

# Fizikatörténet

## Az elektromosságtan története

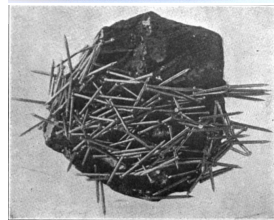
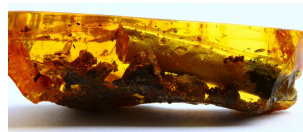
Horváth András  
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

**v 1.5**

## Korai eredmények

### Ókori eredmények:

- A borostyánkő száraz anyaggal megdörzsölve fura állapotba kerül: odavonz magához bizonyos anyagokat.  
Mai név: **statikus elektromosság**.  
(elektro- előtag eredete: ógörög „borostyán”)
- Vannak vasérccek, melyek vonzzák a vas tárgyakat, egymást meg vonzzák vagy taszítják.  
Mai név: **statikus mágnesesség, ferromágnesesség**.
- Mágnesvasérc tárgyak törekednek mindig ugyanabba az irányba befordulni.  
Mai név: **iránytű, ami a Föld mágneses tere hatására fordul el**.



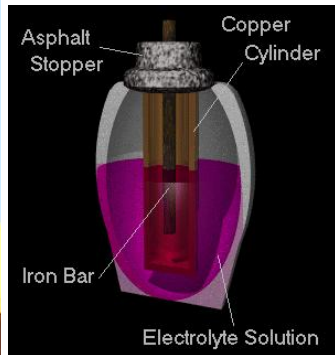
## A „bagdadi elemek” vagy „pártus elemek”

I.e. 2–6. szd.-ból származó lelet a mai Bagdad területéről.

Alkotórészek: cserép edény, vas rúd, réz cső.

Ha ezeket összerakjuk és pl. gyümölcslevet vagy savas vizet töltünk bele, áramforrásként viselkedik!

(olyan, mint egy galvánelem)



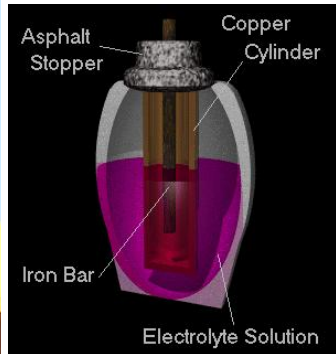
## A „bagdadi elemek” vagy „pártus elemek”

I.e. 2–6. szd.-ból származó lelet a mai Bagdad területéről.

Alkotórészek: cserép edény, vas rúd, réz cső.

Ha ezeket összerakjuk és pl. gyümölcslevet vagy savas vizet töltünk bele, áramforrásként viselkedik!

(olyan, mint egy galvánelem)



Mire használhatták? Csak tippek vannak. Legvalószínűbb: felületek vékony fémréteggel való bevonása.

(Nem adott le sok energiát, komoly fényforrást vagy egyebet nem hajthatott meg.)

## Az első eredmények

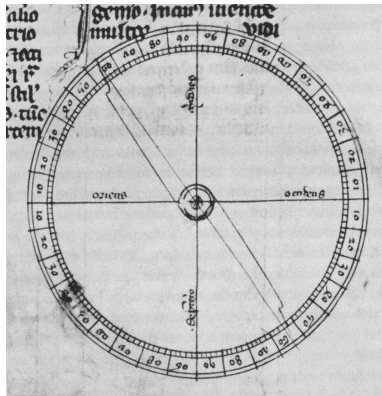
AFKT 4.4.1

AFKT 4.4.2

**Petrus Peregrinus** (1220–??)

Egy rövid mű, 1269:

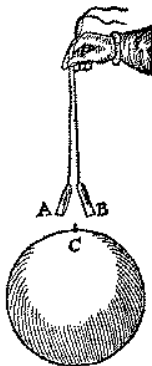
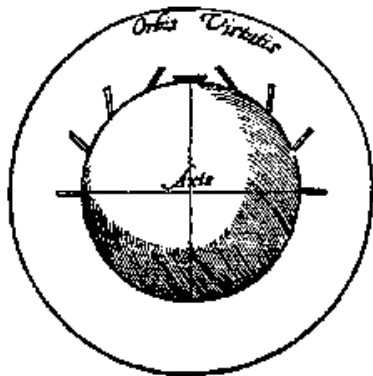
- precíz iránytű készítés
- „mágneses pólusok” kifejezés és azok szabályai (vonzás, taszítás)
- mágneses gömb erővonalai (iránytűvel kimérve)
- mágneses motor, „örökmozgó” tervezése: nem működne, de mutatja a motivációt
- a mágnesesség fontossága: ez mozgatja a bolygókat?



