

## A rádióhullámok felfedezése (Faraday, Maxwell, Heinrich Hertz)

ZOMBORY LÁSZLÓ

*zombory@mht.bme.hu*

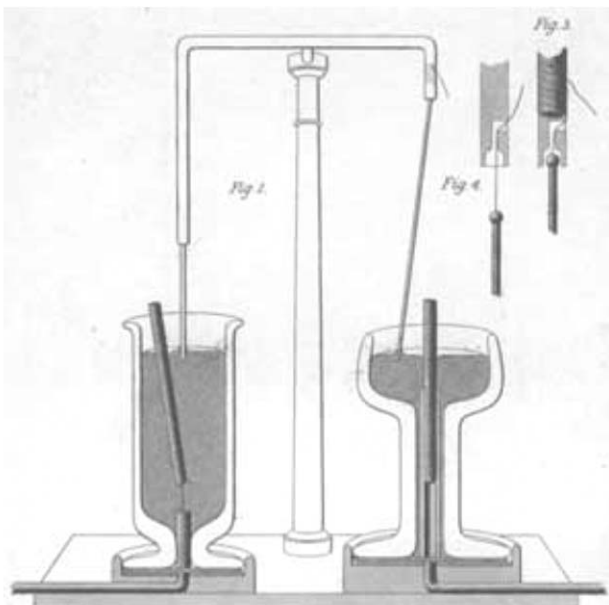
A felfedezés színpadán az első főszereplő Faraday. Róla nagyon sokat hallottunk és tanultunk már középiskolában is. Autodidakta volt, könyvkötősegédként került be egy kutatólaboratóriumba és ott nőtte ki magát a legnagyobb angol fizikusok egyikévé. Kísérleti fizikus volt, óriási fantáziával, manualitással, ötletekkel megáldva és egy óriási szerencsével: nem volt tanult fizikus, sem matematikus. Ezért a kor nagy betegsége – miszerint ahogy felfedez valamit, azt azonnal képletekbe kell öntenie és egyenleteket kell felírnia –, őt elkerülte. Inkább képekben gondolkodott, tőle származik az erővonal fogalma, az erővonalképek, ami teljesen idegen volt egy korabeli fizikus számára. Hadd mondjam el, hogy Newton után fizikusok csak úgy tudtak elképzelni erőt, hogy van egy pont meg egy másik pont, melyek egymásra hatnak egy egyenes vonal mentén. Görbe erővonalat egy korabeli céhbéli fizikus nem tudott volna elképzelni, így Faraday erősen meglepte a környezetét.

1821-ben – még 30 év körüli fiatalemberként – felkérést kapott arra, hogy az addigi elektromágnességgel foglalkozó kísérletekről készítsen egy összeállítást. 1820-ban fedezte fel Ørsted az áram mágneses hatását, hogy elforgatja az iránytűt és Ampère még ugyanabban az évben elvégezte a híres kísérleteit, amelyekben az áramok egymásra való erőhatásával kísérletileg és elméletileg is foglalkozott. 1821 éppen ezután következett. Faraday óriási lelkesedéssel látott a feladathoz.

Bemutatom egy fiatalkori képét, mely 1831-ből származik, korábban nem találtam. És valóban mindent feldolgozott, elvégzett minden kísérletet, amit addig végeztek, sőt kitalált még egyet. Ennek az eredeti ábrája van itt az ő cikkéből.

Szerette volna bemutatni a mágneses erővonalakat. A mágneses erővonalak az áramot köralakban veszik körül. Faraday kitalálta azt, hogy higanyt öntött egy pohárba, ezen áram folyt keresztül a belső vezetőken és egy mágnesrudat erősített alul csapágyazva a pohárba. A mágneses erővonalak mentén a mágnesnek a másik vége mozogni kezdett. Ugyanezt fordítva is meg tudta ismételni amikor a vezeték mozgott és a mágnes volt rögzítve. Ez volt egyébként az első elektromotor, mely nagy szenzációt keltett és persze egy csomó irigységet. Utóbbi következtében tíz évre gyakorlatilag eltiltották az elektromágneses kísérletektől, így legközelebb 1831-ben láthatott újra neki.

El kell mondanom, hogy ő is az akkor nagyon divatos, romantikus természetfilozófiának a híve volt. Ez a romantikus művészettel együtt fejlődött, leginkább Németországban. Az alapelképzelés, hogy a természet egy óriási egységet alkot, minden mindenre hasonlít és a természet és az ember is egy óriási egység. Az ideológia egyik nagy német megalapítója írta le a következő, jelmondattá lett gondolatot: „A lélek a természet és a természet a lélek”. A természetfilozófiát ne értsék félre, hiszen akkor minden tudományt filozófiának hívtak.





