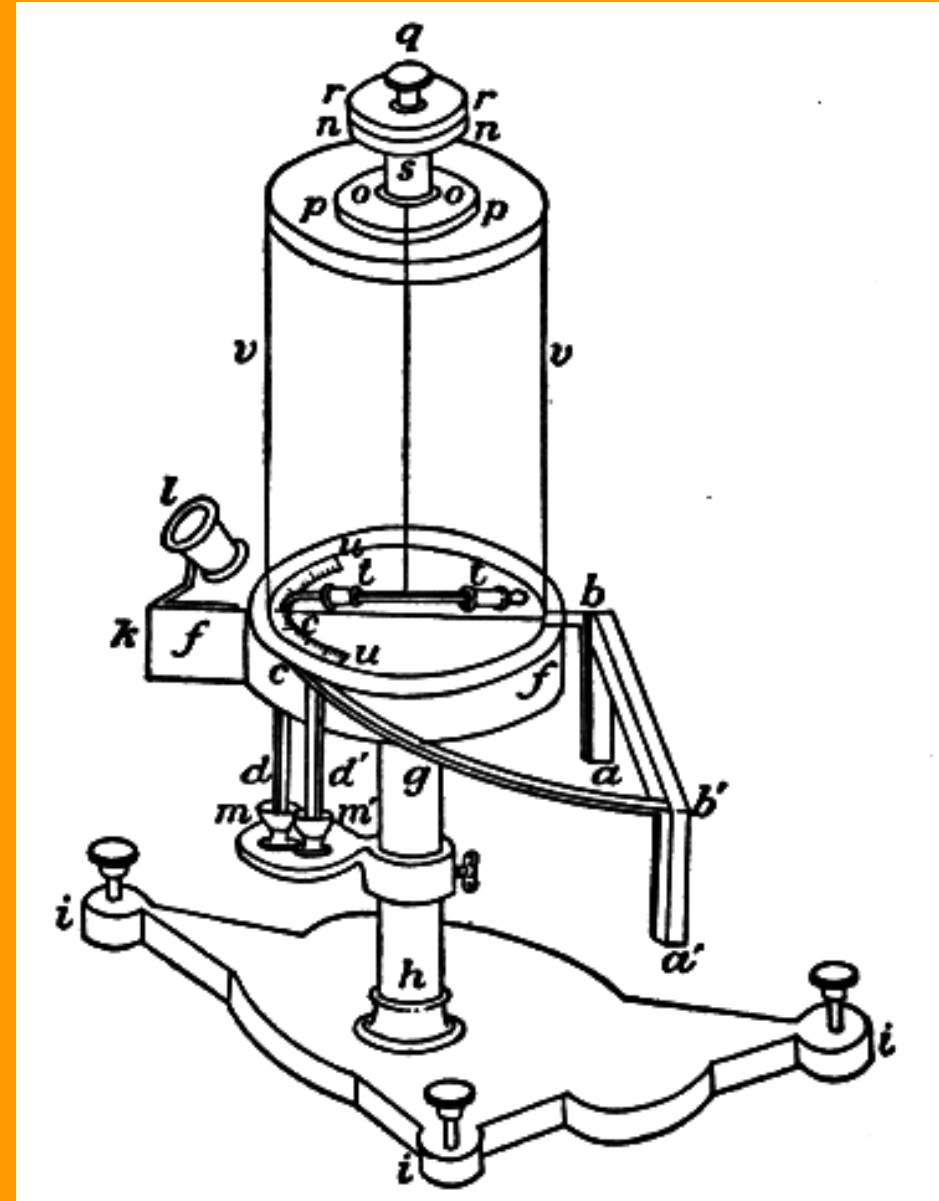


- William Nicholson (1753-1815)
  - vízbontás (1800)
- Humphry Davy (1778-1829)
  - fémsók bontása (1807)
  - a vezetők ellenállása
- Ohm áramkörüi törvénye
- Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)
  - csomóponti törvény (1854)

# Georg Simon Ohm (1789-1854)

- gyermek- és ifjúkorában anyagi és egyéb nehézségekkel küzdött
- 1811-ben doktorál, majd tanít különböző helyeken
- a gimnáziumi laborban kísérleti berendezést épít az áramvezetés vizsgálatára
  - árammérés torziós ingával
  - termoelemek (az ingadozó teljesítményű Volta-féle helyett)
    - jeges és forrásban lévő víz – legalább 5 órás mérési ciklusok
  - Ohm-törvény (1826)<sup>személy</sup>

- elméletileg is alátámasztja (*Az áramkör*, 1827) ☹
- csak a 40-es (Anglia), 50-es években ismerik el



# *Ohm: Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet (1827)*

- matematikai alapok
- Fourier hővezetési elmélete nyomán
  - az elektromosság közelhatás
  - a test belsejében a szomszédos (érintkező) részecskék között terjed
  - az elektromos erők különbségével arányosan

- a teljes áramkörre: „Egy elektromos áramkörben az áram nagysága egyenesen arányos az összes feszültség összegével és fordítottan az áramkör teljes redukált hosszával.”
- további törvények (pl. Coulomb)
- lehetővé válik a kívánalmaknak megfelelő áramkörök létrehozása, a telepek teljesítményének növelése, az áramköri elemek cseréje stb. → a technikai alkalmazások fejlesztése

