

A fizika története

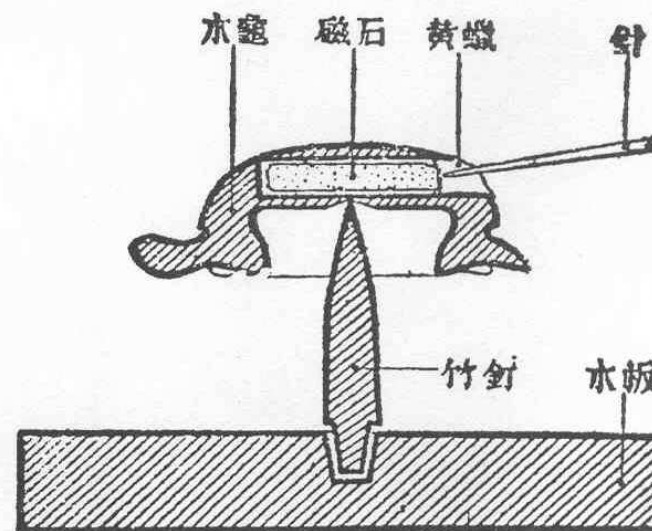
Elektromosság és mágnesesség

Ókori ismeretek

- THALÉSZ (IE 640–IE 546): fölfigyelt az elektromosság és a mágnesesség alapjelenségeire
 - ◆ a borostyánt (*élektron*) megdörzsölve az a könnyebb testeket magához vonzza
 - ◆ a mágnesvasérc (Fe_3O_4 , *é magnétisz líthosz* – „Magnézia városából való kő”) vonzza a vasat
 - ◆ THALÉSZ magyarázata: a vas és a mágnes lélekkel bír, „egyidejűleg próbálják egymás részecskéit belélegezni”
- PLATÓN: a mágnes közelébe kerülő vas maga is mágnes lesz
- SEVILLAI ISIDORUS (560/570–636): az ily módon indukált mágnesesség hosszú ideig fönnmarad

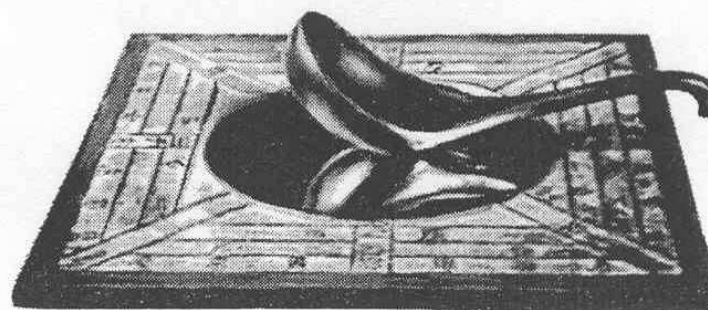
Az iránytű

- elődje: a jóskanál
- sírok leendő helyének megkeresésére: a kanál által kijelölt feliratok és ábrák alapján döntöttek a sír helyéről
- anyaga: jade vagy *magnetit*
- a magnetit kanál mindig észak-déli irányba áll be
- Európában a XIII. században terjedt el az iránytű



«事林广记»所描述的木刻指南龟
复原模型：纵剖面图。

a)



PETRUS PEREGRINUS

- eredeti neve: PIERRE DE MARICOURT (1250 körül)
- fölfedezte, hogy a mágnesnek két pólusa van, a különeműek vonzzák, az egyneműek taszítják egymást
- a széttördelt mágnes darabjai is mágnesek
- gömb alakúra faragott mágnesvasércel kísérletezett; vasreszelékkel és fémtűkkel határozta meg az erővonalak irányát
- az erővonalak két szembenálló pontban (a pólusokban) metszik egymást
- a vasérc a Föld mágnesességétől nyerik mágneses tulajdonságaikat
- iránytűt dolgozott ki
- mágneses elven működő örökmozgó ötletét vetette föl
- kortársai körében visszhang nélkül maradtak eredményei

WILLIAM GILBERT (1544–1603)

- *De Magnete, Magneticisque Corporibus et De Magno Magnete Tellure* (1600)
- összegzi a mágnesesség történetét; ostobaságnak nyilvánítja a mágnesességet övező hiedelmeket:
 - ◆ „a fokhagymával dörzsölt mágneskő nem vonzza a vasat”
 - ◆ „a gyémánt megszünteti a mágnesességet”
 - ◆ Galenus: gyógyító hatást tulajdonít a mágnesnek
 - ◆ „kézben tartva gyógyítja a lábfájást és a görcsöket”
 - ◆ „ékesszólóvá tesz, segít megnyerni a fejedelmek kegyét”
 - ◆ „éjjel megszűnik a mágnes ereje”
 - ◆ „egy bak vérével helyreállítható a mágnes ereje”
- Gilbert a Földet egy nagy mágnesnek tekinti ⇒ az iránytű elmélete
- kísérleti eszköze: gömb alakúra elkészített mágnes (*Terrella* – „kicsi Föld”)

WILLIAM GILBERT

Mágnesességgel kapcsolatos megfigyelések

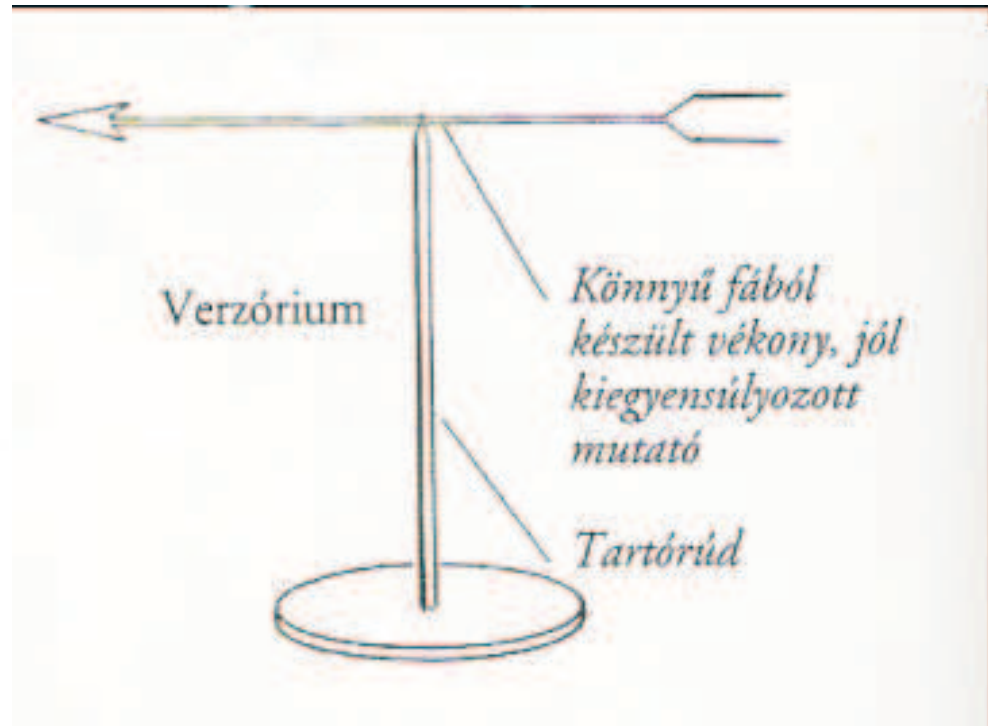
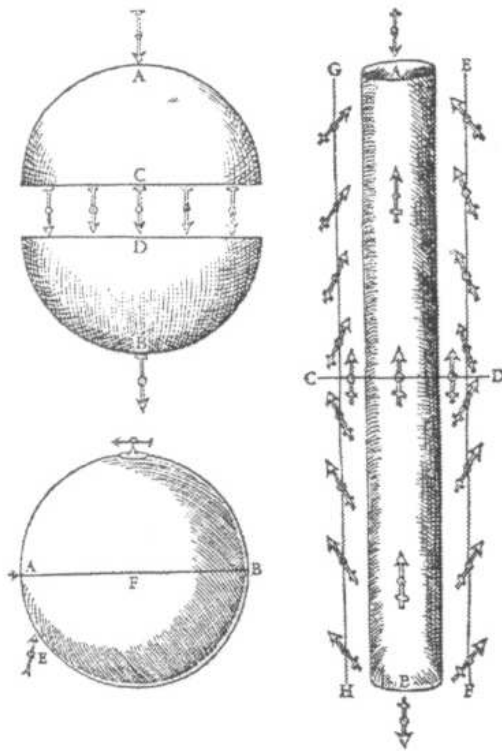
- megadja a pólusok közötti erőhatás jellegét, beszél mágneses vonzó- és taszítóerőről
- a két pólus nem választható el egymástól: kettétörve egy mágnest a felekből is kétpólusú mágnesek lesznek
- az acélrúd mágnessé válik, ha észak-déli irányba tartva ütögetjük
- izzítással a mágnesesség megszűnik
- ha az izzó acélrúd észak-déli irányba állítva hűl ki, mágneses lesz
- megállapítja a mágnestű vízszinteshez képesti elhajlását (*inklináció*), ez alapján a szélességi fok meghatározását lehetségesnek tartja

WILLIAM GILBERT

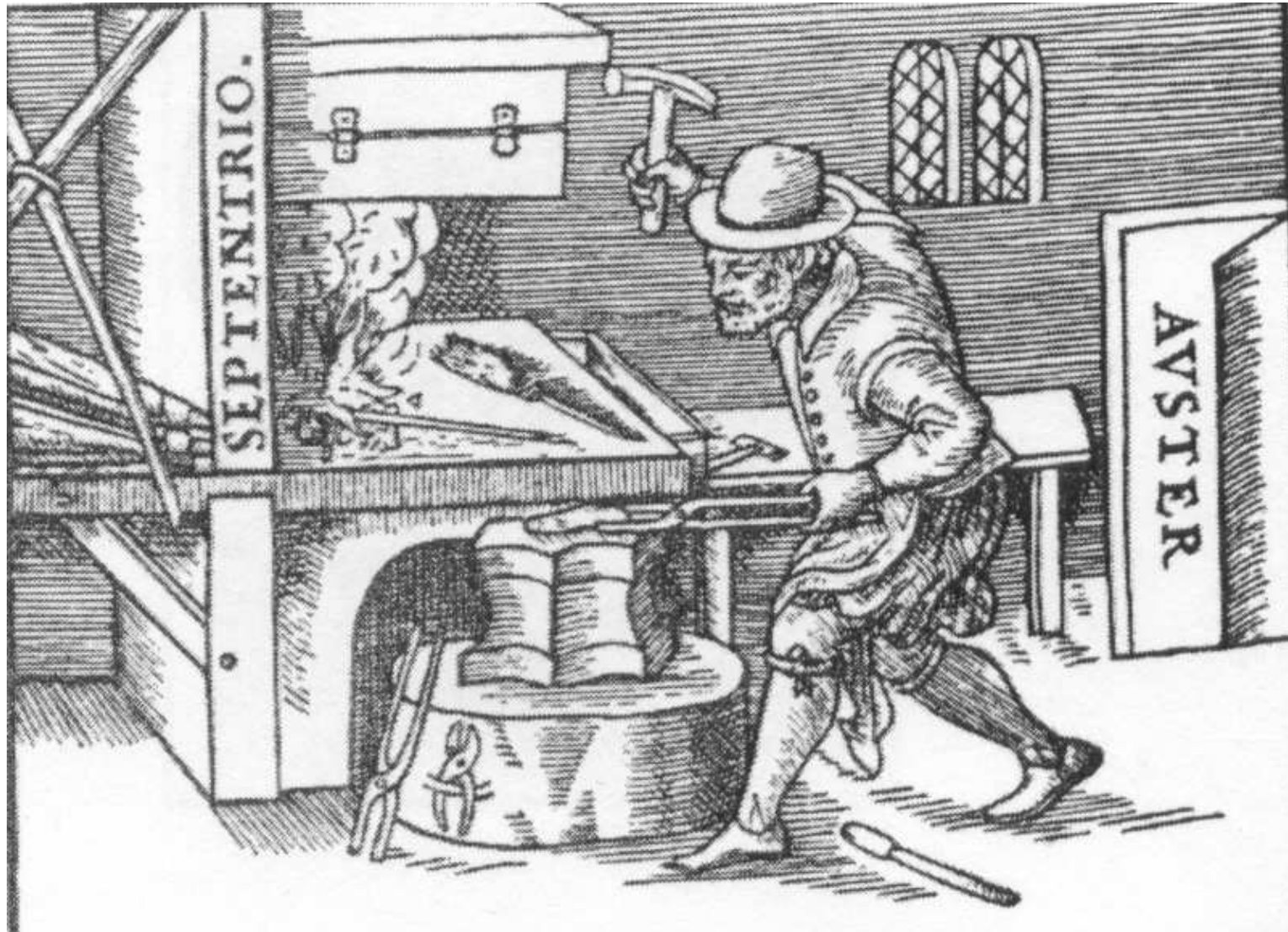
Elektromossággal kapcsolatos megfigyelések

- vannak a borostyánhoz hasonlóan dörzsöléssel elektromossá tehető anyagok: pl üveg, pecsétviasz, kén – ezeket *elektrikumoknak* nevezi
- elektromossá dörzsöléssel nem tehető anyagok: pl achát, márvány, csont, egyes fémek
- a hatóerőt elektromos erőnek (*vis electrica*) nevezte
- mérőeszköz a vis electrica mérésére: verzórium [*<* latin *vertere* „forgatni”]
- összehasonlítja az elektromosságot és a mágnesességet: az előbbi a vonzásban (*attractio*), az utóbbi elforgató hatásban (*verticitas*) jelentkezik
- az elektromos taszítás jelenségét nem ismeri
- elektromosságelmélete: dörzsöléskor kiáramlik a testekből valami, ezt *fluidumnak* nevezi

WILLIAM GILBERT

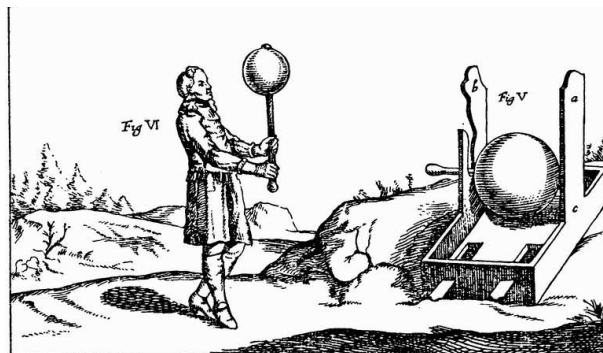


WILLIAM GILBERT



Dörzselektromos gépek

- OTTO GUERICKE: tengelyen forgó kengolyót tenyérrel dörzsölt (1672)
- HAUSEN: kengolyó helyett üveggolyó (1743)
- BOSE: selyemfonalra függesztett fémcső
- GORDON: üveggömb helyett henger
- GIESSLING: kéz helyett rögzített gyapjúpárna
- WILSON: szívófésű (1746)
- RAMSDEN: forgó üveghenger helyett korong (1776)
- MARUM: a legnagyobb elektromozó gép ⇒ VAN DE GRAAF
- jelentősége: kísérleti alap az elektrosztatika vizsgálatához



OTTO VON GUERICKE (1602–1686)

- a légnyomás kimutatása („magdeburgi féltekék”)
- a hang terjedéséhez levegő szükséges, a fény terjedéséhez nem
- megmutatta, hogy a gyertya légüres térben nem ég
- vízbarométert készített, fölfedezte a légnyomás és az időjárás közötti kapcsolatot
- dörzselektromos gépet szerkesztett
- megállapította, hogy *kétféle elektromosság létezik*
- *az egyneműen töltött elektromos testek taszítják egymást*
- *az elektromosság különböző anyagokkal elvezethető*
- elsőként figyelte meg az *elektromos megosztás* jelenségét

KEPLER és NEWTON

- JOHANNES KEPLER (1571–1630): azt föltételezte, hogy a bolygók mozgása a Nap mágneses hatására történik
- ISAAC NEWTON (1643–1727): többféle lehetőséget vett fontolóra az elektromos és mágneses erők jellemzésére
 - ◆ az elektromossá tett test valamiféle fluidummal (*effluvium*) tölti meg maga körül a teret
 - ◆ az elektromos és mágneses erők is távolbahatás alapján működnek
- NEWTON fölvetette, hogy igen kis távolságra az anyag részei dörzsölés nélkül előálló elektromos erőkön keresztül hatnak egymásra

BOYLE és HAWKSBEЕ

- SIR ROBERT BOYLE (1627–1691)
 - ◆ a megdörzsölt pálca elektromos hatása nagyobb, ha tovább dörzsöli
 - ◆ tökéletesítvén a Guericke-féle légszivattyút, megmutatta, hogy az elektromos hatás vákuumban is tapasztalható
 - ◆ megmutatta, hogy egy dörzsöléssel elektromos állapotba hozott test és egy dörzsöletlen test között *kölcsönös a vonzás*
- FRANCIS HAWKSBEЕ (1670?–1713?)
 - ◆ Newton munkatársa
 - ◆ kimutatta, hogy az elektromosság a felületen oszlik el
 - ◆ szurkot és csokoládét megolvasztott, kihűlve elektromos tulajdonságokat mutattak

STEPHEN GRAY (1666?–1736)

- egyszerű eszközök: megdörzsölt üveghenger
- egyes anyagok, amelyeket addig nem elektromos anyagoknak neveztek, vezetik az elektromosságot
- fölvetette, hogy az elektromos hatás terjedése alapján jeleket is lehetne továbbítani (→ távíró)
- észrevette a vezetők és a szigetelők közötti különbséget, bár ő azokat az anyagokat nevezte vezetőnek, amelyeket dörzsöléssel elektromossá lehet tenni
- tanítványa, JEAN THÉOPHILE DESAGULIERS (1683–1744) vezette be a vezetőkre és a szigetelőkre a ma használatos fölosztást
- a nem elektromos anyagok szigetelőn fölfüggesztve vagy alátámasztva elektromos állapotba hozhatók
- a vezetőknél az elektromosság a felületen helyezkedik el

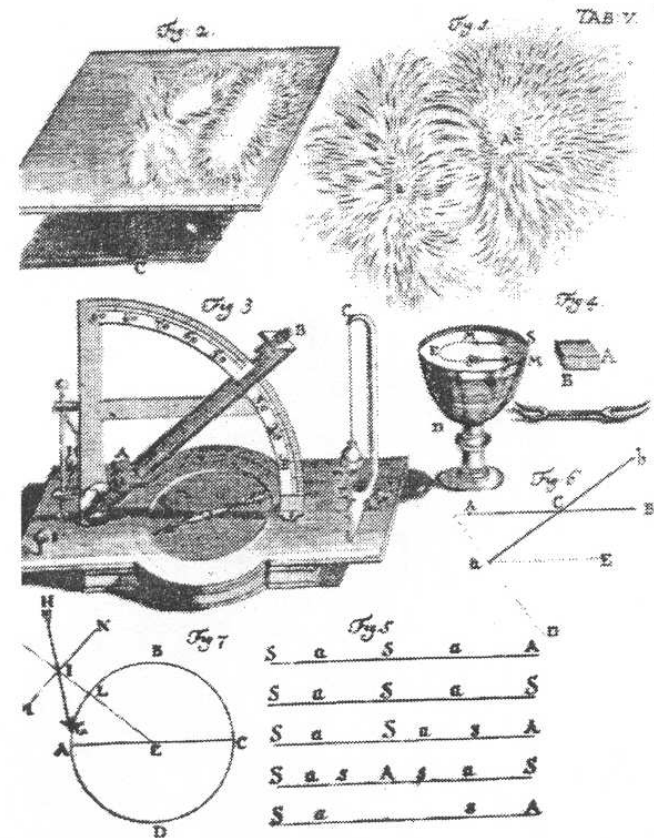
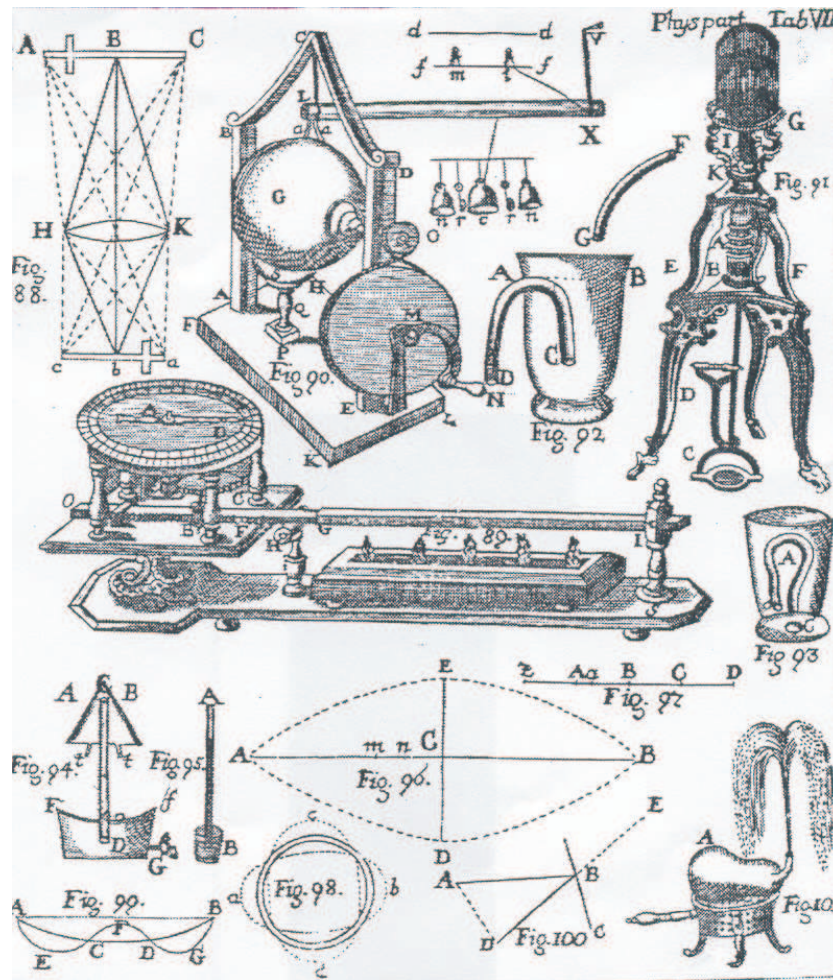
DUFAY és NOLLET

- CHARLES FRANÇOIS DE CISTERNEY DUFAY (1698–1739)
 - ◆ eddig azt tudták, hogy a megdörzsölt test a környező testeket vonzza, majd velük érintkezvén eltaszítja; a megdörzsölt testek egymást taszítják
 - ◆ DUFAY: megdörzsölt üvegdarab és megdörzsölt gyanta taszítja egymást ⇒ kétféle elektromosság: üvegelektromosság (*electricité vitreuse*) és gyantaelektromosság (*electricité resineuse*)
 - ◆ a testek mindkétféle elektromos állapottal fölruházhatók
- JEAN ANTOINE NOLLET (1700–1770)
 - ◆ egy elektromos folyadék helyett kettő (kétfolyadék-elmélet): *effluvium* és *affluvium*
 - ◆ ezek a folyadékok körülveszik az elektromos testet

A leideni palack

- EWALD VON KLEIST (1745) és PIETER VAN MUSSCHENBROEK (1746) fedezte föl egymástól függetlenül
- korábbi megfigyelés: egy levegőben szigetelten elhelyezett, elektromos állapotba hozott majd magára hagyott vezető elektromos állapotát idővel elveszti
- MUSSCHENBROEK ezt akarta megakadályozni: üvegpalackba zárt vízbe helyezett fémszálat hozott elektromos állapotba dörzselektromos géppel
- a palackot az egyik kezében fogta; amikor hozzáért a vezetőrendszerhez, erőteljes áramütés érte
- MUSSCHENBROEK ijedelmét kigúnyolván később JOSEPH PRIESTLEY így ír: *„De nem adatik meg minden elektromossággal foglalkozó tudósnak, hogy olyan dicsőséges módon haljon meg, mint a méltán irigyelt Richman.”* (RICHMAN 1753-ban kísérlete közben halálos áramütést kapott)
- a leideni palackkal lehetővé vált az elektromosság összegyűjtése és tárolása → kondenzátor

Elektrosztatikai eszközök



BENJAMIN FRANKLIN (1706–1760)



BENJAMIN FRANKLIN

- igazolta a villám és az elektromos szikra azonosságát, fölfedezte a villámhárító elvét
- viharos időben fémcsúccsal ellátott papírsárkánnyal levezette a villám elektromosságát és föltöltött vele egy leideni palackot
- fölismerte a csúcshatás jelenségét
- elektromosság segítségével megváltoztatta a mágnesek polaritását
- bevezette az *elektromos töltés* fogalmát
- elsőként használta a pozitív és negatív jelzőket az elektromosságra
- egyetlen töltésfajtát tételezett föl, az üvegelektromosságot (egyfolyadék-elmélet)
- üvegelektromosság (+) = a töltés többlete; gyantaelektromosság (-) = a töltés hiánya
- az elektromos erők magyarázata: a töltés önmagát taszítja, az anyagot vonzza
- a töltés dörzsöléskor nem keletkezik, csak szétválasztódik

BENJAMIN FRANKLIN

„Magától értetődőnek tartjuk ezeket az igazságokat: hogy minden ember egyenlőnek teremtett, hogy teremtője olyan elidegeníthetetlen jogokkal ruházta fel az embert, amelyekről le nem mondhat, s ezek közé tartozik a jog az élethez és a szabadsághoz, valamint a jog a boldogságra való törekvéshez. Ezeknek a jogoknak a biztosítására az emberek kormányzatokat létesítenek, amelyeknek törvényes hatalma a kormányozottak beleegyezésén nyugszik. Ha bármikor, bármely kormányforma alkalmatlanná válik e célok megvalósítására, a nép joga, hogy az ilyen kormányzatot megváltoztassa vagy eltörölje, és új kormányzatot létesítsen.”

Részlet a Függetlenségi Nyilatkozatból

BENJAMIN FRANKLIN egyike volt a *Függetlenségi Nyilatkozat* megszövegezőinek (a fő szerző Thomas Jefferson), fontos diplomáciai szerepet játszott az amerikai gyarmatok függetlenségi törekvéseiben

Egyfolyadék- és kétfolyadék-elmélet

- az elektromos jelenségeket egy vagy két folyadék föltételezésével magyarázzák
- az egyfolyadékos elmélet előnye: automatikusan következik belőle a töltésmegmaradás – a visszamaradó hiány szükségszerűen megegyezik az elvitt töltéssel
- a kétfolyadékos elmélet előnye: egyszerűbb kifejezni vele az erőhatást – mindkét töltéssel arányos az erő, tehát a szorzatukkal is, $F \propto Q_1 Q_2$
- az egyfolyadékos elméletben az erőhatás meghatározásához figyelembe kell venni a többlettöltések közötti taszítást, a töltés és az anyag közötti vonzást, és az anyag és anyag közötti taszítást
- a két megközelítés ekvivalens eredményt ad; ha E jelöli az egyfolyadékos, Q a kétfolyadékos töltést, és M az egyfolyadékos elmélet szerint a semlegességhez szükséges anyagmennyiség, akkor

$$Q_1 = E_1 - M_1, \text{ illetve } Q_2 = E_2 - M_2$$

$$Q_1 Q_2 = (E_1 - M_1)(E_2 - M_2) = E_1 E_2 - E_1 M_2 - E_2 M_1 + M_1 M_2$$

Kvantitatív elektrosztatika

JOSEPH PRIESTLEY (1733–1804)

- könyvet ír az elektrosztatika történetéről (*The history and present state of electricity, with original experiments*, 1767)
- az oxigén egyik fölfedezője
- a fémek vezetőképessége eltér egymástól
- az elektrosztatikus erő $1/r^2$ -es távolságfüggése \Leftarrow a töltés a vezetők felületén oszlik el, másrészt az üreges vezetők belsejében nem észlelhető elektromos erő; a felületi töltéselemek csak ilyen távolságfüggés esetén rontják le egymás hatását a vezető belsejében

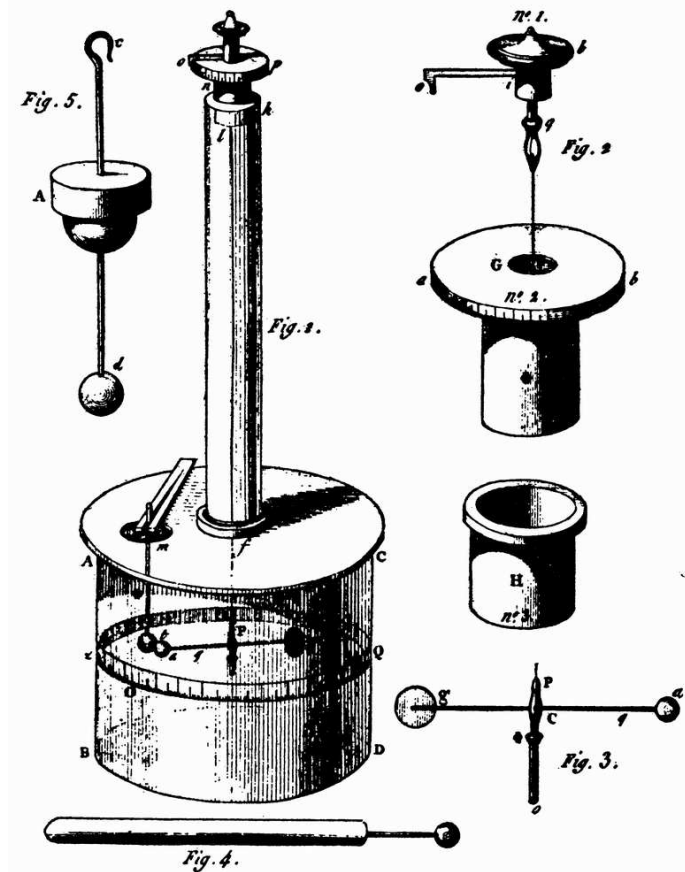
Kvantitatív elektrosztatika

HENRY CAVENDISH (1731–1810)

- a hidrogén fölfedezője
- torziós mérleggel mutatta ki a tömegvonzást
- a leideni palackhoz különböző anyagokkal nyúlva az áramütés érzetéből következtetett a vezetőképességre, meglepően jól eltalálta a tengervíz és a vas vezetőképességének arányát (kb $1 : 4 \cdot 10^6$)
- a vezető töltésbefogadó képessége megváltozik, ha szigetelővel vesszük körül
- igazolta, hogy az üreges vezető belsejében nincs elektrosztatikus erő, ez alapján az erő távolságfüggését $1/r^{2+\epsilon}$ alakban vizsgálva $|\epsilon| < 1/50$ eredményre jutott

Kvantitatív elektrosztatika

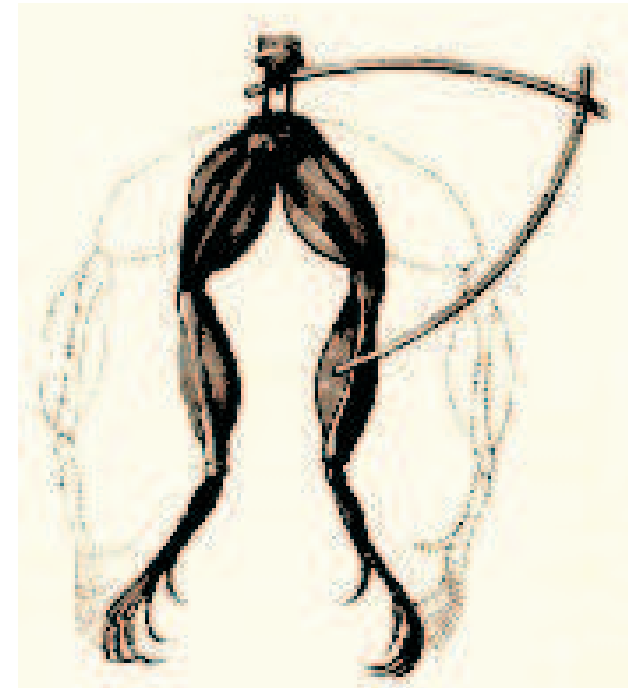
- CHARLES AUGUSTE DE COULOMB (1736–1806)
 - ◆ torziós mérleget szerkeszt
 - ◆ egy torziós szál adott szöggel való elfordításához szükséges nyomaték egyenesen arányos a szál átmérőjének negyedik hatványával és fordítottan arányos a szál hosszával
 - ◆ a torziós mérleg segítségével fölfedezi az elektrosztatika erőtvényét
 - ◆ leszögezte: *az elektromos és a mágneses erő távolba ható erő*
- az elektrosztatika mai formája: KARL FRIEDRICH GAUSS (1777–1855) és GEORGE GREEN (1793–1841) munkája



Elektromos áram

LUIGI GALVANI (1737–1798)

- kipreparált békacomb rángatózott, amikor valaki a dörzselektromos gép működtetésével egyidőben nyúlt szikével hozzá (elektromágneses hullámok?)
- Galvani: a rézhoroggal vasrácsra függesztett békacomb akkor is összerándul, amikor a vasrácshoz ütődik
- következtetése: az idegeket és izmokat ellentétes elektromosság tölti föl, ennek kisülése okoz összerándulást („állati elektromosság”)



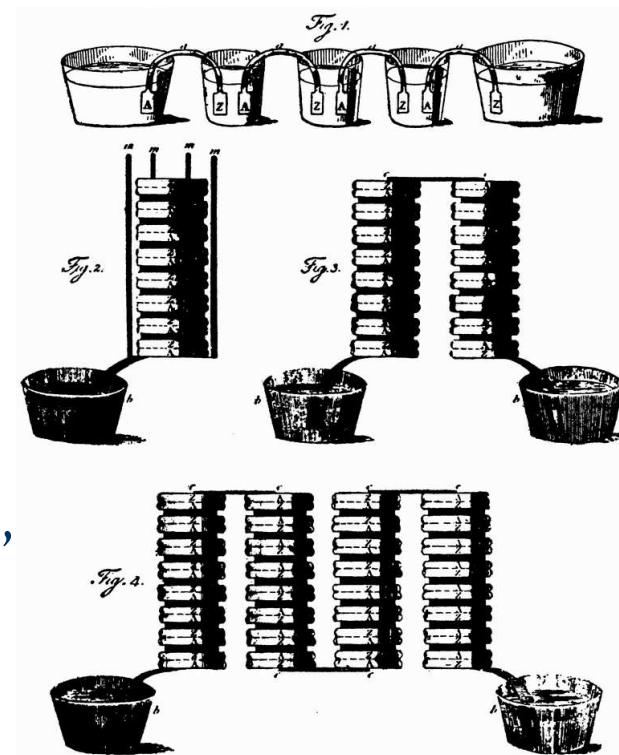
Elektromos áram: VOLTA

- JOHANN GEORG SULZER (1720–1779): ha két különböző fémet egyik végén összekötünk, majd egyiket a nyelvünkhöz érintjük, a fémek minőségétől függően savas vagy lúgos ízt érzünk (1754)
- ALESSANDRO VOLTA (1745–1827)
 - ◆ eleinte elfogadja GALVANI következtetését (a békacomb a jelenség kulcsa)
 - ◆ SULZER nyomán rájön, hogy GALVANI kísérletében a békacomb csak jelezte az elektromos hatást, *a lényeg a két különböző fém érintkezésében van*
 - ◆ azonos fémeket használva nem is kapunk rángatózást
 - ◆ két különböző fémet összeérintve majd szétválasztva azok föltöltődést mutatnak (mai magyarázat: a *kontaktpotenciál*)
 - ◆ különböző fémek összehasonlítása: Volta-féle feszültségi sor

Elektromos áram: VOLTA

ALESSANDRO VOLTA (1745–1827)

- Volta-oszlop (1800): a hatás erősíthető több réteg egymásra helyezésével
- azt gondolta, hogy a létrejövő áram akármeddig keringhet (a mechanikai örökmozgót már lehetetlennek tartották, de az elektromos fluidumokra nem terjesztették ki)
- definiálta az áramerősséget (1801), bevezette a „stacionárius áram” elnevezést
- megfogalmazta az Ohm-törvényt (1802), csak nem lehetett kísérletileg ellenőrizni egyenletes áramforrás hiányában



Elektrolízis

- SIR HUMPHRY DAVY (1778–1829)
 - ◆ többek között a kálium és a nátrium fölfedezője (1807)
 - ◆ megfigyelte, hogy az árammal szemben a vezetődrót ellenállást tanúsít, ez az ellenállás a vezető hosszával egyenesen, keresztmetszetével fordítottan arányos (1821)
 - ◆ az elektrolízisben kiváló anyagok mennyiségi mérése
 - ◆ „DAVY legnagyobb felfedezése FARADAY”
- MICHAEL FARADAY (1791–1867)
 - ◆ az elektrolízis során az elektródokon kiváló anyag tömege egyenesen arányos az elektroliton áthaladó elektromos töltésmennyiséggel
 - ◆ az elektródokon kiváló anyag tömege egyenesen arányos az anyag moláris tömegének és az ion töltésszámának hányadosával

Ohm-törvény, hálózatok, távíró

- THOMAS JOHANN SEEBECK (1770–1831): a termoelektromos jelenség fölfedezése (1821) → állandó feszültségű áramforrás állt rendelkezésre
- GEORG SIMON OHM (1787–1854): méréssel is igazolta a feszültség és az áramerősség közti arányosságot (Ohm-törvény, 1826-1827); az ellenállás a hosszal egyenesen, a keresztmetszettel fordítottan arányos
- GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF (1824–1887): az Ohm-törvény kiterjesztése hálózatokra: csomóponti- és huroktörvény (1845)
- CHARLES PROTEUS STEINMETZ (1865–1923): a váltóáramú hálózatok komplex impedanciákkal való kezelésének alapjai
- távíró: SÖMMERING (1809), SILLING próbálkozásai; GAUSS és WEBER távírója két évig működött (1835–1837); gyakorlatban elterjedt MORSE berendezése (1840)

Az áram mágneses hatásai

- COULOMB nyomán az elektromos és mágneses hatásokat teljesen különállónak gondolták
- példa a kapcsolatra: a villámcsapás közelében lévő acéltárgyak mágnesessé váltak
- romantika: a természet egységesebb és dinamikusabb szemléletmódja → SCHELLING természetfilozófiája: az összes természeti jelenség egy ősprincípiumra visszavezethető
- HANS CHRISTIAN OERSTED (1777–1851): az áramjárta vezető környezetében a mágnesű kitér (1819-1820)
- JEAN BAPTISTE BIOT (1774–1862) és FELIX SAVART (1791–1841): kvantitatív összefüggések a vezetőben folyó áram által a tér egy pontjában létrehozott hatásra (1820); mágnesű lengésidejéből következtettek a mágneses hatás erősségére; LAPLACE segített matematikai formába önteni

BIOT és GAY-LUSSAC magassági mérései

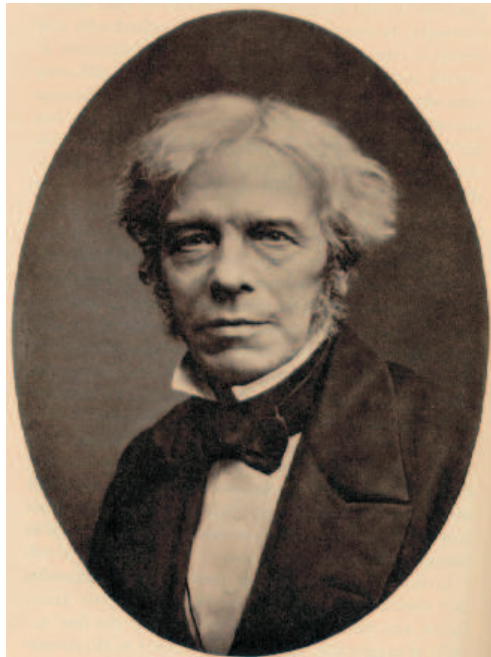
- BIOT és LOUIS JOSEPH GAY-LUSSAC (1778–1850) ballonban 2000 méter fölé emelkedve vizsgálták a Föld mágneses terének a magassággal történő változását
- nem tapasztaltak érdemi változást
- GAY-LUSSAC egymaga 7000 méter fölé emelkedett



ANDRÉ MARIE AMPÈRE (1775–1836)

- MAXWELL szerint az elektrodinamika NEWTONja
- elhatárolja az elektrosztatikát az elektrodinamikától (utóbbi az ő elnevezése)
- kísérletileg megállapította az áramok egymásra hatását (1820), és kidolgozta ennek matematikai formáját is; az áramelemek közötti erő:
 - ◆ egyenesen arányos a rajtuk átfolyó áramerősségekkel
 - ◆ fordítottan arányos az áramelemek közötti távolság négyzetével
 - ◆ függ az áramelemek által bezárt szögtől
- az anyagok mágneses tulajdonságainak mikroszkópai magyarázata: egy áramhurok és egy igen lapos mágnes azonos mágneses hatásokat mutat \Rightarrow az anyag mágnesezettsége elemi köráramokra vezethető vissza, ezen köráramok irányítottságától függ
- az elektromos áram és az általa keltett mágneses tér közötti összefüggés (Ampère-féle gerjesztési törvény)

MICHAEL FARADAY (1791–1867)



- indukciós törvény (1831)
- az elektrolízis törvényei
- foglalkozott a dielektrikumokkal (tőle az elnevezés); bevezette a dielektromos állandó fogalmát és mérési módszerét
- osztályozta az anyagokat dia- és paramágneses anyagokra
- Faraday-forgatás: bizonyos anyagok mágneses térbe helyezve a rajtuk áthaladó poláros fény polarizációs síkját elforgatják
- sikertelenül próbált összefüggést keresni az elektromágneses jelenségek és a gravitáció között

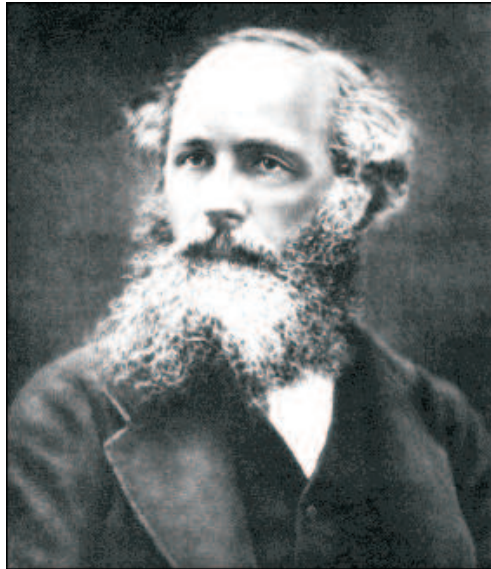
Az indukciós törvény

- az elektromos megosztás analógiájára AMPÈRE vizsgálja, eredmény nélkül
- FARADAY: hatás ki- és bekapcsoláskor jelentkezik \Rightarrow az áramkör mágneses állapotának *megváltozása* a döntő
- nyugvó zárt vezetőben az indukált feszültség az erővonalszám megváltozásával arányos
- mozgó vezető esetén az indukált feszültség az időegység alatt metszett erővonalak számával arányos
- új áramforrás: a dinamó – JEDLIK ÁNYOS (1800–1895), ERNST WERNER VON SIEMENS (1816–1892), SIR CHARLES WHEATSTONE (1802–1875)

FARADAY új szemléletmódja

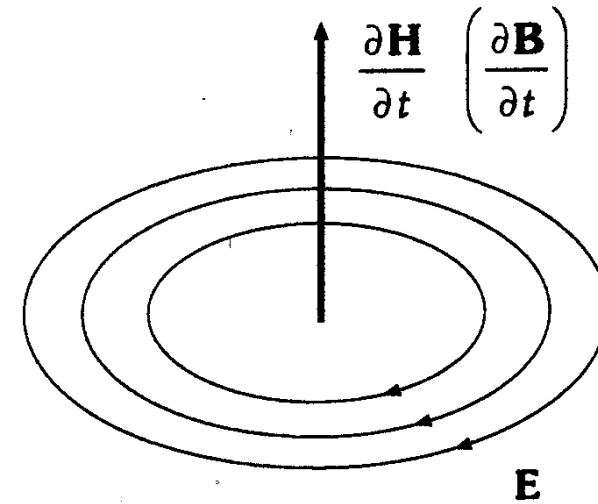
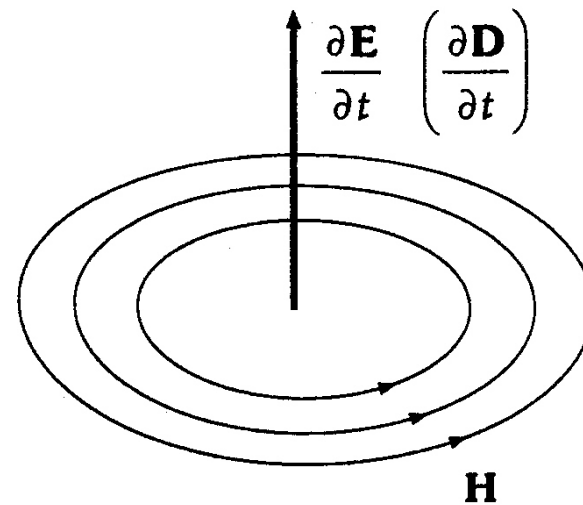
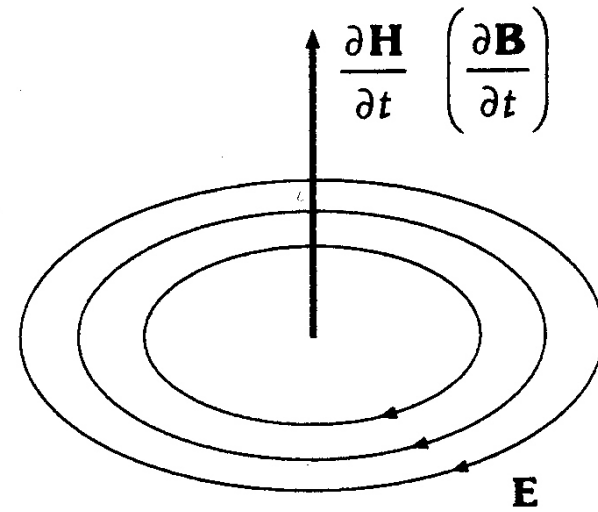
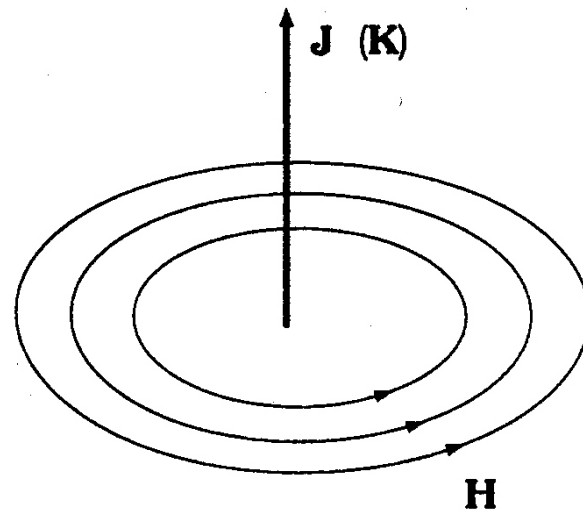
- AMPÈRE: az elektromos és mágneses erők a newtoni távolbahatás szellemében
- FARADAY: nem távolbahatással működnek, hanem a dielektrikumba ágyazott *elektromos vagy mágneses mezők* közvetítik az elektromos és mágneses erőket
- vasreszeléssel tette szemléletessé
- a mezők a tér különleges állapotai
- a mágneses tér *elektrotonikus* állapota: csak *időbeli változása* ad mérhető effektust

JAMES CLERK MAXWELL (1831–1879)



- az elektrodinamika nagy szintézise
- mechanikai modellt keresett az elektromos és mágneses tér működésére (örvénylő folyadék)
- a Faraday-féle elektrotonikus állapot hordozója: a *vektorpotenciál*
- az *eltolódási áram* bevezetése
- az *elektromágneses hullámok elméleti fölfedezése* – kísérleti kimutatás: HEINRICH HERTZ (1857–1894)

Elektromágneses hullámok



MAXWELL után

- HENDRIK ANTOON LORENTZ (1853–1928)
 - ◆ az elektromágneses jelenségek hordozója az éter
 - ◆ a nyugvó vagy egyenletesen mozgó töltések a sztatikus vagy stacionárius teret, a gyorsuló töltések az elektromágneses hullámokat hozzák létre
 - ◆ mikroszkopikus jellemzők átlagolásával magyarázza az anyag makroszkopikus tulajdonságait
- a Maxwell-egyenletek aszimmetriája: *nincs mágneses monopólus*
 - ◆ DIRAC (1948): talán azért nincs, mert „szupererős” kölcsönhatással kapcsolódnak egymáshoz
 - ◆ ilyen monopólusokat eddig nem találtak

Fölhasznált irodalom

- SIMONYI KÁROLY: *A fizika kultúrtörténete*. Budapest, 1998, Akadémiai Kiadó
- GAZDA ISTVÁN – SAIN MÁRTON : *Fizikatörténeti ABC*. Budapest, 1989, Tankönyvkiadó
- HEVESI IMRE: *Elektromosságtan*. Budapest, 1998, Nemzeti Tankönyvkiadó