

Fizikatörténet

Az elektromosságtan története

Horváth András
SZE, Fizika és Kémia Tsz.

v 0.8

Bevezetés

- Korai eredmények

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Bevezetés

Korai eredmények

Bevezetés

● **Korai eredmények**

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Ókori eredmények:

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

Korai eredmények

Bevezetés

● Korai eredmények

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

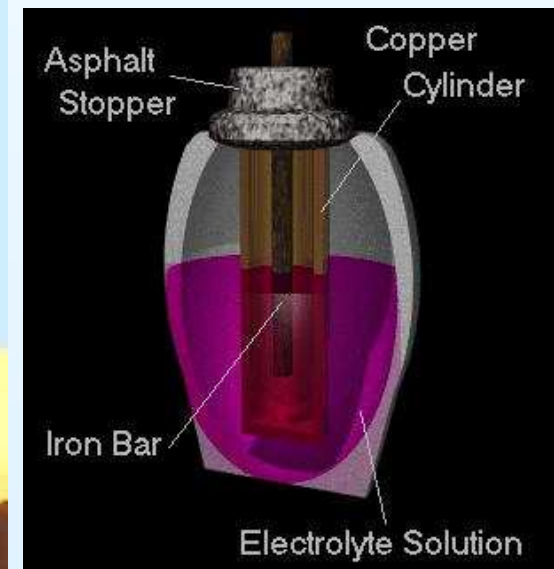
Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Ókori eredmények:

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

Érdekesség: „bagdadi elemek”: esetleg ismertek kezdetleges áramforrásokat? Vitatott.



Bevezetés

Első eredmények

- Az első eredmények
- William Gilbert
(1544–1603)
- További eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Első eredmények

Az első eredmények

Bevezetés

Első eredmények

- Az első eredmények
- William Gilbert (1544–1603)
- További eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.1}– {AFKT 4.4.2}

Petrus Peregrinus (1220–??)

Egy rövid mű, 1269:

- mágneses gömb erővonalai
- mágneses motor (örökmozgó)
- a mágnesesség fontossága: ez mozgatja a bolygókat?

Az első eredmények

Bevezetés

Első eredmények

- Az első eredmények
- William Gilbert (1544–1603)
- További eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.1}– {AFKT 4.4.2}

Petrus Peregrinus (1220–??)

Egy rövid mű, 1269:

- mágneses gömb erővonalai
- mágneses motor (örökmozgó)
- a mágnesesség fontossága: ez mozgatja a bolygókat?

William Gilbert (1544–1603)

Bevezetés

Első eredmények

- Az első eredmények
 - William Gilbert (1544–1603)
- További eredmények

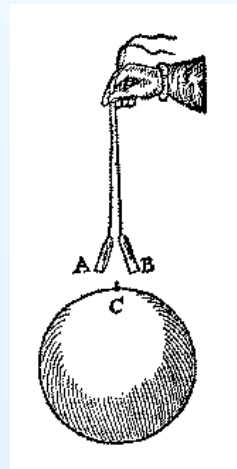
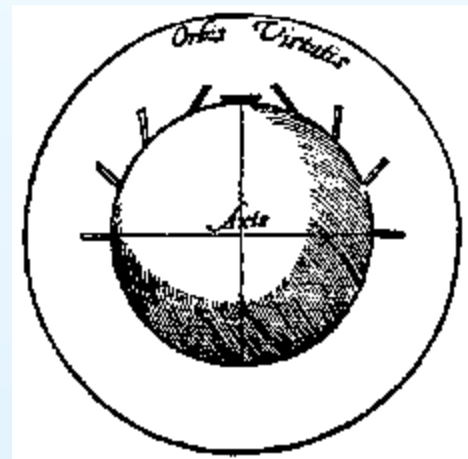
A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

- 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

Bevezetés

Első eredmények

- Az első eredmények
- William Gilbert (1544–1603)

- **További eredmények**

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Otto Guericke, 1600-as évek: dörzselektromos gép, jól látható jelenségek.



Kepler: a bolygókat mágneses erő tartja pályájukon.

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

Bevezetés

Első eredmények

**A kvalitatív
elektrosztatika**

- A kvalitatív
elektrosztatika
- A leideni palack
- Benjamin Franklin
(1706–1790)

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

A kvalitatív elektrosztatika

A kvalitatív elektrosztatika

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

● A kvalitatív
elektrosztatika

- A leideni palack
- Benjamin Franklin
(1706–1790)

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.3}

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

- sok anyag feltölthető
- a fémek vezetik az elektromos állapotot több száz méterre is
- jelek továbbításának gondolata

A kvalitatív elektrosztatika

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

● A kvalitatív
elektrosztatika

- A leideni palack
- Benjamin Franklin
(1706–1790)

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.3}

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

- sok anyag feltölthető
- a fémek vezetik az elektromos állapotot több száz méterre is
- jelek továbbításának gondolata

Cisternay Dufay, 1700-as évek első fele: kétféle elektromosság felfedezése.

