

Fizikatörténet

Az elektromosságtan története

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 1.0

Korai eredmények

Ókori eredmények:

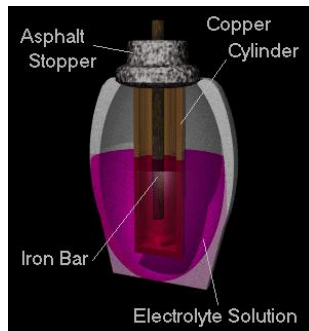
- borostyán dörzsölve kis papír darabkákat vonz
- mágnesek vonzása, taszítása
- Föld mágneses tere: iránytű (Kína)

Korai eredmények

Ókori eredmények:

- borostyán dörzsölve kis papír darabkákat vonz
- mágnesek vonzása, taszítása
- Föld mágneses tere: iránytű (Kína)

Érdekesség: “bagdadi elemek”: esetleg ismertek kezdetleges áramforrásokat i.e.? Vitatott.



Az első eredmények

AFKT 4.4.1

AFKT 4.4.2

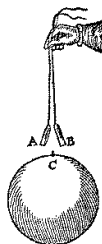
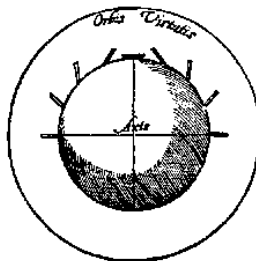
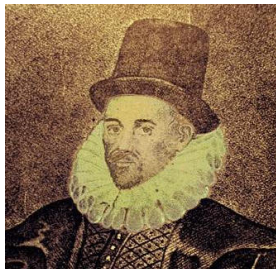
Petrus Peregrinus (1220–??)

Egy rövid mű, 1269:

- precíz iránytű készítés
- mágneses gömb erővonalai (iránytűvel kimérve)
- mágneses motor, “örökmozgó” (nem működne)
- a mágnesesség fontossága: ez mozgatja a bolygókat?

William Gilbert (1544–1603)

- kísérletezés fontossága
- a Föld mágneses terének leírása, inklináció (földrajzi helymeghatározás?)
- vonzás és taszítás leírása
- sok test elektromos állapotba hozható
- mágnes: forgat, elektromos test: vonz vagy taszít
- elképzelés: valami finom folyadék tölti ki a teret a mágnes körül



További eredmények

Otto von Guericke (1602–1686):

Dörzselektromos gép: mechanikus áttétellel erősebb és megbízhatóbb dörzsölés

⇒ jól látható jelenségek:

- érezhető “rázás”
- pár cm hosszú szikrák
- égnek álló haj

(Látványos kísérletek úri szalonokban.)

Sokáig ez az egyetlen erősebb “áramforrás”!

Kepler: a bolygókat mágneses erő tartja pályájukon.

Newton: az anyag kis részei közt elektromos erő hat. (ez igaz is!)

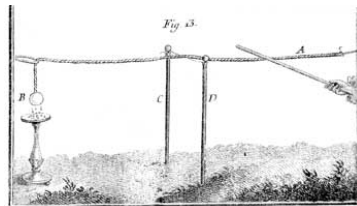
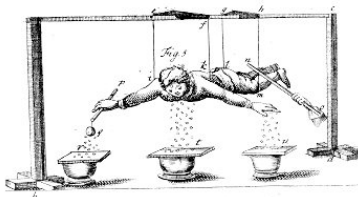


A kvalitatív elektrosztatika

AFKT 4.4.3

Stephan Gray (1666–1736), **Jean Teophile Desaguliers** (1683–1744), 1700-as évek első fele: selyemszára (=szigetelés) függesztett testek elektromos tulajdonságai.

- sok anyag feltölthető
- a fémek vezetik az elektromos állapotot több száz méterre is
- jelek továbbításának gondolata (technikai feltételek még nem adóttak az alkalmazáshoz)



Mi is az elektromosság?