Tehát ami ma természettudomány, az volt akkoriban a természetfilozófia. Ma is a filozófia doktorait avatjuk, ez egyszerűen azt jelenti, hogy tudományból doktorálnak. Nos, az ő képében a fény, az elektromosság, a hő, a mágnesség ez mind egyetlen egy valamiféle nagy egységnek a különböző megjelenési formái voltak.

1831-ben, amikor újra elkezdett elektromosságtannal foglalkozni, ezen az analógiás alapon a következőket mondta: ha egyszer egy töltött testet közel teszünk egy töltetlen testhez, és azon az töltést tud indukálni, (ő ezt a kifejezést használta, ma azt mondjuk, hogy megosztással töltést hoz létre), akkor ugyanezt az áramoknak is tudni kell, mert ez következik a romantikus filozófiából. Egy tekercsben folyó áramnak egy másik tekercsben áramot kell létrehozni.

Szisztematikusan kísérletezni kezdett, melynek kísérleti eszköze a fenti fényképeken látható. Ezt a kis gyűrűt ma transzformátornak neveznénk. Két tekercset helyeztünk egy vasmagra, az egyikben folyt az áram, a másikban nem. Aztán az egyikben újra folyt az áram, a másikban újra nem. A kísérleti naplók kétségbeesetten írják, hogy „no effect...”, naponta többször, amíg egyszer csak véletlenül rá nem jött – másképp kapcsolta be vagy más telepet kapcsolt be –, hogy a bekapcsolásnál egy rövid ideig áram folyik a másik tekercsben is. Ma már tudjuk, hogy feszültség indukálódik, nem áram, csak rajta volt az árammérő műszer. Felfedezte az indukció jelenségét.

Mit mondtam, igazi kísérleti fizikus volt, így nyomban rákapott és az összes lehetséges módon létrehozta az indukciót. Áramot kapcsolok ki-be, mozgatom az egyik tekercset (azt már nem ebben a berendezésben). Ha az egyik tekercs mozog, a másik nem és van indukció, akkor permanens mágnessel is kipróbálom, mozgatom a tekercsben, így is van indukció. Ő mindezt az erővonalak és a másik tekercs metszésével magyarázta. Ma már tudjuk, hogy a fluxus változik, de Faraday még a fluxus fogalmát sem ismerte. 1831 novemberében és 1832 januárjában adta elő az eredményeit a Royal Society-ben, amellyel tulajdonképpen kezdetét vette a modern, korszerű elektrodinamika korszaka.

Az önindukció jelenségét Henry is felfedezte Princetonban. Az amerikaiak sem szeretik, ha kimaradnak valamiből, tehát nekik is van egy fizikusuk a területen. Ma általában azt mondják, hogy övé az önindukció, a kölcsönös indukció pedig Faraday-é és ebben megegyeznek. Lenz pétervári fizikus ezidőtájt alkotta meg az előjel-szabályt. Egy fiatal fizikus, a 18 éves Thomson elég korán kezdte az egyetemet, akkoriban másodéves cambridge-i diák volt. Ő adott magyarázatot az erővonalakra egy hőáramlási analógiával és nagyon biztatta Faradayt, hogy kísérletezzen tovább.

Faraday hamarosan fel is fedezett egy új jelenséget. A mágneses tér – mint azóta tudjuk – megfelelő anyagokban a transzverzális elektromágneses hullám polarizációs síkját el tudja fordítani. Ez a Faraday-effektus. Meggyőződése a romantikus természetfilozófia igazában teljessé vált: a mágnesség és a fény is ugyanaz, hiszen hatnak egymásra. Egész további életében egy ábrándot kergetett; a gravitáció és a fény kölcsönhatását. Ez a mai fizikusoknak is egyik legnagyobb problémája, miszerint a gravitációs és az elektromágneses kölcsönhatást nem sikerült egy elméletben összeegyeztetni, amikor is a többi kölcsönhatásoknak már van közös elméletük.



Minden pénteken volt a Royal Society-ban egy előadás. Amikor egyszer távolmaradt az aznapi előadó, megkérdezték őt – aki legendásan jó beszélő volt –, hogy van-e valami előadása. Ő azt mondta igen. És tartott egy előadást arról, hogy az ő, mármint Faraday erővonalai mentén úgy feszül meg a közeg, hogy ott a kis részecskék rezegni kezdenek és szerinte ez a fény. Ez a kép később rettenetesen megihlette Maxwell-t.

A túloldal alján látható rajz őt ábrázolja előadás közben. Számomra nagyon érdekes az, hogy a legfontosabb eszköz az előadásokon már akkor is a projektor volt.