Nollet: két folyadék elmélet.

A leideni palack

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

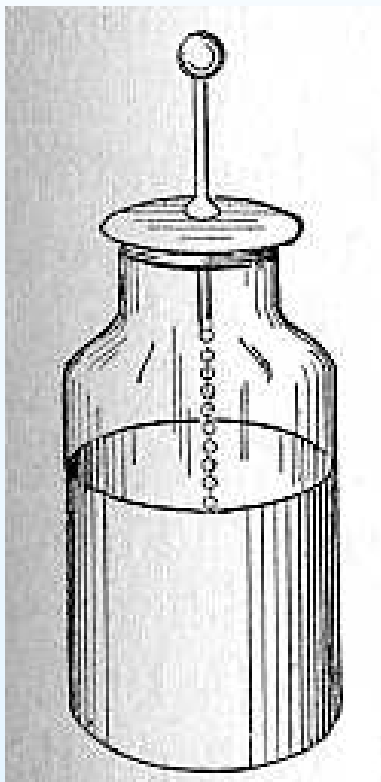
- A kvalitatív elektrosztatika
- A leideni palack
- Benjamin Franklin (1706–1790)

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

1745–46: von Kleist és Musschenbroek: leideni palack.
Egyszerű kondenzátor: töltéshalmozásra jó.



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

Benjamin Franklin (1706–1790)

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

- A kvalitatív elektrosztatika
- A leideni palack
- Benjamin Franklin (1706–1790)

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Az első amerikai természettudós.

- villámlás természete elméletileg és kísérletileg
- villámhárító
- egyféle elektromos folyadék feltételezése: egyik állapot, ha sok van ebből, másik, ha kevés
- töltésmegmaradás gondolata

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

- Mérő elektrosztatika
- Matematikai alapok

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Mérő elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

- Mérő elektrosztatika
- Matematikai alapok

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.4}

1700-as évek 2. fele: Priestley, Cavendish, Coulomb.

Az elektrosztatikus vonzás számszerű elméletének megalapozása mérésekkel.

Mérés: kis erők mérése: *torziós inga*. Részletes tanulmányozás: Charles Coulomb. Coulomb-törvény.

Cavendish: anyagok vezetőképessége. Baj: nincsenek alpműszerek, csak az élettani hatás alapján becsülnek.

Matematikai érdekességek: egyenletesen töltött gömb belsejében nincs elektromos erő!

Matematikai alapok

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

- Mérő elektrosztatika
- **Matematikai alapok**

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

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

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = -\frac{1}{\varepsilon_0} \rho_t$$

Rengeteg probléma megoldható ezzel. Green, Gauss:
hatékony megoldási módszerek.

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Az elektromos áram

Alapjelenségek

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- **Alapjelenségek**

- Az első állandó áramforrás

- A Volta-oszlop

- A Volta-oszlop

jelentősége,
felhasználása

- Az áram mágneses tere

- A Biot-Savart-törvény

- Az áramok egymásra hatása

- Az indukció

- Az indukció

- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.5}

Luigi Galvani (1737–1798)

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.

Alapjelenségek

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

● Alapjelenségek

- Az első állandó áramforrás

- A Volta-oszlop

- A Volta-oszlop

jelentősége,
felhasználása

- Az áram mágneses tere

- A Biot-Savart-törvény

- Az áramok egymásra hatása

- Az indukció

- Az indukció

- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.5}

Luigi Galvani (1737–1798)

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.

Az első állandó áramforrás

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Alessandro Volta (1745–1827)



1800, első állandó elemek. Alapötlet forrása: Galvani.

(Egyebek: metán felfedezése, elektromos szikrával gáz meggyújtása, ...)

A Volta-oszlop

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- **A Volta-oszlop**
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