# Romantikus közjáték a mechanikai paradigmában

- a romantikus természetfilozófia
  - Friedrich Schelling (1775-1854)
    - a természeti hatások egyetlen alapelv megnyilvánulásai (1799-ig)
  - a fizikai erők/kölcsönhatások egységének kutatása máig

- Az elektromos és mágneses jelenségek közötti kapcsolat
  - Hans Christian Ørsted (1777-1851)
    - az elektromos áram és a mágnesség kapcsolata (1820)

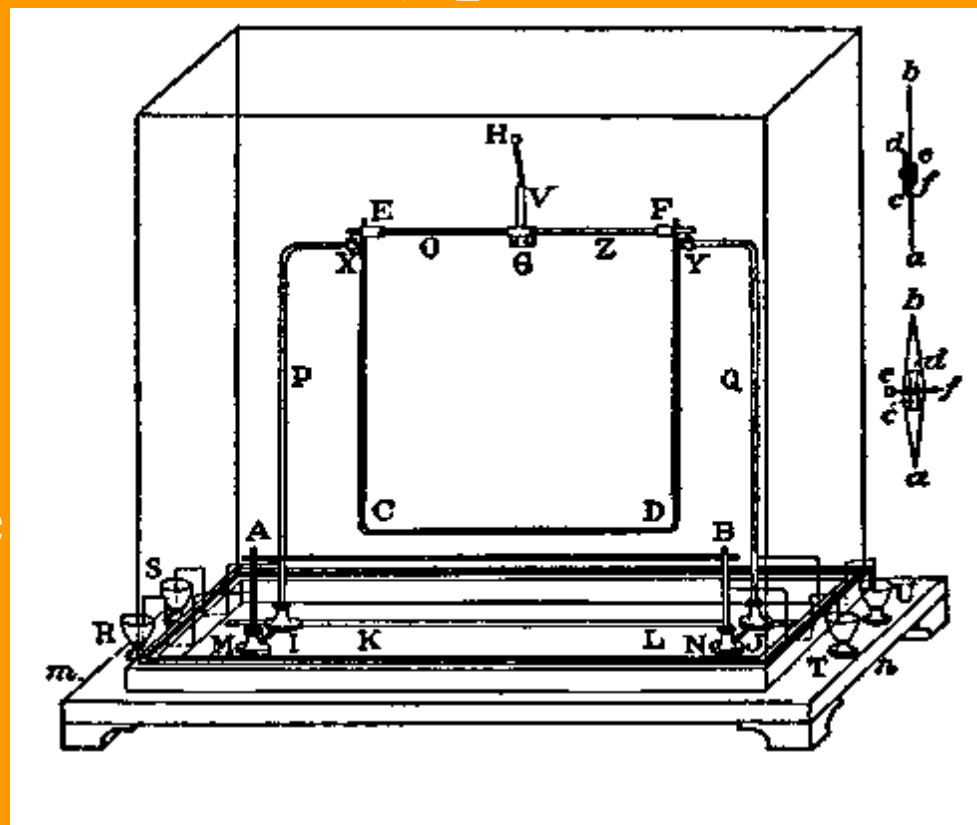


# André-Marie Ampère (1775-1836)

- csodagyerek
  - 13 évesen: *Enciklopédia* abc-rendben
  - 17 éves korára: Bernoulli, Euler, Lagrange
- tanulmányait apja halálakor megszakítja, magántanár
- 1803-tól tanít, játékelméleti könyv
- analitikus geometria, variációszámítás, parciális differenciálegyenletek, kémia (részecskedefiníciók), a fény hullámtermészete

- 1820: Ørsted után (1 héten belül) pontos és kiterjedt mérések

- két áram által átjárt drót közötti erőhatás
- az áram és a mágneses tér erőssége (Ampère-törvény)



- fogalmak tisztázása: elektromágnesség, elektrodinamika (és –ztatika), feszültség, áramerősség

- *Az elektrodinamika (1827)*

*Ampère: Théorie mathématique des  
phénomènes électro-dynamiques  
uniquement déduite de l'expérience  
(1827)*

- az alapkísérlet eredményére hivatkozva 4 zéró-kísérlet (visszafordított, meghajlított vezetőikkel, 2-3 áramkörrel)
- newtoni (Coulomb-féle) erőtvény az elemi áramokra
- az elektromágnes és a szolenoid alapján a mágnességet elemi köráramokkal értelmezi

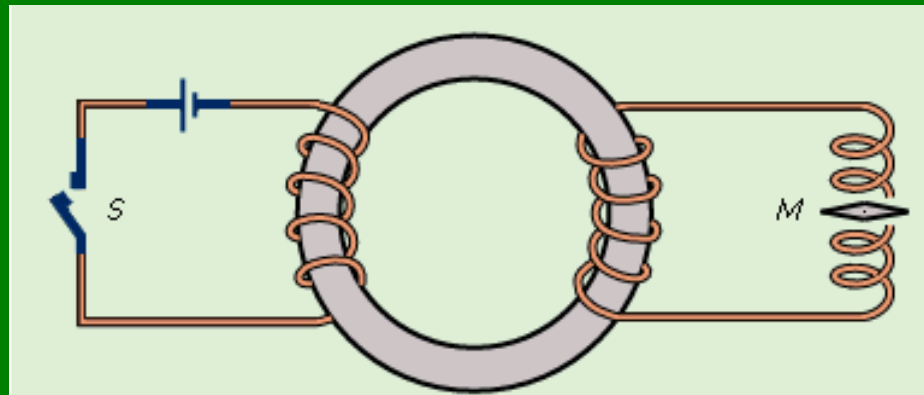
# Michael Faraday (1791-1867)