Munkáit egy nagy, háromkötetes gyűjteményben gyűjtötte össze. Ez abszolút a kor bibliája volt, egyebek között Maxwell is ezt tanulmányozta.

Amikor erre a történeti visszatekintésre készültem, elgondolkodtam azon, hogy egy nagy természettudós hogyan válik közismertté. Egyértelmű, hogy a legjobb módja ennek, hogy ha pénzre kerül. A 20 fontos angol bankjegyen Faraday arcképe látható. Amikor már a konzervatív Angliában nemcsak az uralkodó képe lehetett a bankjegyen (mert elől most is az van), akkor Faraday rögtön felkerült.



Faraday felfedezése, az indukció robbanást idézett elő az elektrodinamikában, elméletileg és gyakorlatilag is:

1826	Ohm-törvény
1845-47	Franz Ernst Neumann (1798-1895) indukcióelmélete
1846	William Thomson: rugalmasságtani analógiák Wilhelm Weber (1804-1891): módosított Coulomb-törvény
1847	Hermann von Helmholtz (1821-1894): elektromos energia
1849	Fizeau-Foucault: $c = 298.000$ km/s
1850	W. Thomson: mágneses térerősség, mágneses indukcióvektor
1853	W. Thomson: mágneses energia kondenzátor kisülése, oszcilláció $T = 2\pi\sqrt{LC}$ (igazolás: B.W. Feddersen (1857) 1MHz)
1854	James Clerk Maxwell (1831-1879) tanácsot kér W. Thomsontól: hogyan kezdjen el elektromágnességgel foglalkozni
1855	W. Weber: $q(\text{em})/q(\text{ed}) = 310.740$ km/s

Nem akarom most a névsort végigvenni, bizonyos vonatkozásaival még találkozunk a későbbiekben.

Thomson, aki többször is beleszólt a dolgokba, a legnagyobb tettét akkor követte el, amikor a hozzá forduló fiatal skót fizikust James Clark Maxwell-t ellátta instrukciókkal, hogyan is fogjon neki az elektrodinamikának. A tanácsait érdemes elmondani: tanulmányozza Faraday háromkötetes nagy munkáját, olvassa William Thomstont, azaz őt magát, utána olvasson Ampère-t, akiről az áramok kölcsönhatásánál volt szó, majd a német fizikusokat, Weber és Neumann, akik akkoriban klasszikus Newton-típusú elméleteket gyártottak... Hát nem volt túl szerény, de már akkor volt mire szerénytelennek lennie. Ma már Lord Kelvinként ismerjük, de akkoriban Thomson még fiatal fizikus volt.

Maxwell megfogadta a tanácsait és két év múlva megírta az első saját munkáját, amely még nagymértékben Thomson hatását tükrözi. Mintegy tíz éven keresztül finomodott tovább az elmélet, míg végül 1865-ben megszületett az a munka, melynek címében először jelent meg az elektromágneses tér kifejezés („On a Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”), vagyis már tér és nem távolról kölcsönható erőközpontok és ennek a dinamikus elmélete.



Ebben jelentek meg először a Maxwell-egyenletek. Mi villamosmérnökök, akik tanultuk a Maxwell-egyenleteket, rá nem ismernénk az eredeti formájukban. Először is minden skalár komponensnek volt egy külön jelölése. Képzeljék el, hogy a mágneses tér komponensei  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $\gamma$ , az elektromos téré pedig P, Q, R. Mint hogy 20 skalár változója volt, 20 skalár differenciálegyenletet kellett felírni, mindent komponensenként. Teljesen áttekinthetetlen volt.

Eredeti (1865) (mai jelöléssel)	Ma használatos (1884) (O. Heaviside–J.W. Gibbs)	
$\text{rot } H = J_{\text{tot}}$	$\text{rot } H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	
$J_{\text{tot}} = J + \frac{\partial D}{\partial t}$	$\text{rot } E = -\frac{\partial B}{\partial t}$	
$\text{div } D = \rho$	$\text{div } D = \rho$	
$\mu H = \text{rot } A$	$\text{div } B = 0$	
$E = -\text{grad } \phi - \frac{\partial A}{\partial t}$	$D = \epsilon E \quad B = \mu H \quad J = \sigma E$	
$E = \frac{1}{\epsilon} D$		
$E = \frac{1}{\sigma} J$		
$\text{div } J = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$		

Még ahogy itt össze van szedve mai jelöléssel, még így is rendkívül konfuz. Szerepel benne tér, potenciál (ezek ma segédmenyiségek). A Maxwell-egyenletek-

nek azt a szép, esztétikus formáját, amit ismerünk, ezt a négy egyenletet a követői írták föl 1884-ben, az eredeti egyenleteket átalakítva. Maxwell ezeket soha nem látta. De ebből derül ki, hogy hogyan születik az elektromágneses hullám.