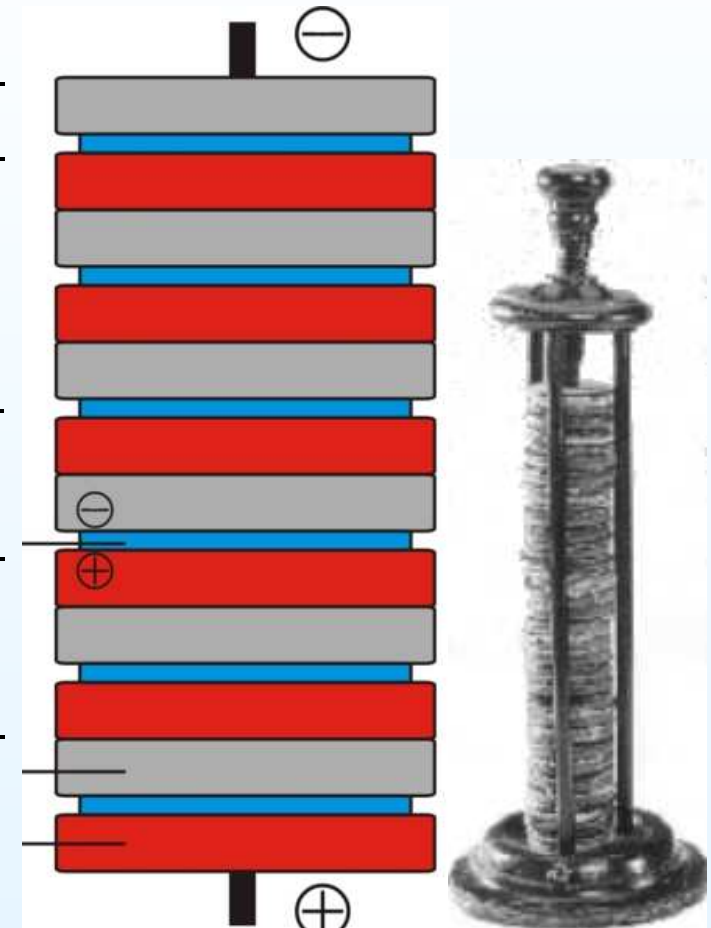
Ötlet: két fém elektrolittal (=vezető folyadék) elválasztva különböző feszültségre áll be.

Eredeti összetétel:

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

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

Több száz volt előállítható!



A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- **A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása**
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

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.)

A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- **A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása**
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

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

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

{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!

Az áram mágneses tere

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- **Az áram mágneses tere**
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

{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.

Az áram mágneses tere

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- **Az áram mágneses tere**
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

{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

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- **A Biot-Savart-törvény**
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Jean-Baptiste Biot (1774–1862)

Félix Savart (1791–1841)

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

A Biot-Savart-törvény

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- **A Biot-Savart-törvény**
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

Jean-Baptiste Biot (1774–1862)

Félix Savart (1791–1841)

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

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.

Hasonlóság a Coulomb-törvényhez.

Az áramok egymásra hatása

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

{AFKT 4.4.7}– {AFKT 4.4.8}

Andre Marie Ampere (1775-1836)

1820: áramok egymásra hatása.
Newtonéhoz hasonló áttörés.

Ötlet: a mágnesvasak belsejében is kis köráramok folynak.

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.*

Pontos áram- és feszültségmérők megalkotásának lehetősége.



Az indukció

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- **Az indukció**
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Michael Faraday (1791–1867)



1821: indukció felfedezése.

Az indukció

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Hatalmas jelentősége van.

Lényeg: változó mágneses tér elektromos teret kelt.

Az elektromos tér vezetékben áramot indít: **mozgásból elektromos áram állítható elő.**

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

Faraday egyéb eredményei

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

- Alapjelenségek
- Az első állandó áramforrás
- A Volta-oszlop
- A Volta-oszlop jelentősége, felhasználása
- Az áram mágneses tere
- A Biot-Savart-törvény
- Az áramok egymásra hatása
- Az indukció
- Az indukció
- Faraday egyéb eredményei

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

Számtalan eredmény:

- Minden anyag mágneses valamennyire.
- Faraday-kalitka.
- Fény polarizációs síkja mágneses térben elfordul.
- Elektrolízis vizsgálata.
- Elektromágneses tér fogalma folyadék helyett, elektromágneses hullámok megsejtése.

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- A Maxwell-egyenletek
- Az elektromágneses hullámok
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

A klasszikus elektrodinamika csúcsa

A csúcs

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- A Maxwell-egyenletek
- Az elektromágneses hullámok
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

{AFKT 4.4.9}– {AFKT 4.4.10}

James Clerk Maxwell (1831–1879):



Összegző és felfedező.

A Maxwell-egyenletek

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- **A Maxwell-egyenletek**
- Az elektromágneses hullámok
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

Sokat konzultál Faraday-jel. Azt állítja magáról, hogy csak befejezi, amit Faraday nem tudott már.

1864: Az eddigi eredmények összegzése 4 egyenletbe: Maxwell-egyenletek.

Új, saját eredmény: változó elektromos tér mágneses teret kelt.

Következmény: vált. el. tér $\Rightarrow$ vált. mágn. tér $\Rightarrow$ vált. el. tér $\Rightarrow$...

Elektromágneses hullám!



Az elektromágneses hullámok

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- A Maxwell-egyenletek
- Az elektromágneses hullámok
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

Már Faraday sejtette, Maxwell rendbe tette.

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

Sejtés: a fény elektromágneses hullám.

Az elektromágneses hullámok

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- A Maxwell-egyenletek
- **Az elektromágneses hullámok**
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

Már Faraday sejtette, Maxwell rendbe tette.

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

Sejtés: a fény elektromágneses hullám.

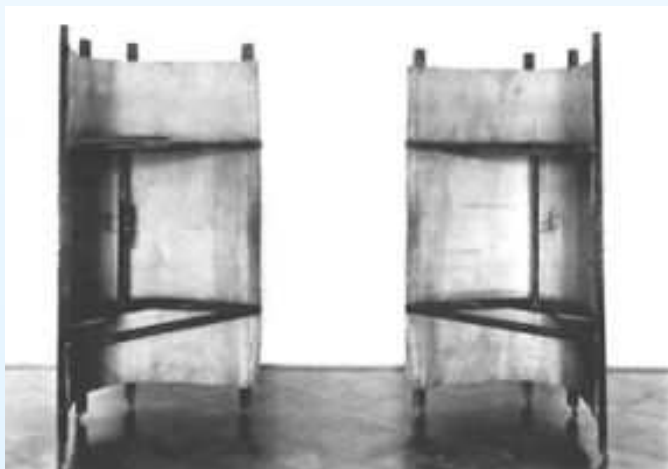
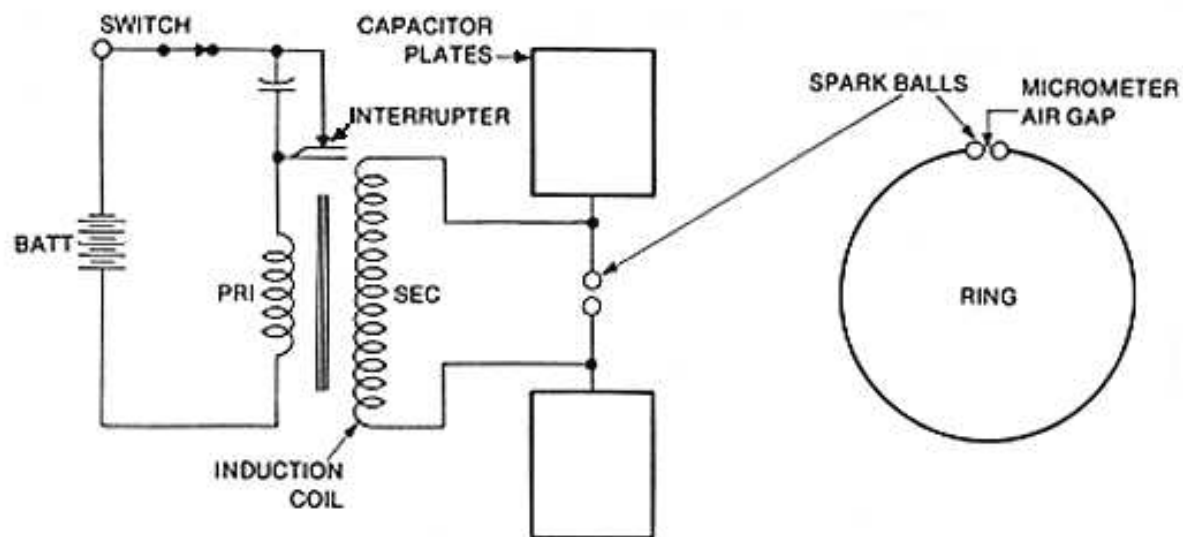
Heinrich Hertz (1857–1894)

1886: kísérleti bizonyíték: rádióhullámok előállítása, sebességmérése.

Tényleges rádiózás indul 1900 körül.



Hertz berendezései



... itt a vége?

Bevezetés

Első eredmények

A kvalitatív
elektrosztatika

Mérő elektrosztatika

Az elektromos áram

A klasszikus
elektrodinamika csúcsa

- A csúcs
- A Maxwell-egyenletek
- Az elektromágneses hullámok
- Hertz berendezései
- ... itt a vége?

Nem!

A sikerek ellenére súlyos értelmezési problémák akadtak. Pl.: az éter fogalma.

Maxwell: az elektromos és a mágneses tér egy finom anyag feszültségi állapotai. Az egyenletek nagyon hasonlóak.

Probléma: Mi is az az éter? Abszolút vonatkoztatási rendszer? Mihez képest terjed a fény fénysebességgel?

Ezek fogják a klasszikus fizikát szétfeszégetni, és megalapozni a relativitáselméletet.