- vasárnapi iskola
- 13 éves korától könyvkötő-inas
- a Davy-történet
- 1814-5 európai körút
- 1820-tól kísérleti vizsgálatok döntően az elektromosság területén
- a mágnesség: örvénylés
  - higanyban szabadon mozgó vezető körforgása

- kémiai felfedezések
- 1831-54 elektromos kísérletsorozat eredményei a Royal Societyben és a *Philosophical Transactions*ban
- 1831 indukció
- *Az elektromosság kísérleti vizsgálata* (1839-55)
- 1843 az elektromos töltés megmaradása
- 1845 a fény polarizációs síkjának elforgatása mágneses térrel

# Faraday: *Experimental Researches in Electricity*

- 3340 pont (kísérlet)
- 1. sorozat: az akusztikus indukció analógiájára elektromágneses indukció



- 2. sorozat: elektromos generátor és elektromotor
- 3. sorozat: Volta-elem=indukció=generátor=  
=termoelem=elektromosság
- 5-7. sorozat: folyadékba vezetett áram
  - az elektrolízis alaptörvényei
  - elektrokémia
- 9. sorozat: önindukció
- 11. sorozat: a vezetés a felületen történik
  - Faraday-kalitka (4 m-es kockába költözött)

- új fogalmak elterjesztése: elektród, anód, katód, ion, elektrolit, elektrolízis
- elméleti feltevések (a vasreszelék és Schelling nyomán)
  - mágneses erővonalak
  - közvetítő közeg (mező/tér) az elektromosság, mágnesesség, fény számára
- → erős mágnesek alkalmazása
  - a fény polarizációs síkjának elforgatása
  - para- és diamágnesesség



- Az átfogó elmélet kidolgozása

- Maxwell

- axiomatikus elektrodinamikai elmélet

- (1) a Coulomb-erőnek megfelelő elektromos tér elektromos töltésből származik

- $$\operatorname{div} D = \rho;$$

- (2) nincsenek elszigetelt mágneses pólusok, a mágnes pólusai között a Coulomb-erő hat

- $$\operatorname{div} B = 0;$$

- (3) változó mágneses terek elektromos tereket hoznak létre

- $$\operatorname{rot} E = - \partial B / \partial t;$$

- (4) változó elektromos terek és áramok mágneses tereket hoznak létre

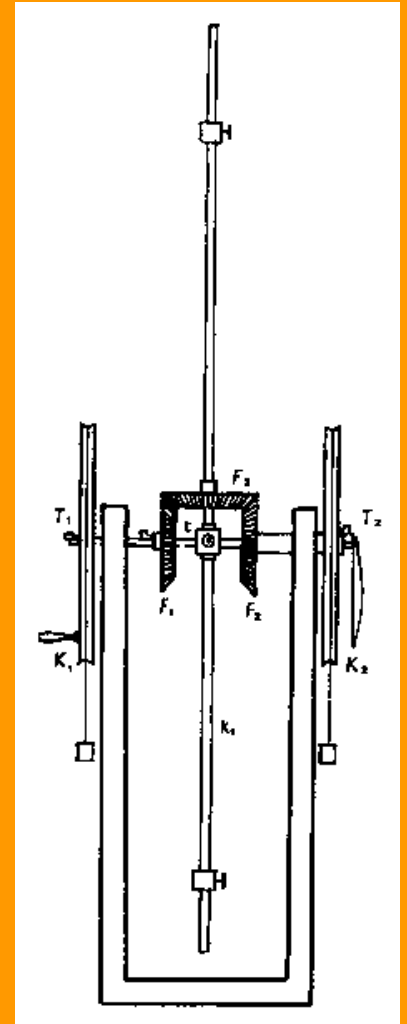
- $$\operatorname{rot} H = \partial D / \partial t + J.$$

# James Clerk Maxwell (1831-1879)

- 14 évesen cikk az oválisokról és mechanikai szerkesztésükről
- 16 éves korától egyetemi tanulmányok (matematika, fizika, logika)
- 1854-ben diploma matematikából
- 1855 az erővonal fogalmának matematizálása
- 1856-tól fizika professzor
  - a Szaturnusz-gyűrű problémájának megoldása

- 1860-tól kísérleti munka is
  - színérzékelés
    - színtárcsa
    - színes fényképezés
  - kinetikus gázelmélet
- 1862-ben kiszámítja, hogy az elektromágneses tér terjedése  $\approx$  fény sebessége  $\rightarrow$  a fény elektromágneses jelenség
- 1864 – a Maxwell-egyenletek első formája