A nagy felfedezés az volt, hogy az áram nemcsak a vezetési áramból áll, hanem a villamos tér változását leíró eltolási áramból is. Ezek együtt hoznak létre mágneses teret és ha nincsen vezetési áram akkor csak az eltolási áram, a tér változása is létrehozza a mágneses teret. A változó mágneses tér pedig – ez volt Faraday nagy felfedezése – villamos teret hoz létre. A változó mágneses tér villamos teret kelt, a változó villamos tér pedig mágnesest. A terek úgy tudnak egymásba kapcsolódni, mint kis gyűrűk, így terjednek tovább. A kép persze nem pontos, de ez a lényege. A terjedés sebessége véges és Maxwell-nek kijött a számításokból a véges sebességre egy fénysebességhez nagyon közeli érték. Ezért azt remélte, vagy gondolta, hogy a fény maga elektromágneses hullám. Az elmélet kerek volt és teljes, ezzel együtt gyakorlatilag a német iskola kezdett uralkodni két okból is. Az egyik, hogy a régi, newton-i iskolához jól kapcsolódott a német elméleti tevékenység. Maxwell-t kevésbé értették, az egyenletei pedig elég konfuzak voltak. Másodszor, a kontinenshez képest Nagy-Britannia már akkor is sziget volt és a kontinensen a német fizikusok sokkal erősebben hatottak. Maxwell-t ez eléggé elkedvetlenítette és elhatározta, hogy egy nagy védőíratban megvédi a saját – ő tudta, hogy kiváló – elméletét. Így született meg a fizika történetének a nagy newton-i Principia utáni másik nagy könyve, az „Értekezés az elektromosságról és mágnességről”.

Minden benne van, ezt a könyvet is bibliaként olvasták. Az összes addigi kísérletek értelmezve, megmagyarázva, világos ábrákkal. Az érthetetlen eredeti cikkbeli ábrákat Maxwell újrarajzolta, úgy hogy didaktikusan érthetőek legyenek. Éppen csak a maxwelli elméletről van belőle kevés. A két kötetes, 800 oldalas könyvben körülbelül húsz oldal foglalkozik a Maxwell-egyenletekkel. Még mindig nagyon konfuzak, bár kicsit javított a kinézetükön, már vektorok is vannak benne. A nagy alap-egyenlet így szerepel az eltolási áram című fejezetben,



amivel itt egy bélyegen – nyilván egy okos tanácsadó javaslatára –, az elmélet lényegeként illusztrálnak: az áram két része a vezetési áram és az eltolási áram. Az eltolási áram miatt van elektromágneses hullám az

elméletben. Ami nagyon fontos ebben a könyvben, hogy többé nem hezitál, hanem kimondja, hogy a fény elektromágneses hullám. Egy gyönyörű nagy fejezet foglalkozik vele. Itt van ábrázolva a síkhullám elektromos és mágneses tere is, pontosan úgy, ahogyan a mai tan-  
könyvben megtalálják.

És utána ha nem is néma csönd, de az a pezsgés, ami a Faraday és Maxwell munkássága között eltelt időben volt, korántsem folytatódik Maxwell után az elektrodinamikában. Gyakorlatilag nem fejlődik tovább, holott minden rendelkezésre áll. Van telep – ez még Voltának köszönhető –, van kondenzátor – ez a Leydeni palack: üvegen kívül-belül fémfólia –, és Faraday-nek hála, van induktív tekercs is. De még mindig nem érthető jól