Kevés fennmaradt példány. Talán mások is foglalkoztak akkoriban már a témával.



## William Gilbert (1544–1603)



William Gilbert rajzai:

Bal oldalt: **a Föld mágneses tere.**

Jobb oldalt: **mágneses megosztás.**

Alul egy nagy mágnesgömb (C),  
amihez felülről két lágyvas darabot (A,  
B) lógatunk.

A nagy mágnes ideiglenesen  
felmágnesezi a vasdarabokat, amik  
ezért taszítják egymást.

## További eredmények

Otto von Guericke (1602–1686):

**Dörzselektromos gép:** mechanikus áttétellel erősebb és megbízhatóbb dörzsölés  $\Rightarrow$  **jól látható jelenségek:**

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

(Látványos kísérletek úri szalonokban.)

**Sokáig ez az egyetlen erősebb „áramforrás”!**

Elképzelések az elektromosság és mágnesesség fontosságáról:

Kepler: a bolygókat mágneses erő tartja pályájukon.

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



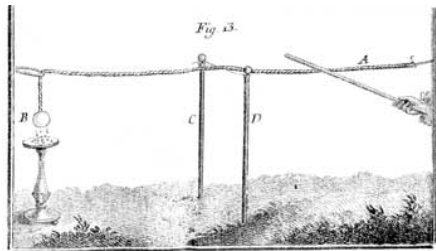
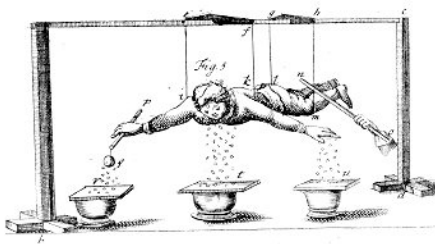


## A kvalitatív elektrosztatika

### 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 fajta anyag feltölthető
- a fémek vezetik az elektromos állapotot több száz méterre is, de ehhez jó szigetelés kell
- jelek továbbításának gondolata (technikai feltételek még nem adottak az alkalmazáshoz)







## 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.)

Sajnos még így is kevés a használható össz-töltés, ezért **nem lehet tartós elektromos áramot biztosítani.**





## Franklin sárkányos kísérlete



## Franklin sárkányos kísérlete



Modern áthallás:  
A félőrrült tudós villámokkal kísérletezik:  
Talán van köze a Franklinhoz.

## Mi is az elektromosság?

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

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

**Egyiknek sincs teljesen igaza!**

Franklin elképzelésében a töltésmegmaradás megsejtése benne van.

Ne feledjük: még nincs mai értelemben vett atomelmélet.



## Mi is az elektromosság?

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

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

**Egyiknek sincs teljesen igaza!**

Franklin elképzelésében a töltésmegmaradás megsejtése benne van.

Ne feledjük: még nincs mai értelemben vett atomelmélet.

---

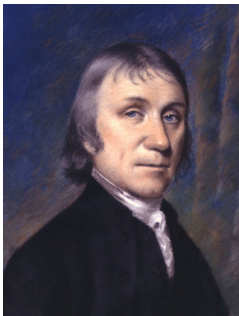
Megjegyzés: Az elektromos és mágneses jelenségeknek korábban sokszor tulajdonítottak „mágikus” erőt.

**A kor tudósai ezektől a munkáktól az anyag szerkezetének megismerését is remélték.**  
Tulajdonképp igazuk lett...

# Mérő elektrosztatika

## AFKT 4.4.4

Az elektrosztatikus vonzás számszerű elméletének megalapozása mérésekkel.