- 1866: Maxwell-Boltzmann eloszlás
  - a hő statisztikus molekuláris mozgás
- 1870-től: megtervezi és felépíti a Cavendish-laboratóriumot
- *Hőelmélet* (1871)
- a közelhatás feltételezése
  - Fourier/Ohm
  - Faraday erővonalai
  - fogaskerék-modellek
- *Értekezés az elektromosságról és mágnességről* (1873)<sup>személy</sup>



# Maxwell: *A Treatise on Electricity and Magnetism* (1873)

- bevezetés: fizikai és matematikai alapok
  - fizikai mennyiségek
  - dimenziók
  - mérések
  - matematikai ábrázolás (a Laplace-operátorig)

- elektrosztatika
  - története
  - korábbi elméletei (folyadék-modellek)
  - korszerű kifejtése
  - elektrosztatikai eszközök
- elektrokinematika
  - az elektromos áram felfedezése
  - az Ohm-törvény
  - elektrolitikus jelenségek
  - vezetési tulajdonságok stb.

- mágnesesség
  - elemi mágneses jelenségek
  - elméleti megközelítések
  - a Föld mágnesessége

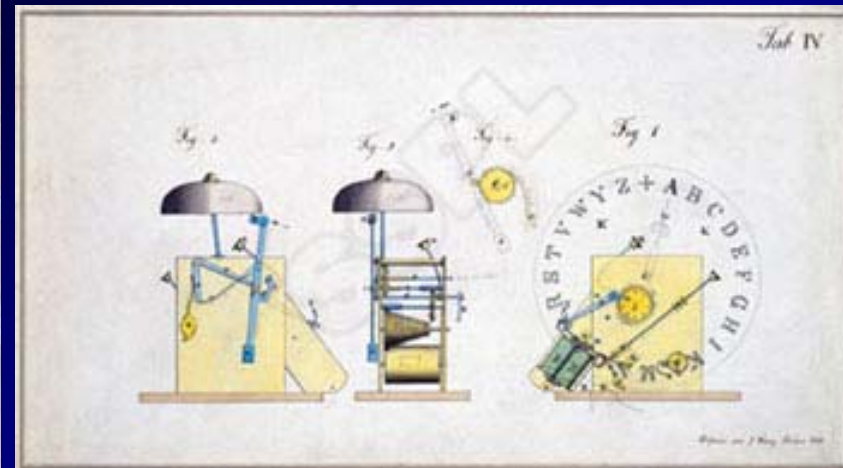
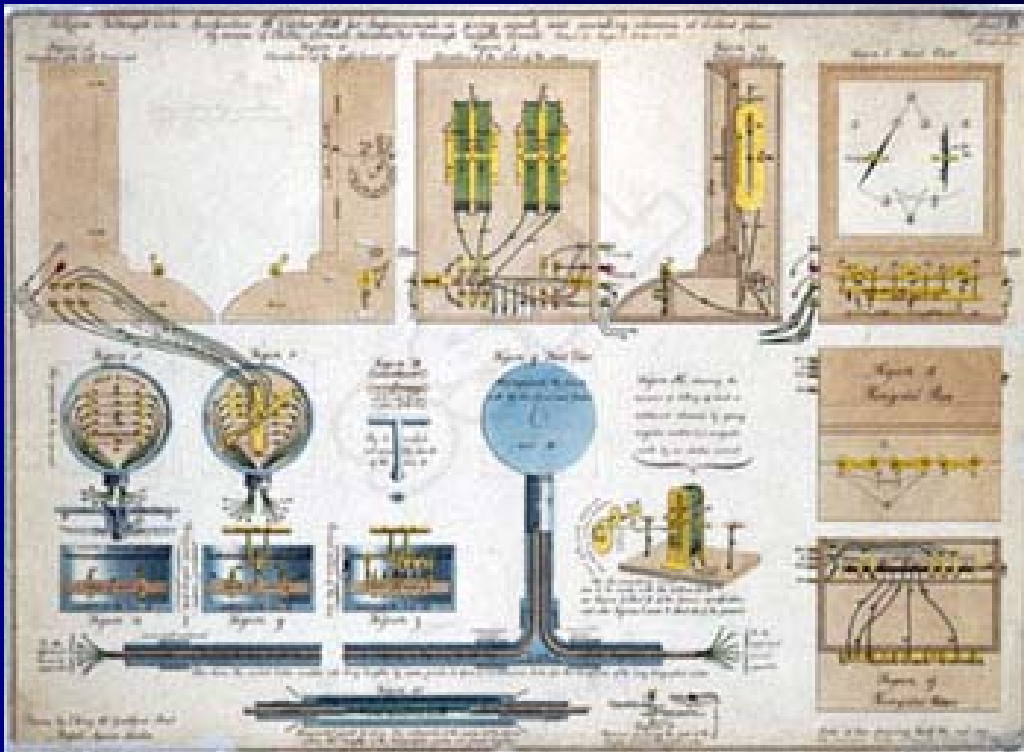
- elektromágnesség
  - Ørsted, Ampère, Faraday eredményei
  - Lagrange-Hamilton formalizmus
  - az elmélet 12 egyenlete
  - az elmélet újratárgyalása (az energia, mértékegységek stb. szempontjából)
  - az elmélet alkalmazásai (pl. eszközökre)
  - a fény elektromágneses elmélete
  - a távolhatást tartalmazó elméletek kritikája – az éter