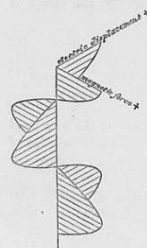
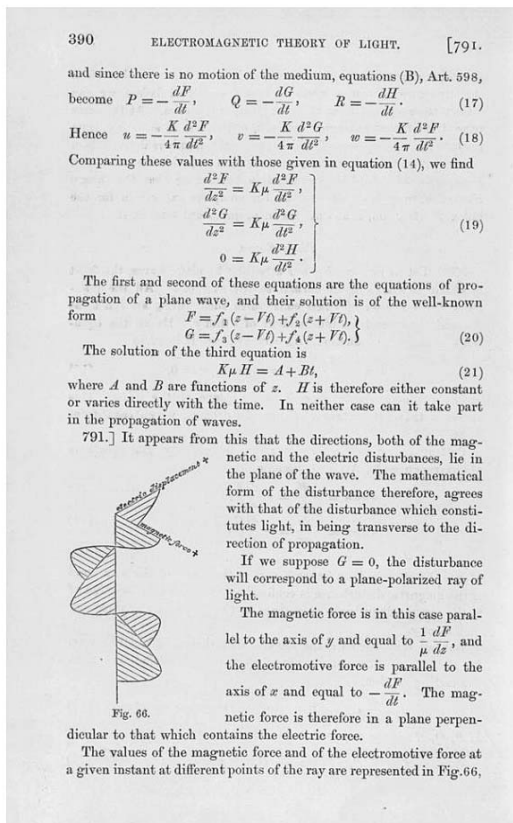
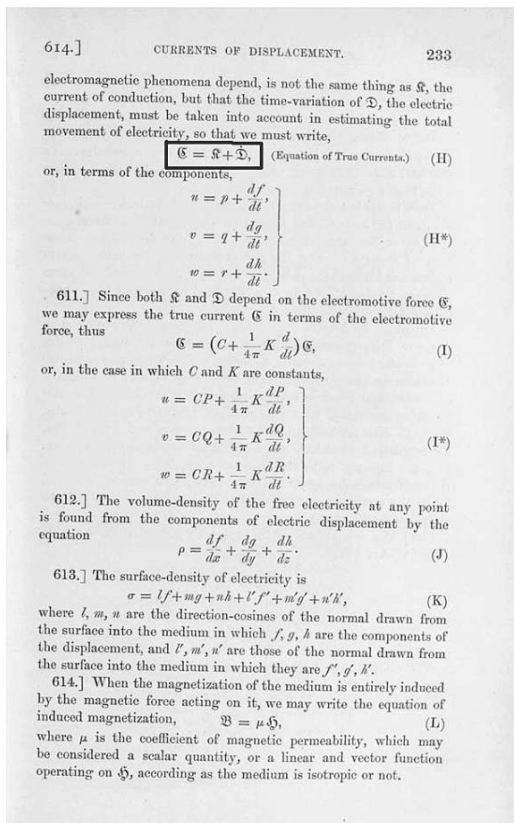


Fig. 66.



az elmélet. Van egy óriási hibája, amiről ritkán beszélünk, mert megtanultuk az egyenleteket a mai formájukban. Maxwell nem adott útmutatást arra, hogyan kell kelteni ilyen hullámokat. Azt hogy vannak, és hogy a fény ilyen, azt deklarálta, de hogy hogyan kell ilyet kelteni, azt nem mondta meg. A baj a következő: az ő elmélete az egyenletei mögött túlságosan skrupulus volt. Az áram és a töltés nem is jelentek meg, csak úgy mint a térnek nem kívánatos melléktermékei, de észre kellett venni, hogy ezek a tér gerjesztő mennyiségei.

És persze amikor valamire szükség van, akkor előbb-utóbb megjelenik az, aki ezt meg is tudja tenni. Ez pedig Heinrich Rudolf Hertz német fizikus volt, aki egy évvel azután született, hogy Maxwell megírta első nagy tanulmányát. Ő is volt fiatal, rengeteg tévedés van az életében, rossz egyetemre iratkozik, elmegy katonának...

Első fényképén (fent) katonaként látjuk, 19-20 éves. A papa, aki jól menő hamburgi ügyvéd volt, megunván a dolgot azt mondta, hogy nézd fiam, lehetsz tudós, lehetsz mérnök, bármi lehetsz, de tisztességgel végezd el az egyetemet. Ekkor megemberelte magát és beiratkozott Berlinben az egyetemre. Engedjenek meg itt egy einsteini idézetet. Einstein azt mondta, hogy a zseni nem egyéb, mint az a tehetség, aki mindig, minden impulzust a kellő időpontban kapott meg. Hertz-cel lényegében ez történt. Szeretném elmondani, hogy miért is éppen ő tette ezt a felfedezést. Először is azért, mert beiratkozik arra az egyetemre, ahol akkor a két legnagyobb német fizikus, Helmholtz és Kirchhoff a fizika tanárok. Helmholtz-ot különösen érdekli az elektrodinamika, maga is aktívan vizsgálódik a témában.

Hertz egy kicsit aggódik és fél attól, hogy nem lesz világhírű, de azonnal megnyeri a Helmholtz által kiírt tanulmányi versenyt. Ebben kimutatja azt, hogy a változó áramokban tehetetlenek a töltések és ezért nem igazak a newtoni elméletek, amelyekben tehetetlenség nélkül van kölcsönhatás.