Az 1700-as években elterjedt elmélet szerint a kétféle elektromosság kétféle folyadékot jelent. (Nollet, Dufay)

1700-as évek vége, Franklin: csak egyféle elektromosság van, de ha túl kevés van e folyadékból akkor azt pozitív, ha túl sok, akkor negatív töltést érzünk.

Nincs igaza, de ez az össztöltés megmaradásának megsejtésén alapul.

Ne feledjük: még nincs mai értelemben vett atomelmélet.

A leideni palack

1745–46: von Kleist és Musschenbroek:
leideni palack.

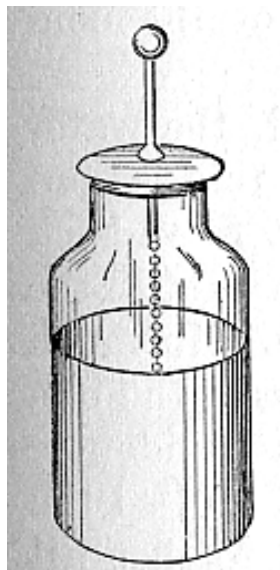
Ötlet: az “elektromos folyadékot” feloldani
vízben, hogy tárolható legyen.

Elrendezés: egy palack fémborítással,
dugón keresztül fémrúd vezet a vízbe.

Alap kísérlet: dörzselektromos gépet a
kimenethez érinteni, tölteni, majd a rúd és a
fémborítás közt kapcsolatot létesíteni.

Hatás: óriási elektromos kisülés!

Képes egy embert elkábítani.



A leideni palack alkalmazása

Több palack összekötése:

- töltéskor párhuzamos
- kisütéskor soros

kapcsolás. (Félautomata kapcsoló szerkezetek.)

Jedlik Ányos 90 cm-es szikrákat is létrehozott így.

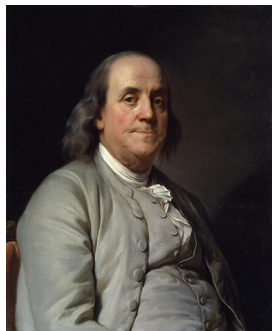


Alkalmazások fellendülése. (Népszerűsítés, cirkuszi mutatvány, élettani hatásokkal való kísérletezés.)

Mai név: **kondenzátor**. Széles körű alkalmazás.

Benjamin Franklin (1706–1790)

Az első amerikai természettudós.
Emellett politikus, író,



Papírsárkányos kísérlet: Viharos időben papírsárkányt reptetett, a köté aljára egy nagy kulcsot akasztva.

Vizes köté: vezető.

A kulcs és a föld között szikra ugrott át! A kulccsal leideni palackot lehetett feltölteni:

A villámlás ugyanolyan természetű, mint a dörzselektromosság.

További eredmények: hegyes rudak jobban kisülnek \Rightarrow **villámhárító.**

Franklin sárkányos kísérlete



Mérő elektrosztatika

AFKT 4.4.4

Az elektrosztatikus vonzás számszerű elméletének megalapozása mérésekkel.

Joseph Priestley (1733–1804)

Henry Cavendish (1731–1810)

Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)

Kutatási témák:

- az elektromos vonzás számszerű elmélete
- anyagok vezetőképessége
- a töltések tárolási módjai

A Coulomb-törvény

1760-as, '70-es évek: Priestley, Cavendish és mások már kimérik, hogy a töltött testek közti erő $1/r^2$ -tel arányos.

1785, Coulomb: pontosabb mérések és jó elméleti megalapozás:

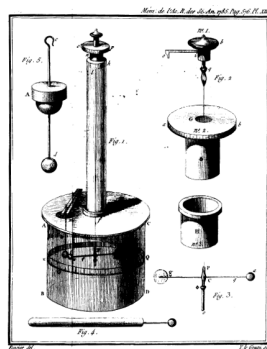
Torziós inga: Vékony szálra keresztbe felfüggesztve két test.

A testekre ható erők elforgatják a berendezést.

Vékony szállal igen kis erők mérhetők.