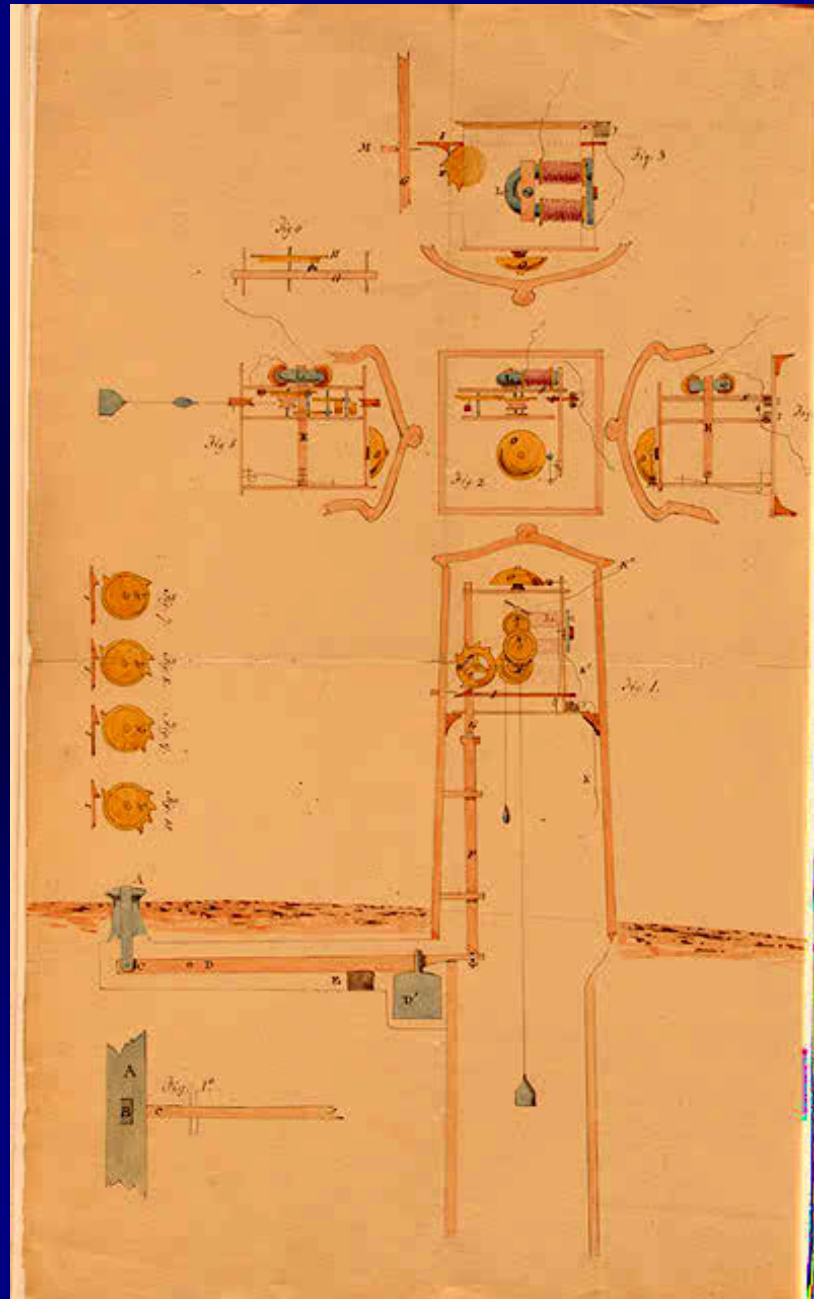
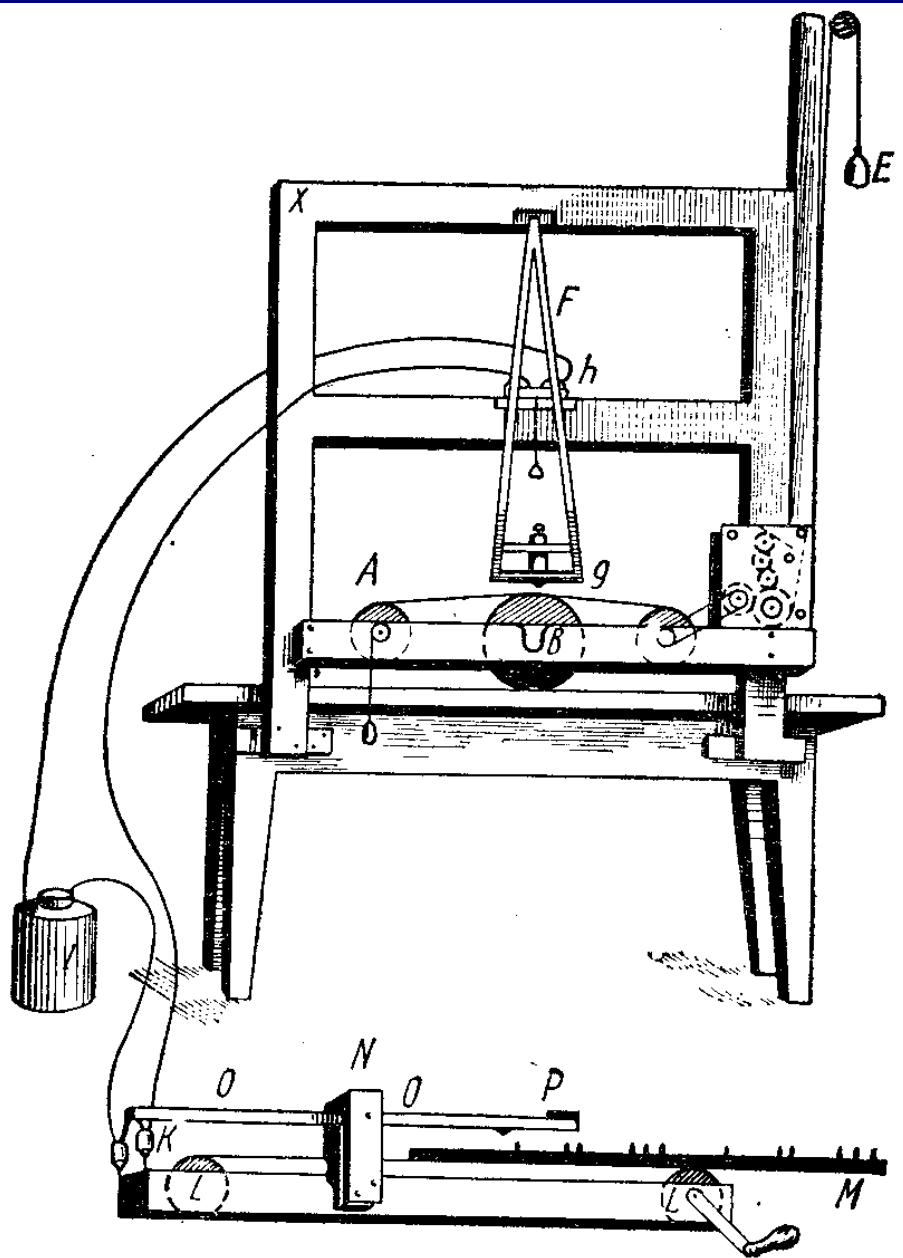
# • Gyakorlati következmények

## – elektromágneses távíró

- Wilhelm Eduard Weber (1804-1891)-  
Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) – 1833
- William Fothergill Cook (1806-1879)-  
Charles Wheatston (1802-1875) – 1837



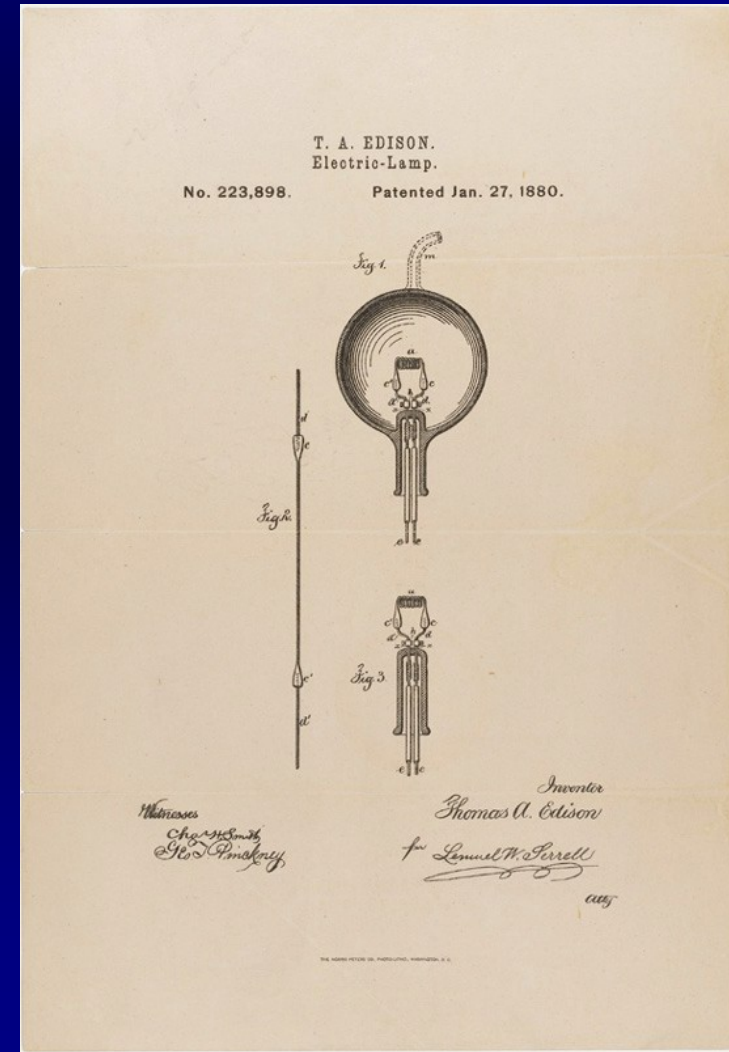
• Samuel Finley Breese Morse (1791-1872) – 1837



- transzatlanti kábel (1866), duplex, quadruplex (1874), időosztásos multiplex, telex
- telefon (1876), számítógéphálózat (fax és e-mail)