1879-ben a berlini porosz akadémia kiír egy díjat egy kísérletre, ami igazolja vagy megcáfolja Maxwell eltolási áram egyenletét. Helmholtz nagyon biztatja kedvenc diákját, Hertz-et, hogy pályázzon. De hamar rájönnek mindkettőn, hogy a dolog nem megy. Miért nem megy? Mert nem tudnak elég nagy frekvenciát előállítani. Ebben az olvasói körben nem kell magyaráznom, hogy az eltolási áram csak akkor mérhető össze a vezetési árammal, ha a frekvencia elég nagy és nem állt rendelkezésre elég nagy frekvencia. Azt hiszem, hogy Hertz egész életében ezt a „berlini díjnak” nevezett kérdést akarta megválaszolni. Például azért, mert professzorával olyan volt a viszonya, hogy be akarta bizonyítani: ő ezt meg tudja oldani. Ezért születtek meg a rádióhullámok, mint azt majd látni fogjuk.

Közönséges, kevésbé érdekes témából doktorál. Egy Herr Doktor fizikus Németországban vagy jó gimnáziumban volt tanár, vagy egyetemre ment tanítani. Hertz azonban nem kapott állást három évig és előfordult vele az, ami Magyarországon is oly sokszor, hogy professzorként a kedvenc diákjának projektjéből teremtett egy asszisztensi állást és három évig azon dolgozott.

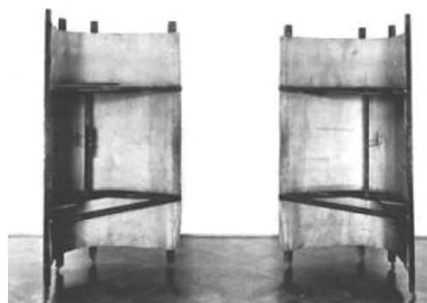
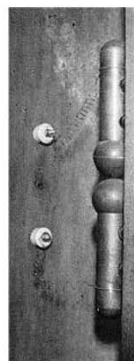
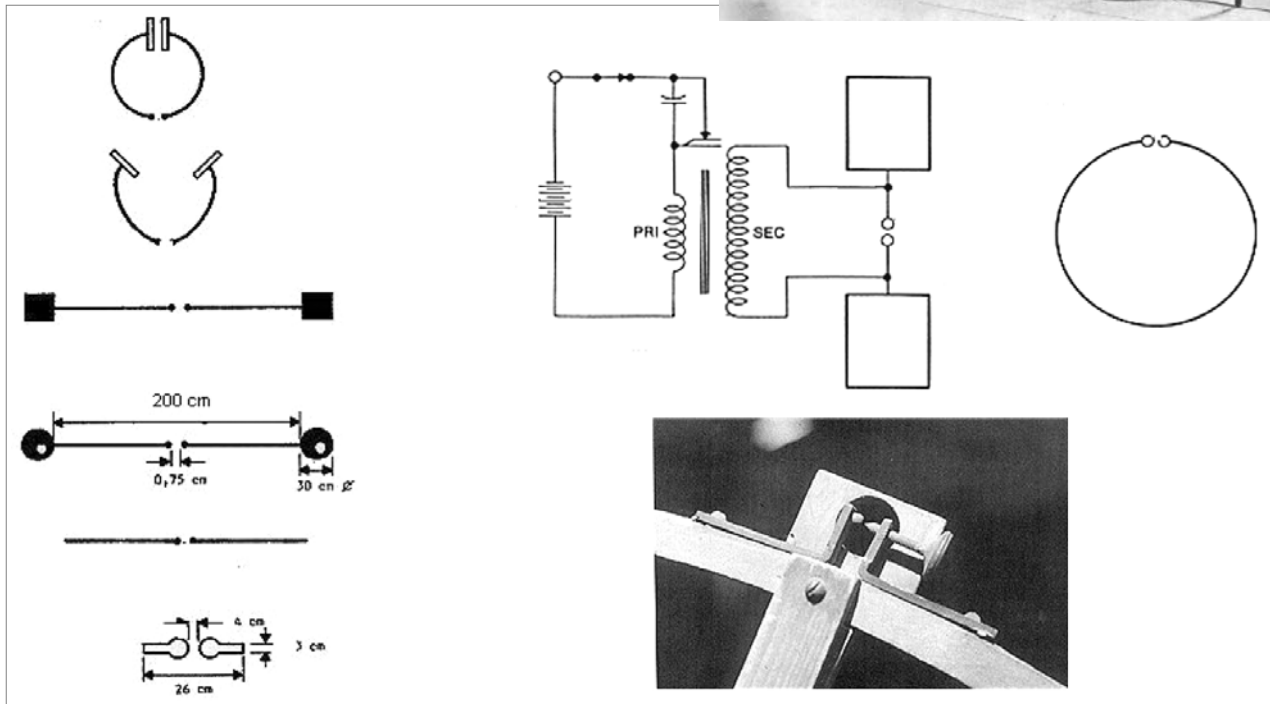
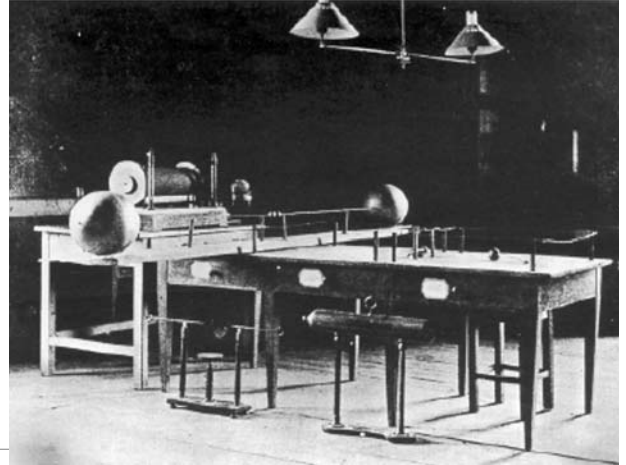
Három év után magántanár lesz Kielben – ez a kettes számú einsteini hatás. Kielben magántanár, nem professzor, nincs katedrája, nincs laboratóriuma. Kénytelen elmélettel foglalkozni, előveszi az özszes elektrodinamikusan elméletet, Maxwellt és a két nagy németet, Weibert és Neumann. Tanulmányozza őket és megír egy nagy összefoglaló munkát, amelyben újraértékeli a Maxwell-egyenleteket és lényegében abban a formában írja fel őket újra, ahogy azt az előzőekben megmutattam az angol követők részéről. Mindemellett kimutatja, hogy nincs szükség éterre. Ő is hisz az éter létezésében, ahogyan minden fizikus hisz, de belátja, hogy az egyenletekhez nem szükséges. Csak egy érdekes lábjegyzet megint, hogy az éter szükségességét megdöntő híres Michelson-kísérletet az a Michelson végzi, aki