Pontatlanság: a töltés mennyisége a testeken nehezen határozható meg.

$$\underline{F} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \frac{r}{r}$$



Az elektrosztatika alapegyenlete

A mérések elég pontatlanok. Az $1/r^2$ -es törvény kitevője akár 2,2 vagy 1,9 is lehetne.

Elméleti érdekesség: csakis az $1/r^2$ -es törvény esetén egy töltött gömb belsejében nincs elektromos tér!

Ebből lehetett pontosan igazolni az $1/r^2$ -es törvényt.

Laplace, Poisson (1800-as évek eleje): elektrosztatika alapegyenlete:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{1}{\epsilon_0} \varrho_t, \quad \underline{F} = -Q \text{grad } V$$

Ez tetszőleges töltéseloszlás esetén megadja az elektromos teret.

Luigi Galvani (1737–1798) felfedezése

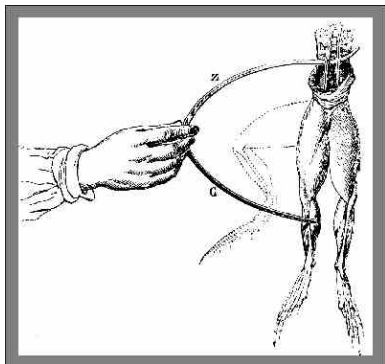
AFKT 4.4.5

1791:

- Két fém összeérintésekor a egy velük érintkező békacomb rángatózni kezdett, ha az ideghez hozzáért a fém.
- Ugyanez történt, ha a fémrúdon levő békacomb közelében villámlott.

Következtetések:

- Két fém összeérintésekor feszültség keletkezik
- Az idegeken elektromos jelek haladnak.



Alessandro Volta (1745–1827)

Galvani kísérleteit megismeri.

Rájön: **két különböző fém
összeérintésekor áramforrás
keletkezik.**

Kísérletek: ez ugyanaz az
elektromosság, mint a
dörzselektromos jelenség, csak
tartósan fennáll az elektromos áram.

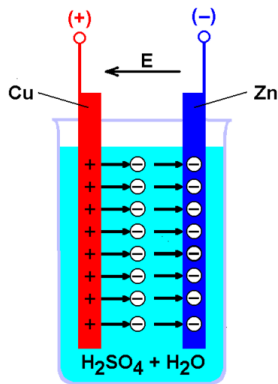


(Egyebek: metán felfedezése, elektromos jel küldése sok km távolságra,
elektromos szikrával gáz meggyújtása, ...)

A Volta-elem vagy galván-elem

Első komolyabb áramforrás:
Elektrolitbe (vezető folyadék) két fém
merül.
A két fém közt feszültségkülönbség
alakul ki.
Ez állandó áramot képes hajtani.

Ez a mai elemek és akkumulátorok
alapötlete.
Csak a kényelem kedvéért a folyadékot
szilárd anyaggal helyettesítik.



A folyamat megfordítása: **galvanizálás**

Elektrolitbe merülő fémekre külső feszültség hatására az oldatból
vékony fémréteg ül ki.

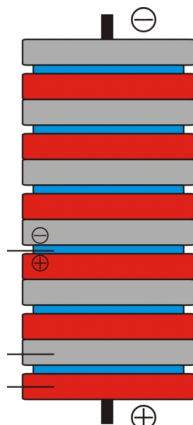
A Volta-oszlop

Ötlet: két fém elektrolittal (=vezető folyadék) elválasztva különböző feszültségre áll be.

Eredeti összetétel:

- elektrolit: sós víz (ruhaanyagban felitatva)
- réz-cink, majd ezüst-cink fémpárok

Egy-egy cella 0,5–2 V feszültséget ad anyagtól függően.



A Volta-oszloppal több száz volt előállítható!

A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

A dörzselektromossághoz és a leideni palackhoz képest:

- Sokkal több össz töltés, ezért hosszabb ideig jelentős áramerősség biztosítása. (Leideni palack: max. 1–2 coulomb, Volta-oszlop: akár 10000 coulomb)
- Kisebb feszültség. (Ez előny is, hátrány is, alkalmazástól függően.)

Megkezdődhet az áramok tanulmányozása.

Lehetőség a mérésekre, áramerősség és feszültség fogalmának kialakítására.

Kémiai alkalmazások: elektrolízis, galvanizálás.

Mai elemek, akkumulátorok őse.

Az áram mágneses tere

AFKT 4.4.6

Sokáig azt hitték, hogy az elektromos és mágneses tereknek nincs köze egymáshoz, csak hasonló jelenségek.

Hans Christian Oersted (1777–1851):
1820: az áramnak van mágneses tere!

Véletlen felfedezés:

Erős áram folyt egy huzalban, mellette az iránytű elfordult. Ekkor a huzal izzott az erős áramtól.

Ha gyenge volt az áram, nem fordult el az iránytű. Ekkor a huzal nem izzott.

⇒ Téves magyarázat: azt hitte, a fényjelenség szerepe lényeges.

(Egyéb munkák: pl. elsőként állít elő fém alumíniumot.)

A Biot-Savart-törvény

Jean-Baptiste Biot (1774–1862)

Félix Savart (1791–1841)

1820: számszerű törvény arra, hogy milyen mágneses teret kelt az áram.

(A mágneses tér mérésére kis iránytűket használtak, mint Petrus Peregrinus.)

Segítség: **Pierre-Simon Laplace** (1749–1827)

Pontos matematikai forma és interpretáció: A mágneses tér olyan, mintha a vezeték kis darabkái külön-külön hoznának létre mágneses teret.

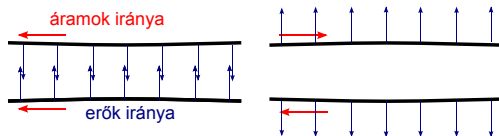
A törvény kicsit hasonlított a Coulomb-törvényhez.

Az áramok egymásra hatása

AFKT 4.4.7

AFKT 4.4.8

Andre Marie Ampere (1775-1836)



1820: Azonos áramirány esetén vonzó, másképp taszító erő a vezetékek között.

Ampere megadja a számszerű törvényt is.

Áramerősség és erőmérés összekötése: **Pontos áram- és feszültségmérők megalkotásának lehetősége.**

Az áramerősség mai definíciója: *1 amper azon párhuzamos vezetékekben folyó áram erőssége, melyek egymástól 1 m-re helyezkednek el és méterenként $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}$ erővel hatnak egymásra.*

Ötlet: a mágnesvasak belsejében is kis köráramok folynak.



Az indukció

Michael Faraday (1791–1867)



1821: indukció felfedezése.

Az indukció

Hatalmas jelentősége van.

Lényeg: változó mágneses tér elektromos teret kelt.

- tekercsben ki-be tologatott mágnesrúd hatására feszültség ébred
- megszaggatott elektromágnes egy másik tekercsben feszültséget indukál

Mozgásból elektromos áram állítható elő.

Ezen alapul ma pl. a bicikli dinamó, de az erőművek áramtermelése is!

Faraday egyéb eredményei

Számtalan eredmény:

- Minden anyag reagál a mágneses térre.
- Faraday-kalitka.
- Fény polarizációs síkje mágneses térben elfordul.
- Elektrolízis vizsgálata.
- Elektromágneses tér fogalma folyadék helyett, elektromágneses hullámok megsejtése.

A csúcs

AFKT 4.4.9

AFKT 4.4.10

James Clerk Maxwell (1831–1879):



Faraday tanítványa, munkájának folytatója.

A Maxwell-egyenletek

1864: Az eddigi eredmények összegzése:

Mai alakban:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Laplace, Poisson, Gauss

a töltések elektromos teret keltenek

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Laplace, Poisson, Gauss

nincs mágneses töltés

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

Faraday

a mágneses tér változása elektromos teret kelt

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

Ampere + Maxwell

mágneses teret áram vagy az elektromos tér változása kelt

A teljes elektromosságtani tudást összefoglalta!

Az “eltolási áram”

A legutolsó tag Maxwell **elméleti felfedezése**: enélkül nem teljesülne a töltésmegmaradás.

Jelentés: **változó elektromos tér mágneses teret kelt.**

(A jelenség közvetlenül nehezen mutatható ki a kicsi együttthatók miatt.)

Fontos következmény: vált. el. tér \Rightarrow vált. mágn. tér \Rightarrow vált. el. tér \Rightarrow ...

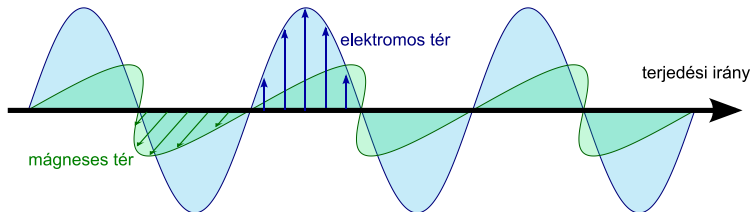
Elektromágneses hullám!

Az elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok kialakulásának menete:



Egy kialakult, szinuszos elektromágneses hullám.



Az elektromágneses hullámok

Faraday sejtette, Maxwell megadta az elméleti leírást.

Maxwell: sebességük $3 \cdot 10^8$ m/s. Ez megegyezik a fény sebességével!

Sejtés: a fény elektromágneses hullám.

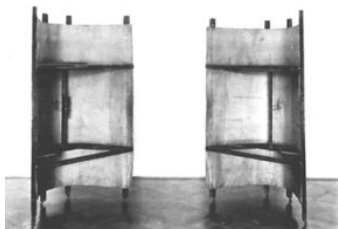
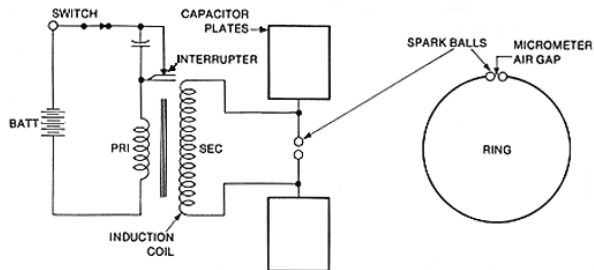
Heinrich Hertz (1857–1894)

1886: kísérleti bizonyíték: rádióhullámok előállítása, sebességmérése.

Tényleges rádiózás indul 1900 körül.



Hertz berendezései



Az elektromosságban technikai alkalmazásai

Az elméleti eredmények lehetővé tették, hogy a 19.szdz. közepétől iparágak fejlődjenek ki az elektromosságban alapozva.

Példák:

- **Jedlik Ányos (1800–1895):** öngerjesztéses dinamó, villanymotor, nagyfeszültség előállítása, ...
- Thomas Alva Edison: távírás fejlesztése, izzólámpa, fejlett mikrofonok, első erőművek, áramellátás kiépítésének egyik változata (egyenáramú)
- George Westinghouse, Nikola Tesla: váltóáramú generátorok, elosztóhálózatok, eszközök. (A mai elektromos hálózat alapjai.)
- Zipernowsky Károly, Déry Miksa, Bláthy Ottó: hatékony transzformátor
- Guglielmo Marconi, Nikola Tesla, Alexander Stepanovich Popov: rádiózás kezdetei
- Werner von Siemens, Kandó Kálmán: villanymozdony
- ...

Mindent tudunk az elektromosságtanról?

A 19.szdz. végén azt hitték, hogy igen.

“Csak” néhány értelmezési probléma maradt:

- Mi is az az éter?
- Létezik-e abszolút vonatkoztatási rendszer?
- Mihez képest terjed a fény fénysebességgel?

Általánosan elfogadott kép: az éter egy finom anyag, mely kitölti az Univerzumot. Ennek feszültségi állapotait észleljük elektromos ill. mágneses térként.

Az éter egy abszolút vonatkoztatási rendszert határoz meg.

Gond: Nem sikerül kimutatni a Föld mozgását az éterhez képest!
(Lásd a fénysebességről mondottakat és a későbbieket.)

Ezek a gondolatok és kísérletek vezetnek a relativitáselmülethez.