Joseph Priestley (1733–1804)



*H. Cavendish*

Henry Cavendish (1731–1810)



Charles-Augustin de Coulomb (1736–1806)

(Sokszor nehéz eldönteni az elsőbbségi kérdéseket köztük.)

Kutatási témák: az elektromos vonzás számszerű elmélete; anyagok vezetőképességének vizsgálata; 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.

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

## 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.

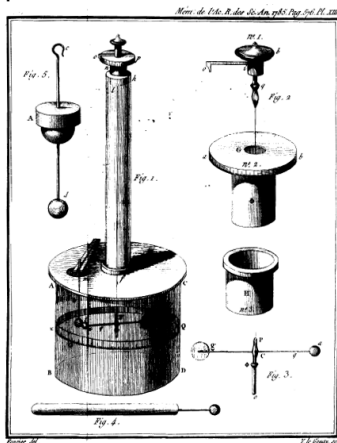
1785, Coulomb: pontosabb mérések és jó elméleti megalapozás.

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

**Erőmérő eszköz: torziós inga:**

- Függőleges vékony szálon egy vízszintes rúd, végein egy-egy test.
- A testekre ható erők elforgatják a rudat.
- Ha a szál vékony, akkor igen kis erőkre érzékeny.

**Pontatlanság forrása:** a töltés mennyisége a testeken nehezen határozható meg.













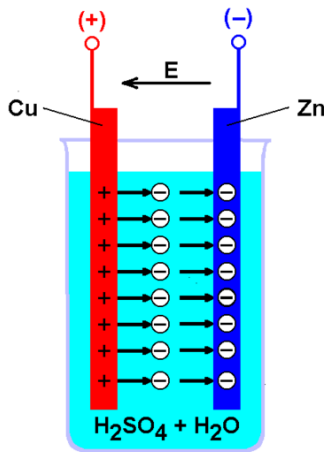


## A Volta-elem vagy galván-elem

### Az első komolyabb áramforrás:

- elektrolitba (vezető folyadék) két fém merül
- a két fém közt feszültségkülönbség alakul ki
- ez állandó áramot képes hajtani

(Ilyesmik lehettek a „bagdadi elemek”.)



## A Volta-elem vagy galván-elem

### Az első komolyabb áramforrás:

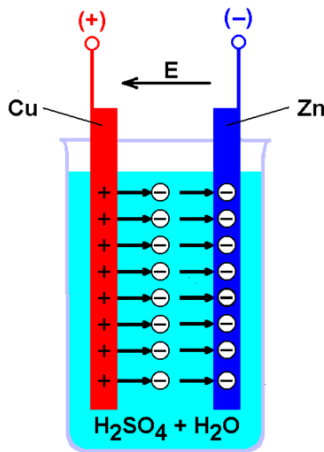
- elektrolitba (vezető folyadék) két fém merül
- a két fém közt feszültségkülönbség alakul ki
- ez állandó áramot képes hajtani

(Ilyesmik lehettek a „bagdadi elemek”.)

A folyamat megfordítása: **galvanizálás**.

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

Nagyon hasznos eljárás pl. a korrózióvédelemben.



## A Volta-elem vagy galván-elem

### Az első komolyabb áramforrás:

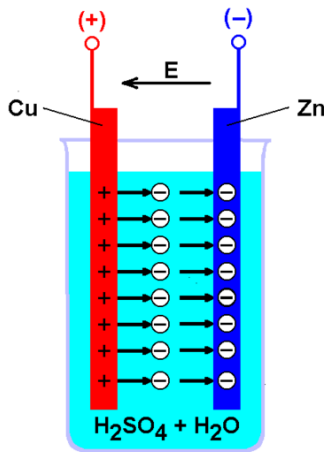
- elektrolitba (vezető folyadék) két fém merül
- a két fém közt feszültségkülönbség alakul ki
- ez állandó áramot képes hajtani

(Ilyesmik lehettek a „bagdadi elemek”).

A folyamat megfordítása: **galvanizálás**.

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

Nagyon hasznos eljárás pl. a korrózióvédelemben.

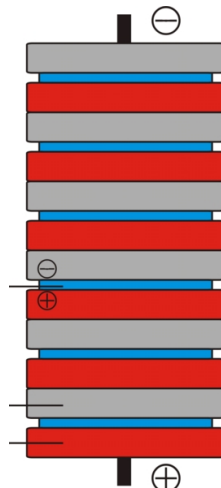


Az elemet nehezen kezelhetővé teszi a folyadék jelenléte.

# A Volta-oszlop

## Ötlet:

- itassuk fel valamiben az elektrolitot
- az elektródáknak nem kell bemerülni az elektrolitba, elég, ha érintkeznek vele
- fém-elektrolit-fém cellákat egymásra halmozhatunk



## A Volta-oszlop

### Ötlet:

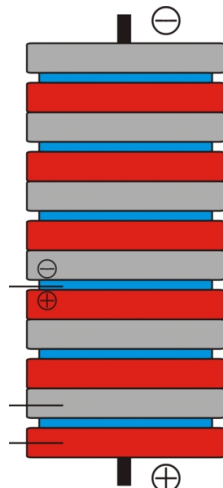
- itassuk fel valamiben az elektrolitot
- az elektródáknak nem kell bemerülni az elektrolitba, elég, ha érintkeznek vele
- fém-elektrolit-fém cellákat egymásra halmozhatunk

### Eredeti összetétel:

- elektrolit: sós víz (ruhaanyagban felitatta)
- réz-cink, majd ezüst-cink elektródák

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

⇒ Egy Volta-oszloppal több száz volt előállítható!



Utókor: jobb definíció a feszültségre, de Voltáról nevezik el az egységet.





## A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

A dörzselektromossághoz és a leideni palackhoz képest:

- **Sokkal több össz töltés:** hosszabb ideig tud áramot hajtani.
- **Kisebb feszültség:** kezelhetőbb, a szigetelés kisebb gond.

## A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

A dörzselektromossághoz és a leideni palackhoz képest:

- **Sokkal több össz töltés:** hosszabb ideig tud áramot hajtani.
- **Kisebb feszültség:** kezelhetőbb, a szigetelés kisebb gond.

---

**Megkezdődhet az áramok tanulmányozása.**

Lehetőség a mérésekre, áramerősség és feszültség fogalmának kialakítására.

Kémiai alkalmazások: elektrolízis, galvanizálás.

## A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

A dörzselektromossághoz és a leideni palackhoz képest:

- **Sokkal több össz töltés:** hosszabb ideig tud áramot hajtani.
- **Kisebb feszültség:** kezelhetőbb, a szigetelés kisebb gond.

**Megkezdődhet az áramok tanulmányozása.**

Lehetőség a mérésekre, áramerősség és feszültség fogalmának kialakítására.

Kémiai alkalmazások: elektrolízis, galvanizálás.

**Ez a mai elemek és akkumulátorok alapötlete.**

Sok-sok fejlesztés:

- Szivacsos anyagban tárolják az elektrolitot.
- Kifejlesztették a gél-szerű és a szilárd elektrolitokat is.
- Újszerű elektróda-anyagok és megnövelt elektróda-felületek.



# Az áram mágneses tere

AFKT 4.4.6

Sokáig azt hitték: az elektromosságnak és a mágnesességnek nincs köze egymáshoz, csak hasonló jelenségek.

## Az áram mágneses tere

### AFKT 4.4.6

Sokáig azt hitték: az elektromosságnak és a mágnesességnek nincs köze egymáshoz, csak hasonló jelenségek.

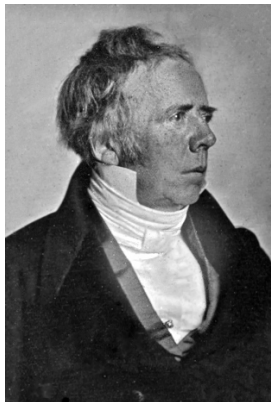
**Oersted 1819–1820: Az áramnak van mágneses tere!**

Véletlen felfedezés:

- Ha erős áram folyt egy huzalban, akkor 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. Később rájön, hogy **a Volta-oszlop által hajtott áram mágneses teret kelt.** (Fény nélkül is.)