ugyanakkor doktorandusza Heimholtz-nak, amikor ott dolgozik tanársegédként Hertz. Tehát közvetlenül értesül az első előkísérletről, amelyik kételkedik az éter létében.

Nem kis mértékben ez az 1884-ben megjelent cikke predestinálja arra, hogy Karlsruhe-ban tanár legyen. Ott már laboratóriuma van, kísérletekbe kezd nagyfrekvenciás átvitelben, de az a baj, hogy még mindig nem elég nagy a frekvencia. Már gyűszűnyi a Leydeni palack, úgyszólván már nincs kapacitása, de még mindig nem elég a frekvencia. Minél kisebb kapacitás kell, az ötlete az, hogy ki kell nyitni a rezgőkört és ebből a kinyitott rezgőkörből végül gömb alakú fegyverzetekkel megszületik az első antenna.

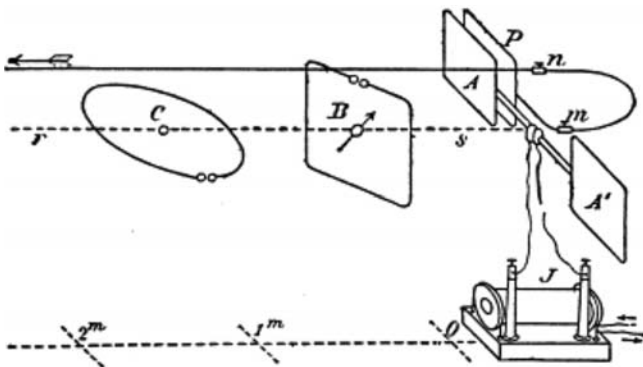
Körülbelül 2 méter hosszú, de a végén levő kapacitások miatt félhullámhossz, 6 méteres hullámhossznak a félhullámhossza. Szikrainduktorral hajtja meg és egy egyszerű kis kör alakú antennával veszi. Itt is szikrák jelzik a hullámokat, s ha itt szikrázik a szikraköz, akkor elég nagy feszültség van, nagy a térerősség. A kisebb fényképen egy szikraköz mikrométeres csavarja látható.

Itt az első igazi kísérleti berendezés! 1886. november 13. – kísérletileg ez a rádióhullámok születésnapja. Az első 1,5 méteres átvitelt el tudja végezni, s miután ő is vérbeli fizikus és kiváló kísérletező, mindent megmér amit lehet. Reflexiótól, refrakciótól, hullámhosszt. Rövidebb hullámokat is generál 500 MHz frekvencián.