– elektromos világítás

- Thomas Alva Edison (1847-1931)
  - villanykörte és hálózat (1878)



## – az elektromosság szerepe mai életünkben

- a nagy New York-i áramszünetek

- 1965. nov. 9. 17:15-től ÉK-en – egy hibásan beállított kanadai relé miatt – 12 perc alatt 30 millió ember maradt áram nélkül kb. 12 órára

- » világítás (az utcai és közlekedési lámpák is)

- » kommunikáció (bár a tranzisztoros eszközök és a saját generátorral rendelkező adók működtek)

- » háztartási eszközök (motorok, fűtés, hűtés)

- » víz és gázszolgáltatás

- » liftek

- » közlekedés: légi, vonat, metró: New Yorkban 6-800.000 utas rekedt a metróban (10%-uk még éjjélkor is ott volt, de kaptak kávé és enni)

- » ipari termelés



– 1977. júl. 13. 21:40-től New Yorkban – a kiterjedt villámlások miatt – 9 millió ember maradt áram nélkül 25 órára

» erőszak (3800 letartóztatás), bolti lopás (autókig bezárólag), gyújtogatás (1000 tüzeset)



- 2003. aug. 14. 16:15-től ÉK-en – talán programhiba miatt
- 50 millió ember maradt áram nélkül kb. 12 órára
  - » mobiltelefonok
  - » százezrek gyalogoltak haza a hidakon
  - » a buszok menetideje megduplázódott
  - » 2,5 órán át ürítették ki a metrót
  - » késő estig tartott az emberek kimentése a liftekből



– az elektromágneses hullámok előállítása és alkalmazásai

- Hertz

- rádiófrekvenciás hullámok (1885-1889)

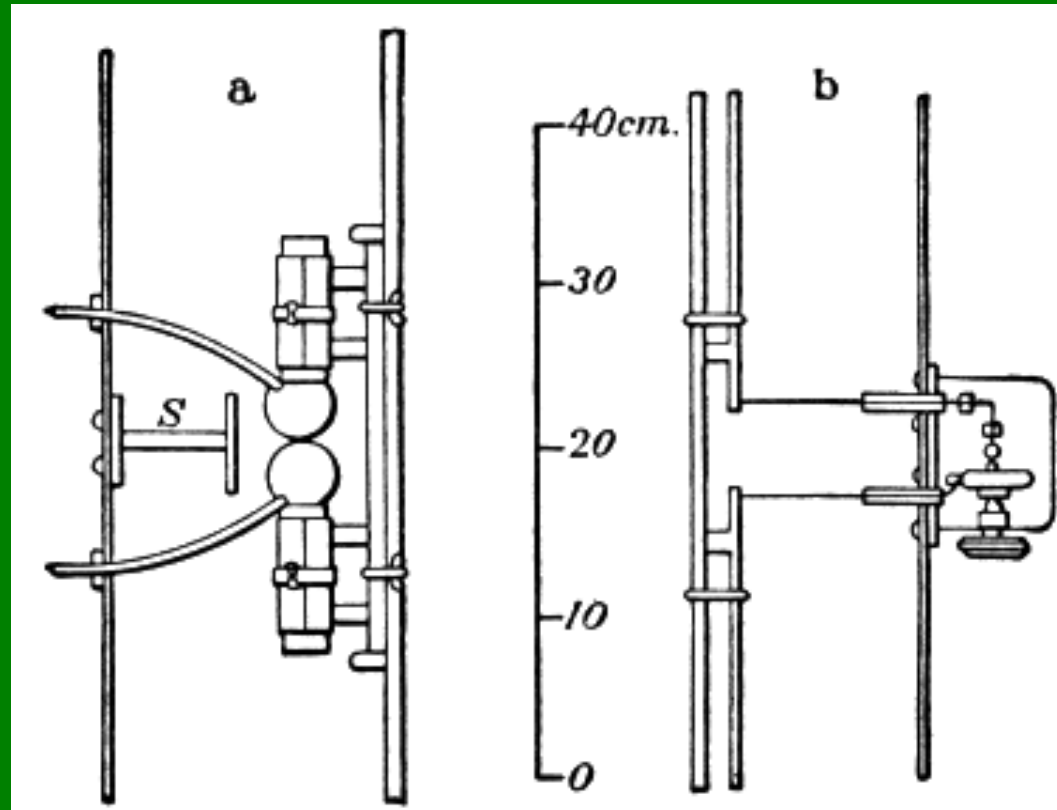
# Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)

- arab, szanszkrit tanulmányok, majd tudomány és technika
- 1880-ban doktorál
- mechanika, majd elektrodinamika
- 1885-1889: rádióhullámok
  - 1887: az ibolyántúli sugárzás ionizál → fényelektromos hatás
- katódsugárcsővek
  - 1892: a katódsugarak képesek áthatolni vékony fémfólián (hullámok?)<sup>személy</sup>

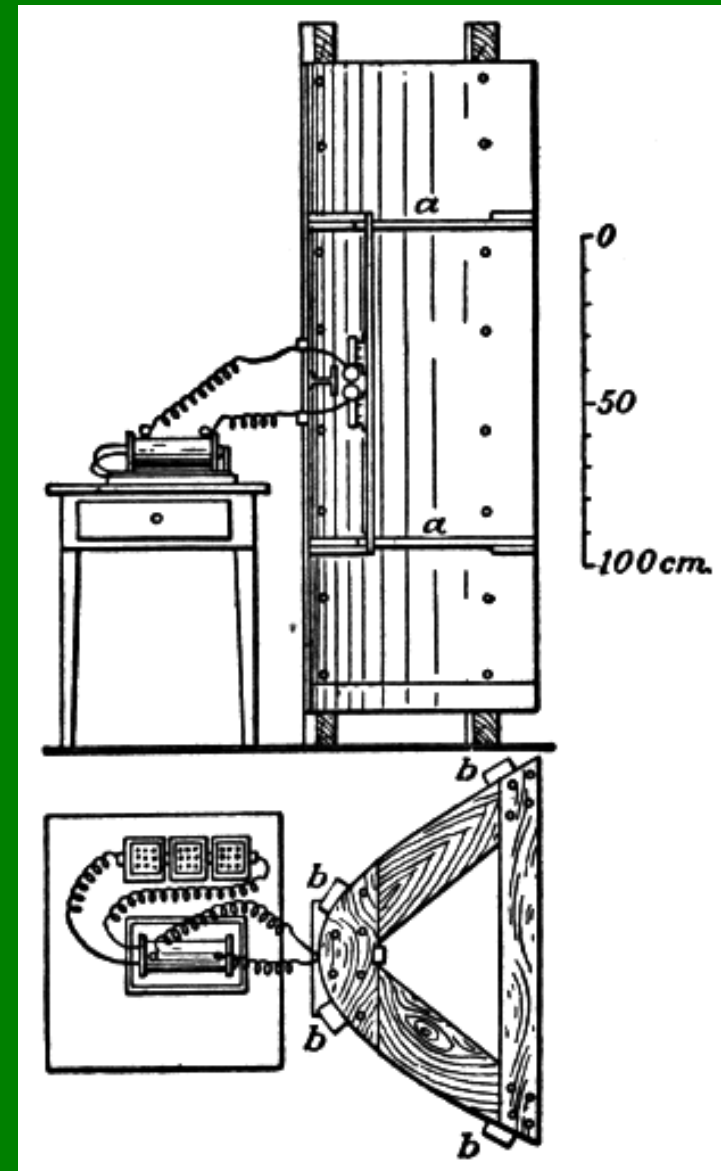


# Hertz: *Über Strahlen elektrischer Kraft* (1888)

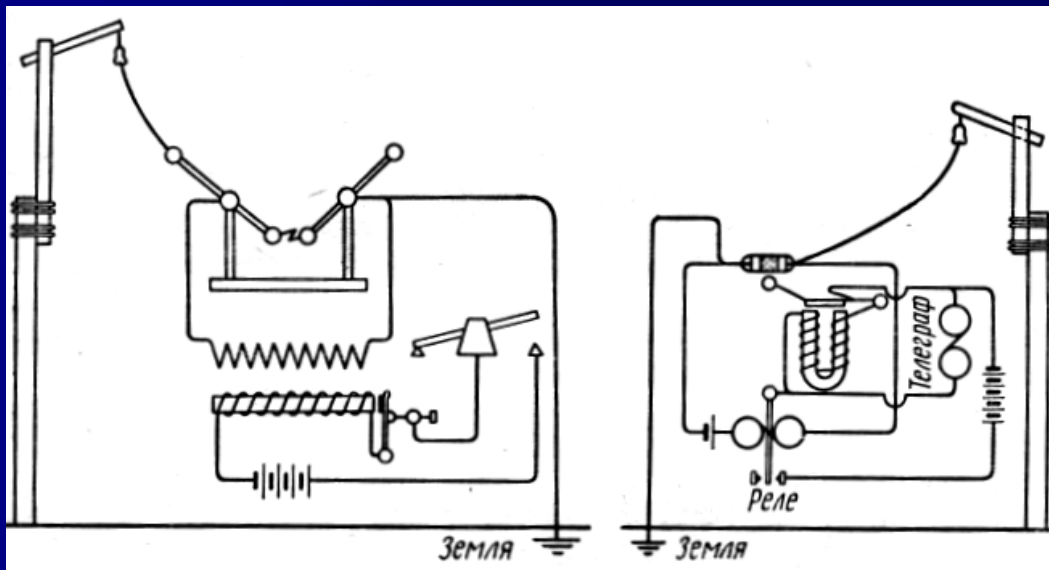
- fémhurok indukciós tekerccsel és szikraközzel: adó – vevő
- a szikra által létrehozott jelet max. 2 m-re egy gyenge szikra mutatta



- a berendezés mozgatásával a hullámhossz, egy forgó fémtükörrel a frekvencia (és ezek által a sebesség  $\approx c$ ) mérhető volt
- további kísérletekkel: egyenes vonalban terjed, visszaverődik, fókuszálható, megtörik



- Guglielmo Marconi (1874-1937)
  - transzatlanti forgalmazás (1901)
  - 10.000 km (1910) - kapcsolat a hajókkal
- Alekszandr Sztjepanovics Popov (1859-1906)



- hangátvitel (1906-15)
- rádiós műsorszórás (1920)
- TV (1923-)
- radar (1935)