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



Hans Christian  
Oersted (1777–1851)

## A Biot-Savart-törvény

Jean-Baptiste Biot (1774–1862) és 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.

(Konkrét alakját nem írjuk fel Fizikatörténet órán.)

# A Biot-Savart-törvény

Jean-Baptiste Biot (1774–1862) és 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.

(Konkrét alakját nem írjuk fel Fizikatörténet órán.)

---

Jelentőség: Tetszőleges alakú vezeték által keltett mágneses teret ki lehet számolni vele.

◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡

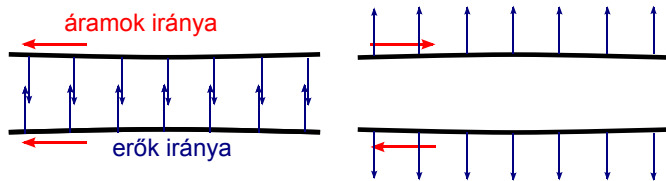


## Az áramok egymásra hatása

AFKT 4.4.7

AFKT 4.4.8

Andre Marie Ampere (1775-1836)



1820: Azonos áramirány esetén vonzó, ellenkező irány esetén taszító erő lép fel a vezetékek között.

Ampere megadja a számszerű törvényt is.



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

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

## Az indukció

Michael Faraday (1791–1867)



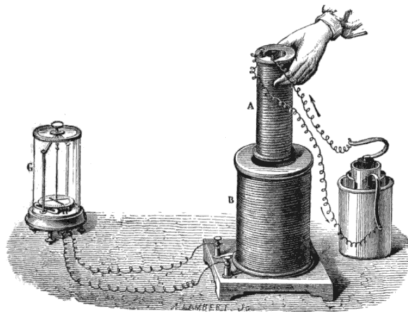
1831: indukció felfedezése.

# Az indukció

Forradalmi jelentősége van!

Lényeg: változó mágneses tér elektromos teret kelt.

- tekercsben ki-be tologatott mágnesrúd hatására feszültség ébred
- tekercsben mozgatott másik áram-járta tekercs is feszültséget kelt
- megszaggatott elektromágnes egy másik tekercsben feszültséget indukál



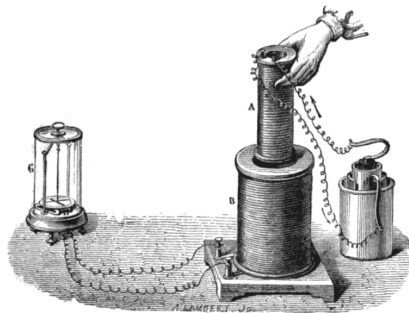
Faraday egyik indukciós eszköze

## Az indukció

Forradalmi jelentősége van!

Lényeg: változó mágneses tér elektromos teret kelt.

- tekercsben ki-be tologatott mágnesrúd hatására feszültség ébred
- tekercsben mozgatott másik áram-járta tekercs is feszültséget kelt
- megszaggatott elektromágnes egy másik tekercsben feszültséget indukál



Faraday egyik indukciós eszköze

Mozgásból elektromos áram állítható elő.

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

Faraday tervez és épít elektromos generátort, de az nem alkalmas nagy teljesítmény leadására.

## Faraday egyéb eredményei

Számtalan egyéb eredmény:

- Minden anyag reagál a mágneses térre: para-, dia- és ferromágnesesség.
- **Faraday-kalitka:** kellően sűrű fémrács leárnyékolja a környezet elektromos tereit.
- **A fény polarizációs síkje mágneses térben elfordul.** Megsejti, hogy a fénynek köze van az elektromossághoz.
- **Elektrolízis vizsgálata.** Az elektrolízist leíró alaptörvény felfedezése.
- **Elektromágneses tér fogalma:** Faraday szerint nem valami folyadék okozza az elektromos és mágneses hatásokat, hanem a környező tér valamilyen torzulása.
- **Az elektromágneses hullámok megsejtése.**

## A nagy összegzés: Maxwell

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.

Fizikai jelentés: **változó elektromos tér mágneses teret kelt.**

- A jelenség közvetlenül nehezen mutatható ki a kicsi együtthatók miatt.
- Fontos következmény: vált. el. tér  $\Rightarrow$  vált. mágn. tér  $\Rightarrow$  vált. el. tér  $\Rightarrow$  ...  $\Rightarrow$   
**Elektromágneses hullám!**



## Az „eltolási áram”

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

Fizikai jelentés: **változó elektromos tér mágneses teret kelt.**

- A jelenség közvetlenül nehezen mutatható ki a kicsi együtthatók miatt.
- Fontos következmény: vált. el. tér  $\Rightarrow$  vált. mágn. tér  $\Rightarrow$  vált. el. tér  $\Rightarrow \dots \Rightarrow$   
**Elektromágneses hullám!**

---

Maxwell pontosan leírja az elektromágneses hullámokat matematikailag.  
Sebesség:  $v = 1/\sqrt{\mu_0\epsilon_0}$ . Az állandók értékét beírva:  $v \approx 3,00 \cdot 10^8$  m/s.  
 $\Rightarrow$  **Az elektromágneses hullámok épp a fény sebességével terjednek!**  
(Fizeau, Foucault épp ekkortájt méri meg.)

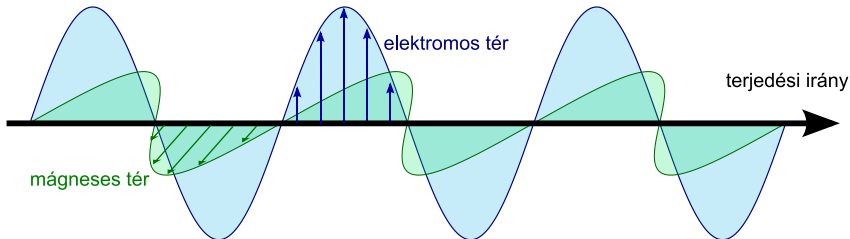
Más kísérleti bizonyítékokkal együtt: **A fény elektromágneses hullám!**

# Az elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok kialakulásának menete:



Egy kialakult, szinuszos elektromágneses hullám.



# Az elektromágneses hullámok

Faraday sejtette, Maxwell megadta az elméleti leírást.

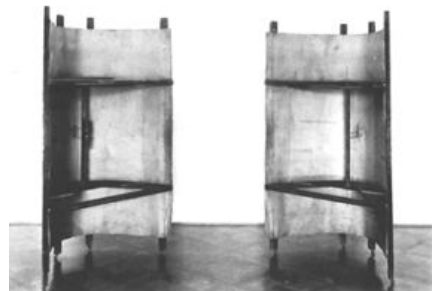
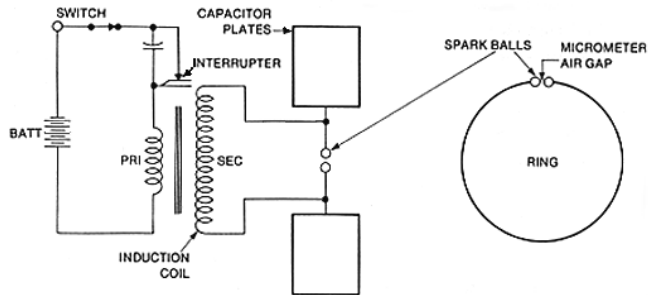
Sejtés: a fény elektromágneses hullám.

**Kellene közvetlen bizonyíték!**

Gond: a fény frekvenciája  $10^{14}$  Hz körüli. Ilyen gyorsan változó elektromos és mágneses teret nem tudnak előállítani.



## Hertz berendezései



Érdekesség: a nagyfrekvenciás magas feszültség két kis fémgolyó közt keletkezik  $\Rightarrow$  néha szikra ugrik át.

Első rádiós távközlési eszköz: „szikratávíró”. Csak Morze-jeleket tudott küldeni.

## Az elektromosságtan technikai alkalmazásai

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

- **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, Déri 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.