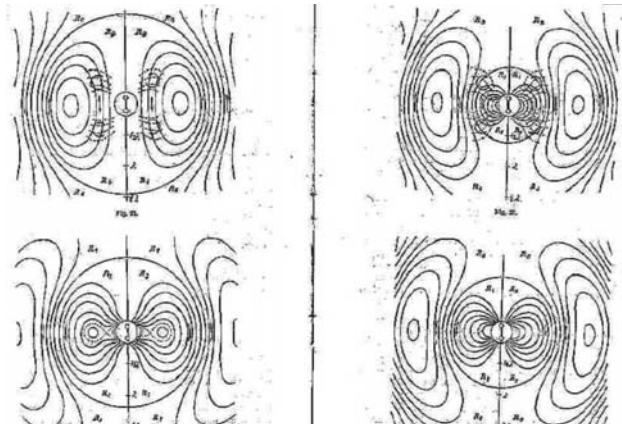
Az előző oldal alján egy korabeli grafikus szemével láthatjuk a kísérletet, s rajzából kitűnik, hogy ő látni vélte az elektromágneses hullámokat – ez nagyon didaktikus. De ami nekem ez a grafikon rettenetesen tetszik, az a telep. Nézzék meg mi ragadta meg legjobban a művész figyelmét; az óriási mennyiségű telep. Mellette a fotósorozaton a kísérleti eszközök, így például a parabolaantennái, a polárszűrő látható. Mindent, amit lehetett megcsinált.

Állóhullám hullámhosszokat mért. Azzal, hogy vannak állóhullámok, már bebizonyította, hogy Maxwellnek van igaza, mert a terjedési sebesség véges. De még nagyobb volt az ambíciója, ki akarta számítani, hogy mekkora az a sebesség. Hullámhosszokat mérve kiszámolta a frekvenciát, s mivel az eredmény 200.000 km/s lett, nagyon csalódott volt, mert tudta, hogy ez körülbelül 300.000 km/s kell legyen.



Két évvel cikke megjelenése után egy francia fizikus, Poincaré mutatta meg, hogy a legnagyobbak is alsznak néha, mivel egy gyök kettes faktor hiányzott, – így már az eredmény 280.000 km/s volt, 7%-os hibán belül.

Sokat publikált, fegyelmezett német volt. Marconi ezeket olvasta és vitte tovább. Ahogyan azt a lenti felsorolás is mutatja, szerepelt a cikkek között a „berlini díj” megoldása is. És az elmélet.



A rajzai olyanok, mintha számítógéppel számolta volna, és rajzolta volna őket... Négy fázis ábra; a dipólus sugárzása negyed periódusonként, amit tökéletesen leírt. Újraformálta a Maxwell-egyenleteket és ebben az újragondolásban már lényegében a relativitás-elmélet eszméit pendítette meg. Einstein híres 1905-ös cikkében végig Maxwell-Hertz egyenleteknek nevezte az elektrodinamika alapegyenleteit.

Aztán egyszer csak abbahagyta az egészet. Bonnban lett egyetemi tanár, kitüntető állás volt, de ez már epilógus. Nem foglalkozott többé elektrodinamikával. Hogy miért, erről külön lehetne értekezni. Megbetegedett és nagyon gyorsan, 37 évesen meghalt. Kedvenc tanára a kedvenc diáknak még halála előtt germán pogánysággal azt mondta; az istenek megirigyelték sikereit és egyszerűen elszólították. Ha lett volna akkoriban már Internet, akkor a lenti lett volna a hivatalos bonni fényképe a honlapon...

Röviddel ezután – a díj odaítélésének mechanizmusát ismerve nagyon korán – a szikratávíróért Nobel-díjat adtak. De aki igazán ott kellett volna, hogy legyen a díjátadáson a díjazottak között, már nem élt.

A hazai rádiózás születésének 100. évfordulójára rendezett konferencián 2006. szeptember 7-én elhangzott előadás szerkesztett változata.



#### • Mellékeredmények

- ☐ a fényelektromos hatás felfedezése – 1887: „Über einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung”
- ☐ „Berlini Díj” – 1887: „Über Induktionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren”

#### • Elektromágneses hullámok keltése, tulajdonságai

- ☐ 1887 „Versuche über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkung”
- ☐ 1888 „Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen”
- ☐ 1888 „Über die Einwirkung einer geradlinigen elektrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn”
- ☐ 1888 „Über elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion”

#### • Elméleti munkák

- ☐ 1888 „Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie”
- ☐ 1889 „Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper”
- ☐ 1890 „Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper”
- ☐ 1892 „Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft”