

# Povijest otkrića elektriciteta i magnetizna

---

**Popić, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:995669>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika**

**POVIJEST OTKRIĆA ELEKTRICITETA I  
MAGNETIZMA**

**Završni rad**

**Antonio Popić**

**Osijek, 2019.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 16.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Antonio Popić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	AI4524, 21.09.2018.
<b>OIB studenta:</b>	71355622627
<b>Mentor:</b>	doc.dr.sc. Marina Skender
<b>Sumentor:</b>	Prof. dr. sc. Željko Hederić
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Doc.dr.sc. Ivica Lukić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Nenadić
<b>Naslov završnog rada:</b>	Povijest otkrića elektriciteta i magnetizma
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	Povijesni pregled najznacajnijih opažanja, eksperimenata i teorija elektriciteta i magnetizma, od antičkih vremena do novovjekog Maxwellovog objedinjenja.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	16.09.2019.
<i>Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:</i>	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 12.10.2019.

**Ime i prezime studenta:**

Antonio Popić

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Informatika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A14524, 21.09.2018.

**Ephorus podudaranje [%]:**

0%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Povijest otkrića elektriciteta i magnetizma**

izrađen pod vodstvom mentora doc.dr.sc. Marina Skender

i sumentora Prof. dr. sc. Željko Hederić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1    Zadatak završnog rada.....	1
2. PRVA OTKRIĆA O MAGNETIZMU.....	2
3. ELEKTRICITET U 18. i 19. STOLJEĆU .....	6
3.1 Galvanske struje.....	11
3.2 Magnetska djelovanja električne struje .....	14
3.3 Telegraf i telefon.....	16
4. ELEKTRIČNO I MAGNETSKO POLJE .....	17
4.1 Elektromagnetski valovi.....	20
4.2 Razvoj elektrotehnike.....	23
5. ZAKLJUČAK .....	26
LITERATURA.....	27
SAŽETAK .....	29
ABSTRACT.....	30
ŽIVOTOPIS.....	31

# 1. UVOD

Pojave elektriciteta i magnetizma, poznate još od antičkih vremena, golicale su ljudsku znatiželju. Njihovim sustavnim proučavanjem, razvojem eksperimentalnih metoda i uređaja te pripadnih teorijskih objašnjenja postupno se dolazilo do modernih shvaćanja o ovim pojavama.

U poglavlju 2 opisuju se rana otkrića o elektricitetu i magnetizmu, obuhvaćena u periodu od antičkog vremena do vremena renesanse. U poglavlju 3 govori se o eksperimentima i shvaćanjima elektriciteta u 18. i 19. stoljeću. Opisuje se otkriće galvanske struje i njihovih izvora, prva shvaćanja elektriciteta kao tekućeg fluida, otkriće o magnetskom djelovanju električne struje, otkriće o induciranju električne struje pokretnim magnetom te početak striktnog matematičkog tretiranja ovih pojava. U 4. poglavlju opisan je značaj Maxwellovih jednadžbi, otkriće elektromagnetskog vala, te utjecaj na početak razvoja elektrotehnike. U 5. poglavlju je zaključak.

## 1.1 Zadatak završnog rada

Zadatak ovog rada jest prikazati u osnovnim crtama razvoj shvaćanja elektriciteta i magnetizma, od antičkog vremena pa sve do formulacije Maxwellovih jednadžbi i pripadnih novovjekih shvaćanja, koja su dovela do razvoja tehnologije te promjene civilizacije.

## 2. PRVA OTKRIĆA O MAGNETIZMU

Smatra se da je magnetske pojave prvi opazio jedan pastir na otoku Kreti. Hodajući u sandalama koje su sadržavale željezne čavle, osjetio je da mu stopala privlači jedan kamen. Primijetio je da je taj kamen, magnetit, ono što privlači čavle njegovih sandala. O ovom čudnom otkriću obavijestio je i ostale ljude [3].

U kasnije doba nastale su i druge priče o magnetima. Primjerice, u Arapskim noćima spominju se čitave magnetske planine na dnu mora koje izvlače željezne čavle iz brodova te ih tako potapaju.

Neobična pojava da magnetske rude privlače željezo golicala je maštu starih naroda. Tales iz Mileta pokušao je rastumačiti djelovanje magneta tako da je magnetu pripisao dušu koja privlači željezo. Ta duša bila bi, donekle slična duši čovjeka i životinje, jer inače ne bi mogla djelovati na daljinu.

Grci su otkrili kako se magnetska moć prenosi i na nemagnetično željezo. Filozof Demokrit ponudio je objašnjenje da su atomi magnetske rude istovrsni s atomima željeza pa ih zato privlače. Moguće je da se ta tvrdnja temeljila na iskustvu i da se iz magnetskih ruda da istaliti željezo [3].

U antičko vrijeme opažanja o elektricitetu bila su oskudna. Najvažnije što su Grci otkrili je da jantar privlači laka tijela ako ga trljamo. Grci su jantar nazivali elektron pa od tu potječe današnji naziv elektricitet.



*Slika 2.1. Kamen koji privlači željezne kolute [3].*

Sokrat, po Platonovu naučavanju kaže: „Ovaj kamen ne privlači samo željezni kolut, nego mu također predaje svoju silu, tako da taj kolut opet privlači drugi željezni kolut, i na taj način nekoliko željeznih komadića može zajedno visjeti; to se događa jedino silom magneta“ [3].

U srednjem vijeku oživljava ponovno zanimanje za magnetske pojave uslijed korištenja kompasa u pomorstvu za navigaciju. Kompas je korišten u drevnoj Kini još u doba prije Krista. Najjednostavniji kompasi sastojali su se od željezne igle koju se magnetiziralo prirodnim magnetom. Tu magnetsku iglu se pričvrstilo na laku daščicu i stavilo na površinu vode. Plivajući na vodi, igla se jednim svojim krajem okreće prema sjeveru. Taj pol magneta nazvan je sjeverni, a suprotni južnim polom.



*Slika 2.2. Kineski pokazatelj na jug [3].*

Slika 2.2. prikazuje nam spravu čovječjeg lika u kojoj je bio sakriven magnet. Taj se magnet, 2000. godina prije Krista vrtio oko vertikalne osi te prikazivao smjer juga [3].

Uporabom kompasa nastajale su sve jasnije predodžbe o zemaljskom magnetizmu i o djelovanju magneta. Godine 1269. Petrus Peregrinus, izdao je raspravu o magnetu u kojoj je iznio da se istoimeni polovi magneta odbijaju te da su dijelovi magneta opet potpuni magneti.



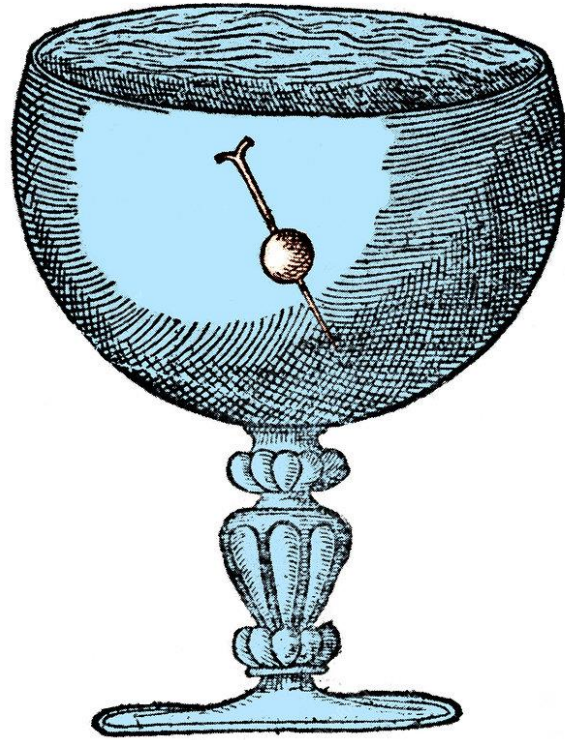
Prelamanjem štapićastog magneta neće jedan dio sadržavati samo sjeverni pol, a drugi južni pol magneta, već će obje polovice magneta imati i sjeverni i južni pol.



*Slika 2.3. Peregrinusov eksperiment privlačnosti i odbijanja [16].*

Peregrinus opisuje eksperiment na principu privlačnosti ili odbijanja dvaju magnetskih kamena od kojih jedan pluta na vodi, a drugi se nalazi u ruci eksperimentatora [16].

S razvojem prirodne znanosti tijekom doba renesanse dolazi do propitivanja zakona i sila gibanja. Godine 1600. William Gilbert objavljuje djelo *De Magnete*, u kojem opisuje ponovljene nekadašnje eksperimente o magnetizmu. Ispitivao je hoće li se težina željeznih igala magnetiziranjem povećati, te je vaganjem utvrdio da to neće biti tako. Njegova empirijska istraživanja bila su preteča novodobnih metoda razvijenih u mehanici. Gilbert je nadalje proučavao kako se različite predmete može trenjem naelektrizirati. Poput milanskog matematičara Cardana, i Gilbert otkriva osnovnu razliku između električnih i magnetskih tijela. Dok magnetska sila izlazi samo iz polova, električna tijela privlače sitne papiriće prema svakoj točki svoje površine. Osobito su važna bila Gilbertova ispitivanja o zemaljskom magnetizmu. Spoznao je da je sam planet Zemlja poput jednog velikog magneta s dva magnetska pola.

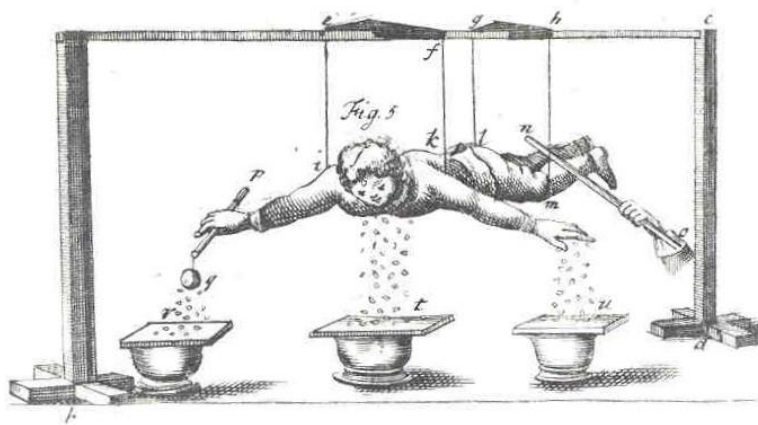


*Slika 2.4. Naginjanje magnetske igle pod kutom uranjanja [9].*

Gilbertova ilustracija iz *De Magnete* na slici 2.4. prikazuje magnetsku iglu kako se naginje pod tzv. kutom uranjanja. Kugla, uravnotežene sile gravitacije i uzgona, lebdi unutar vode. Kut uranjanja mjeri se horizontalno pomoću igle kompasa. Taj kut varira u različitim točkama Zemljine površine. Rezultat ovog magnetskog uranjanja jest poravnanje uronjenog magneta sa Zemljinim magnetskim silnicama. Zemljine magnetske silnice nisu paralelne s površinom: sjeverni kraj igle kompasa usmjerit će se prema dolje, u sjevernu hemisferu, tzv. pozitivan pad, ili prema južnoj hemisferi, tzv. negativan pad [9].

### 3. ELEKTRICITET U 18. i 19. STOLJEĆU

Veliki napredak u eksperimentiranju s elektricitetom čini 1729. godine Stephen Gray. On bi elektrizirana tijela dodirnuo metalnim komadićima, pri čemu je utvrdio da su i ti metalni komadići također postali naelektrizirani, čime je utvrdio da elektricitet prelazi i na nanaelektrizirana tijela. On uočava da se tijela mogu svrstati u vodiče i nevodiče. Nevodiči se mogu trenjem i naelektrizirati, no ne mogu prenositi električni naboj. Takvi materijali su primjerice staklo, parafin, guma te prazan prostor. Uočio je da se po metalima elektricitet brzo proširi. Kao električne vodiče identificirao je metale, ugljen, otopine soli i kiseline u vodi, ljudsko tijelo i zemlju.



*Slika 3.1. Dječak nabijen elektricitetom privlači sitne predmete [10].*

Slika 3.1. prikazuje nam jedan od najpoznatijih Grayevih eksperimenata, u kojem je pokazao da se dječak ovješeni izolirajućim svilenim vrpčama može nabiti pomoću staklene cijevi, a zatim bi mogao elektrostatički privući male predmete [10].

Charles François de Cisternay du Fay opazio je da se dva naelektrizirana komadića smole odbijaju, a isto tako i dva naelektrizirana staklena štapa. Kad se trenjem pak naelektriziraju smola i staklo, oni se privlače. Iz toga je du Fay zaključio da postoje dvije različite vrste elektriciteta. Jedna vrsta elektriciteta srodna je elektricitetu natrljanog stakla, a druga natrljane smole. U suvremenoj terminologiji prvu vrstu nazivamo pozitivnim elektricitetom, a drugu negativnim. Tijela istog električnog naboja odbijaju se, a suprotnog se privlače.

U 18. stoljeću započinje izgradnja aparata za proizvodnju elektriciteta pomoću trenja te za njegovo čuvanje, tzv. kondenzatori. Izgradnjom ovakvih aparata bilo je moguće utvrđivati točnije fizikalne odnose, te su time predodžbe o elektricitetu i magnetizmu postale sve određenije. Proučavajući kako trenjem tijela postaju električki nabijena, William Watson 1746. godine zaključuje da se tu ne radi o stvaranju elektriciteta, već o prelasku jedne supstance s jednog tijela na drugo. Ovu ideju pomnije eksperimentalno istražuje Benjamin Franklin, američki državnik i istraživač. Franklin je utvrdio da pri naelektriziravanju tijela nastaju jednake količine pozitivnih i negativnih naboja. Došao je do predodžbe da postoji množina elektriciteta koja ostaje kvantitativno sačuvana u svim procesima.

Dok je Gray smatrao da postoje dvije vrste elektriciteta, pozitivan i negativan, Franklin se nije slagao s time. On je smatrao da postoji samo jedan elektricitet, koji je nazivao električnom vatrom, zajedničkim elementom svih stvari. Smatrao je da ako se u nekom tijelu nalazi više električne vatre da je to tijelo električki pozitivno, a ako se nalazi manje, onda je električki negativno. S Franklinom je započela borba između hipoteza o jednom i o dva fluida. Svaka hipoteza mogla je objasniti sva opažanja. Ovaj spor razriješen je tek početkom 20. stoljeća [3].

Benjamin Franklin (1706. – 1790.) bio je najznačajniji istraživač elektriciteta u 18. stoljeću. Bio je američki znanstvenik, izumitelj, političar, filantrop i poslovan čovjek. U povijesti otkrića elektriciteta poznat je po eksperimentu puštanja zmaja za vrijeme grmljavinske kiše, kojim je demonstrirao da je munja istovjetna elektricitetu, te izumu gromobrana [12].

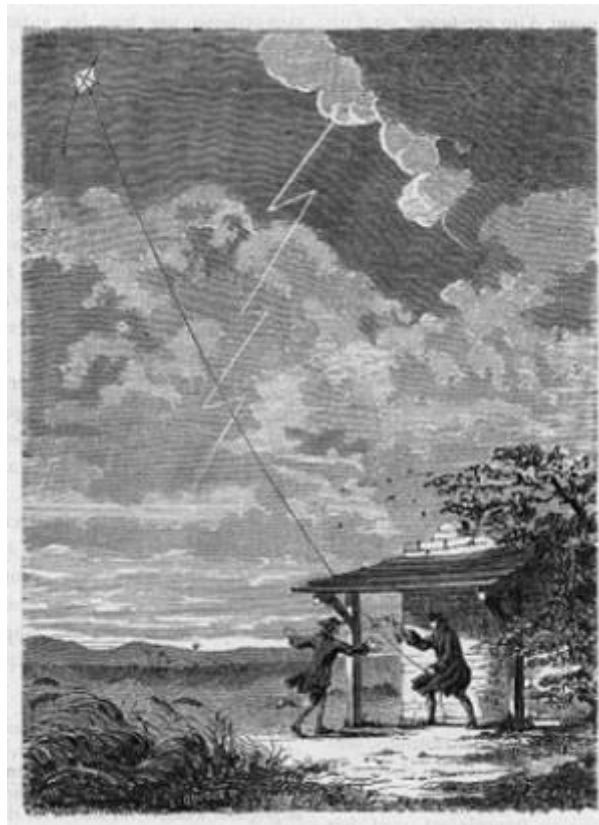


*Slika 3.4. Leidenska boca [12].*

Leidenska boca bila je prvi oblik električnog kondenzatora. Dobila je naziv po nizozemskom gradu Leidenu. Sastojala se od staklene boce sa živom ili vodom kao jednom elektrodom, dok bi kao druga uzemljena elektroda služila šaka čovjeka koji je držao bocu. Njena unutrašnjost punila se elektricitetom dobivenim iz elektrostatičkog stroja.

Franklin je bio upoznat sa eksperimentima koji su koristili Leidensku bocu, nakon čega je uspio i sam konstruirati takvu napravu. Eksperimentalno je davao električne šokove u udove paraliziranih ljudi. Ova je metoda u početku izgledala korisno, no većina ljudi bi nakon nekoliko dana ponovno bila nepokretna.

Iskoristio je Leidensku bocu u svom najpoznatijem eksperimentu skupljanja elektriciteta iz oblaka. Franklin je bio mišljenja da je munja istovjetna elektricitetu, tj. da se u ovoj prirodnoj pojavi radilo o električnom izbijanju. Dvojica francuza, Dalibard i Delor testirala su eksperimentalno ovu hipotezu i ona je pokazala da je Franklinova teorija ispravna.



*Slika 3.2. Franklinov eksperiment puštanja zmaja tijekom olujnog nevremena [8].*

Slijedeći Franklinove spise o eksperimentima, mnogi drugi su se upustili u slične eksperimente. Franklin je započeo raditi s elektricitetom još 1746. godine. Po njegovoj teoriji

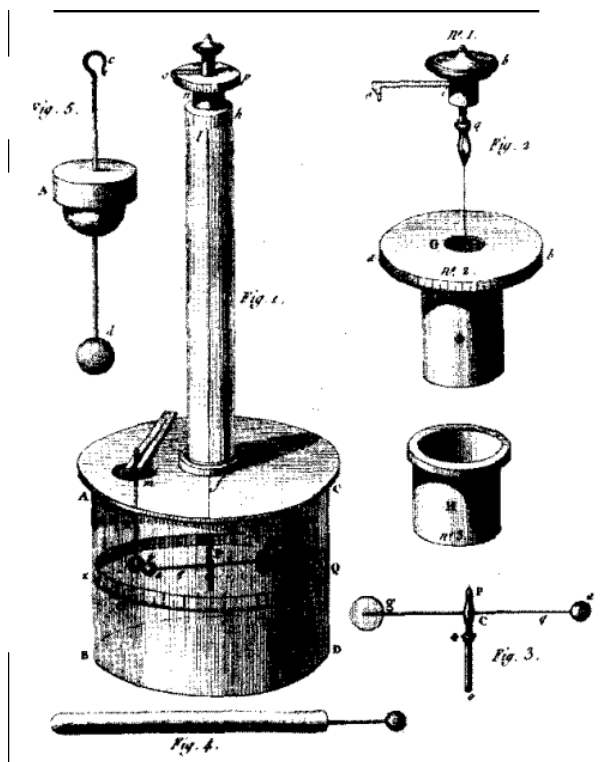
trljanjem dviju različitih tvari, jedna prima višak električnog naboja, dok druga prima manjak. Franklin je ovu teoriju demonstrirao eksperimentom u kojem su dvije osobe stajale na izoliranim platformama. Jedna osoba je natrljala staklenu cijev krpom te tako je bio preuzet naboj s krpe, dok je druga osoba preuzela naboj sa staklene cijevi. Kada bi ove dvije osobe međusobno približile prste, prolazile bi jake iskre, što pokazuje da je došlo do neutralizacije [2].

Franklinova električna vatra, nalazila se u tijelu, dok prije elektriziranja tijelo nema ni manjak ni višak električnog fluida. Trenjem je električna supstancija, koju je Franklin smatrao fluidom, prelazila s tijela koje ima višak tog fluida na tijelo koje je imalo manjak tog fluida, sve dok nije došlo do izjednačavanja. Ova supstancija elektriciteta se mogla samo različito raspodijeliti, a nipošto uništiti ili stvoriti.

Godine 1750. Franklin je predložio da se na vrh tornja postavi kućica. Kućica, dovoljno velika da u nju može stati čovjek. Na izoliranu stolicu postavio bi željezni štap koji bi virio iz kućice, a na vrhu bi imao šiljak. Kada bi oblaci nisko prolazili, čovjek je mogao biti naelektriziran jer je, kako je smatrao, štap dovodio „vatra iz oblaka“. Ako bi se u međuvremenu uočila opasnost za čovjeka, on bi mogao stojeći na stolici dodirnuti štap sa žicom čiji je kraj spojen sa zemljom i čija drška je bila izolirana. Tako bi iskre preskakale s naelektriziranog štapa na samu žicu, čak i kad nisu u međusobnom kontaktu. Tako je Benjamin Franklin izumio gromobran [8].

Porast preookeanske plovidbe donio je potrebu da se metode orijentacije učine točnijima. Charles Augustin Coulomb proučavao je električne i magnetske sile, te je kao rezultat opsežnih mjerenja zaključio da je električna sila slična gravitaciji. Označimo li jedan naboj s  $e_1$ , a drugi s  $e_2$ , te udaljenost među njima s  $r$ , tada je električna sila,  $F$ , među njima:  $F \sim \frac{e_1 e_2}{r^2}$ . Poput gravitacijske sile i električna sila opada s kvadratom udaljenosti. Istovremeno su do ove zakonitosti došli i Joseph Priestley i Henry Cavendish.

Coulombov zakon omogućio je da se električke pojave tretiraju kao što se to činilo s pojavama vezanim uz nebesku mehaniku. Matematičku teoriju elektriciteta i magnetizma razvijali su Pierre-Simon Laplace, Jean-Baptiste Biot, Siméon Denis Poisson, Augustin-Louis Cauchy, Carl Friedrich Gauss, Wilhelm Eduard Weber [3].



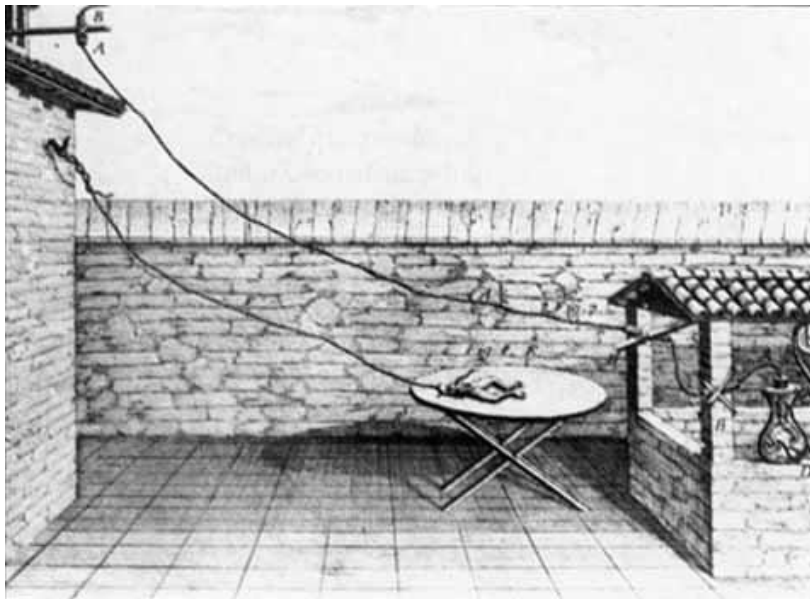
Slika 3.3. Couloumbova torzijska vaga [2].

Coulomb je otkrio da se pomoću torzijske vage može mjeriti električni naboj. Ova torzijska vaga sastoji se od nekoliko malih dijelova. Unutar staklene posude, koja sprječava povjetarac ili druge faktore iz okoline da utječu na rezultate mjerenja, visi igla o niti načinjenoj od svile. Uska staklena cijev proteže se kroz poklopac staklene posude. Na vrhu staklene cijevi nalazi se metalna sfera, iz koje igla visi na svilenjoj niti. Mala metalna sfera nalazi se na jednom kraju igle, koji se može slobodno zakretati. Kroz pokrivalo staklene posude izlazi metalni štapić s metalnim sferama na obje strane, od kojih se jedna nalazi unutar staklene kutije, a druga izvan. Coulomb bi objesio objekt u blizini metalne sfere na gornjem kraju metalnog štapića. Naboj koji bi se nalazio na tom objektu bi se tada prebacio na metalnu sferu, a potom putovao duž štapića do sfere na drugoj strani. Tamo je naboj mogao utjecati na iglu koja visi unutar staklene posude, koja je u stanju mirovanja dodirivala donju sferu štapića. Tako je bilo koji naboj na toj sferi mogao preći na sferu igle. Kada bi sfera na štapiću i sfera na igli obje bile nabijene istovrsnim nabojem, odbijale bi jedna drugu. Odbijanje je uzrokovalo da se igla pomakne i nit koja ju drži da se zakrene. Ovo zakretanje niti naziva se torzija, pa se stoga ovaj uređaj naziva torzijskom vagom [18].

Coulomb se zainteresirao za mjerenje električne sile između malih, nabijenih predmeta te je usavršio torzijsku ravnotežu koja može pouzdano mjeriti takve male sile. Tom vagom je Coulomb utvrdio zakon privlačenja i odbijanja električnih naboja. Ovim je eksperimentima pokrenuo kvantitativno istraživanje električne sile, te je otkrio da je ta sila obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti između dviju nabijenih sfera.

### 3.1 Galvanske struje

Profesor anatomije Luigi Galvani (1737. - 1798.) unaprijedio je istraživanje elektriciteta otkrićem njegovog novog izvora. Do tada je trenje bilo jedini način da se proizvede elektricitet. Slučajnim je opažanjem Galvani 1780. godine došao na trag električnih struja koje su otvorile novu epohu u istraživanju elektriciteta i magnetizma.



*Slika 3.5. Galvanijev eksperiment o djelovanju oblaka nabijenih elektricitetom na žablje krakove, 1790. godine [3].*

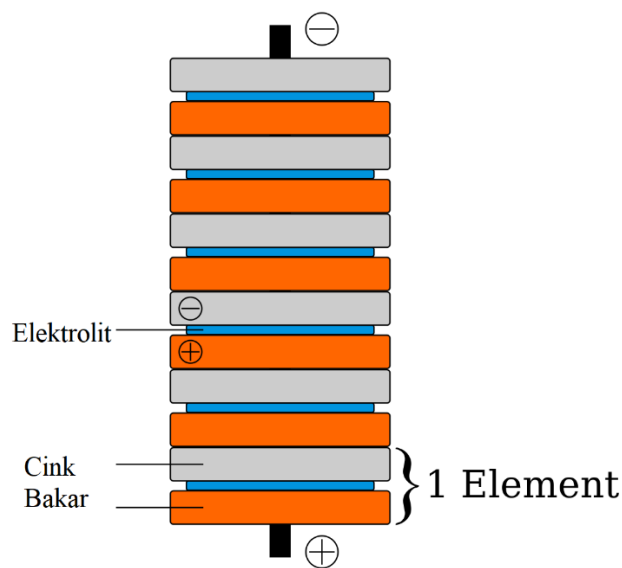
Prema nekim izvorima, za to veliko otkriće je zaslužna njegova žena. Jednog dana je pripremajući za ručak žablje krakove slučajno nožem dotaknula na pola oguljene krakove koji su bili na metalnom pladnju. Primijetila je da su se žablji krakovi potom trgnuli kao da su živi.



Nakon što je Galvani također vidio trzanje žabljih krakova, postao je uvjeren da je otkrio životinjski elektricitet, izvor životne snage. Galvanijevo otkriće ubrzo se rasprostranilo širom svijeta, čineći elektricitet vrlo popularnim, pa čak i cirkuskom atrakcijom [3].

Alessandro Volta sustavno je proučavao ovaj Galvanijev nalaz. Uočio je da su se žablji krakovi snažno trgnuli onda kad su se našli između noža i metalnog pladnja. Godine 1794. Volta je demonstrirao da su upravo ta dva metala bitna. Kad se nožem dotakne krak, tad žabom od noža do metalnog pladnja poteče električna struja.

U sličnom eksperimentu se žablje krakove može zamijeniti otopinom neke soli ili kiseline u vodi. Naime, u Voltinom shvaćanju, žablji krakovi predstavljali su samo jednu otopinu. Volta je uronio cinkovu i bakrenu ploču u vodu u koju je bila dodana sumporna kiselina. Bakrena ploča se nabila pozitivnim elektricitetom, a cinkova negativnim. Ta pojava zbiva se samo kada je u vodi otopljena sumporna kiselina.



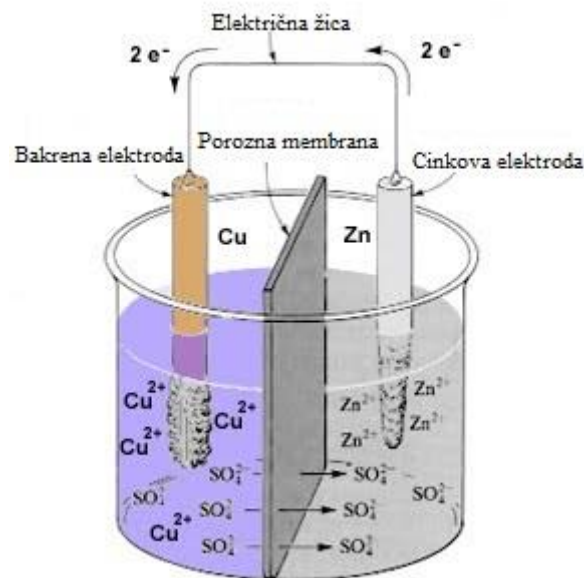
Slika 3.6. Voltin stup [19].

Prvi izvor električne struje Volta je načinio 1800. godine. Ovaj tzv. Voltin članak sastojao se od dvije elektrode, načinjene od bakra i cinka, uronjene u sumpornu kiselinu. Povezavši više članaka u seriju, Volta je time pojačao djelovanje izvora. Voltin stup sastojao se od više pločica bakra i cinka između kojih se nalazilo platno natopljeno vodenom otopinom sumporne kiseline.

Električna struja u Voltinom članku podsjeća na vodenu struju koja teče kroz cijev koja spaja jednu povišenu posudu s nižom. Sila koja tjera vodu kroz cijev određena je razlikom u visinama ovih dviju posuda. Što je gornja posuda viša, vodena struja je jača. Ono što je kod vodene struje razlika u visinama, to je kod električne struje, električna napetost. U čast Volti nazvana je električna jedinica za napetost, Volt.

Pojam galvanske struje susrećemo još i danas. Iz poštovanja prema Galvaniju, Volta je pronašavši ovu struju, odlučio ju tako imenovati [3].

Volta, 1801. godine obrazlaže kako po njegovu mišljenju nastaje električna struja: „Na granici dva metala djeluje sila koja prebacuje električni fluid iz jednog metala u drugi, tako da jedan postaje negativan, a drugi pozitivan. Metale je poredao u tzv. naponski niz: cink, olovo, kositar, željezo, bakar, srebro, zlato i platina, pri čemu je, prema Volti, svaki od metala elektropozitivniji od sljedećeg u nizu“ [4].



Slika 3.7. Moderna verzija Voltine baterije [20].

Baterija pretvara kemijsku energiju u električnu. U modernim baterijama dvije su komore odvojene poroznom membranom. Kemijska reakcija tih metala je ono što proizvodi električnu energiju same baterije. Pozitivni naboj tj. protoni su predani od strane cinka u otopinu, a nastali nedostatak stvara negativan naboj tj. elektrone. Reakcija bakra je slična, ali ne toliko velika. Manje se protona ispušta u vodič tekućine. Kada je povezan žicom, višak negativnog

naboja putuje duž žice od cinka do bakrene elektrode. Volta je koristio različit broj diskova u stupu kako bi proučio promjenu električnog toka.

Sir Humphry Davy opazio je da se platinska žica grije pri provođenju platinske struje. Ako je žica vrlo tanka, ona se pri tome i zažari. Uključi li se ta tanka žica u debele vodove, ona svijetli. Ovo Davyovo otkriće bilo je začetak današnjeg modernog električnog grijanja i rasvjete.

Proizvodnja stalnih struja dovela je do preciznijeg određenja pojmova jakosti struje, električne napetosti i električnog otpora. Poisson je uveo fizičku veličinu električkog potencijala 1811. godine, analogno gravitacijskom potencijalu. Matematičari George Green i Carl Friedrich Gauss razradili su teoriju električnog potencijala, nastavivši se na Coulombov zakon, pri čemu je opća teorija električnog potencijala dovela na Laplaceovu diferencijalnu jednadžbu [3].

Inspiriran Poissonovim istraživanjem električne struje uslijed temperaturne razlike u vodiču, gimnazijski nastavnik Georg Simon Ohm je zaobilaznim načinom 1827. godine iznašao kvantitativnu vezu između jakosti struje, električne napetosti i otpora:  $J \sim \frac{V_2 - V_1}{R}$ . Električna napetost dana je razlikom potencijala, a otpor  $R$  je karakteristična konstanta svake tvari.

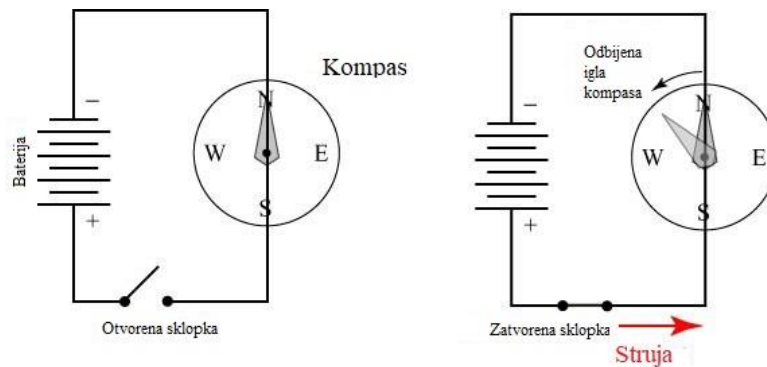
Gauss, jedan od najvećih matematičara novog vijeka, surađujući s Weberom osnovao je apsolutni sustav mjerenja. U ovom sustavu sve se fizičke veličine izražavaju centimetrima, gramima i sekundama, tzv. *cgs*-sustav. U osnovi tog sustava pretpostavka je da se svako mjerenje mora svesti na mjerenje kakve dužine, mase ili vremena, odnosno svega troje zajedno [3].

### **3.2 Magnetska djelovanja električne struje**

Putnici na nekom brodu su u 17. stoljeću za vrijeme oluje primijetili da se zbiva nešto neobično s kompasom. Za vrijeme nevremena, magnetska igla je skakala. Ovakve pojave običavali su pomorci bilježiti i kasnije. Ova opažanja protumačena su tek kada se eksperimentalno ispitivanje približilo tim pojavama.

Profesor fizike, Hans Christian Oersted je 1819. godine u Danskoj, pred studentima izvodio pokuse s galvanskim strujama. Uočio je da svaki put kada bi vodičem potekla električna

struja, magnetska bi igla u blizini tog vodiča bi promijenila smjer. Ovu pojavu je interpretirao djelovanjem električnih struja na magnete. Ovakvim shvaćanjem Oersted je konačno postavio most između odvojenih područja elektriciteta i magnetizma. Kada se elektricitet kreće, stvara iste sile kao da je magnet. Samo kada električni naboji miruju, očituju se jedino električne sile [3].



Slika 3.8. Prikaz djelovanja električnog kruga tj. struje na iglu kompasu [5].

Sila električne struje nastoji magnetski pol zavrtjeti. „Linije sile“ jesu kružnice oko žice kojom prolazi struja. Iz ovih Oerstedovih otkrića je André-Marie Ampère zaključio da magnetska supstancija kao takva ne postoji. Po Ampèreovom shvaćanju, električna struja stvara magnetske sile. Smatrao je da ove magnetske sile izlaze iz električnih struja koje kruže u molekulama te je time bio preteča ove moderne atomske teorije. Ujedno je dao objašnjenje zašto se zajedno pojavljuju južni i sjeverni pol magneta. Smatrao je da su oni dvije strane strujnog kruga pa ih nije moguće odvojiti. Ampère je matematički formulirao vezu između jakosti struje i magnetskog polja.

Ampère je uveo pojam elektrodinamike, potom pojam električnog strujnog kruga, električne struje te pojam galvanometra. Smatrao je kako galvanometar služi pri pokusima s električnom strujom, u svrhu njezina očitavanja te provjere postoji li ona uopće. Prema Ampèreu smjer električne struje istovjetan je smjeru gibanja pozitivnog elektriciteta. Razlikovao je pojmove struje i napetosti. Ovisno o smjeru struje u vodičima, vodiči kojima teče struja mogu se odbijati ili privlačiti: kada dvama paralelnim vodičima teku konstantne struje u istom smjeru, vodiči će se privlačiti, dok pri obrnutom smjeru struja će se vodiči odbijati. Po njemu je nazvana jedinica električne struje, Amper [3].

Ideja otkrića da električna struja pokreće magnete dovelo je do otkrića da bi ovo moglo poslužiti za pogon strojeva. Moritz Hermann von Jacobi je 1830. godine konstruirao prvi električni stroj. Električnu je struju davala jaka galvanska baterija, a struja koja je tekla u blizini magneta izazivala bi okretanje kotača. Prvi električni strojevi nisu prodrli u praksu jer su galvanske baterije bile preslabi izvori energije da bi mogle zamijeniti parne kotlove.

### **3.3 Telegraf i telefon**

Najznačajnija primjena Oerstedova otkrića bio je elektromagnet. Elektromagnet se sastoji od željeznog štapa oko kojeg je namotana žica. Kad žicom poteče električna struja ona stvara magnetske sile kakve bi štap imao da je magnet. Tako električna struja magnetizira željezo. Magnetsko polje će biti pojačano u odnosu na slučaj kad željeza nema. Ovom metodom proizvode se snažni magneti koje se može upotrebljavati u različitim uređajima. Ako je štap od mekog željeza, on će izgubiti svoju magnetsku moć čim struja prestane teći navojem. Međutim, ako je štap od čelika, ostati će i nadalje magnet. U tom pogledu, čelik se ponaša različito od mekog željeza.

Pojavu pomicanja magnetske igle uslijed protoka magnetske struje vodiča je Ampère pokušao iskoristiti za slanje signala. Električnu struju se može pomoću žice prenesti na velike udaljenosti, a na tim udaljenim mjestima ona može tada pokretati magnete. To je bila prva zamisao telegrafa.

Prve praktički uporabive aparate konstruirali su 1833. godine Gauss i Weber. Pošlo im je za rukom poslati signale iz svog stana na obližnji observatorij. Philip McCord Morse je 1837. godine napravio prvi suvremeni telegraf, te se od tada uvode telegrafske linije. Telegraf je osvojio svijet te unaprijedio industriju, trgovinu, promet i novinarstvo, a s druge strane bio je značajan i za brži razvoj znanosti o elektricitetu.

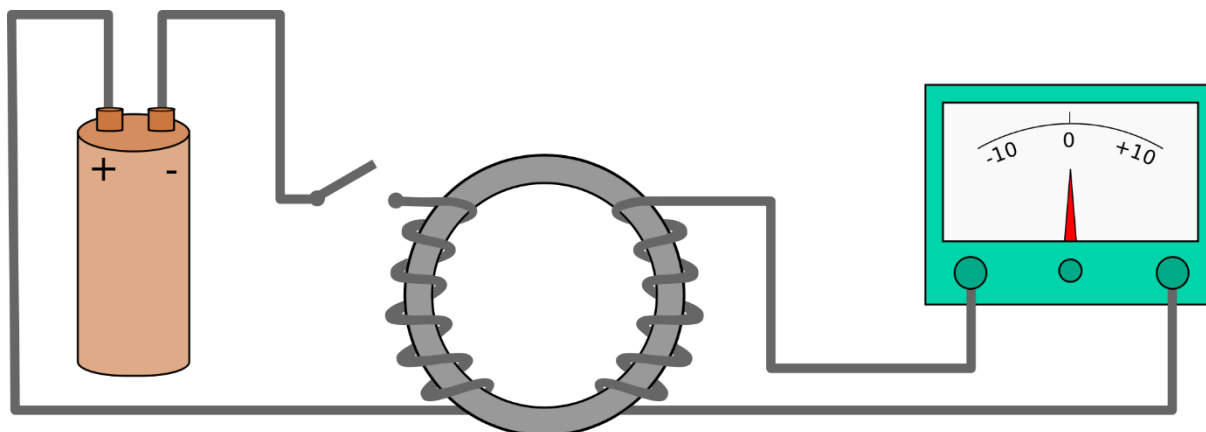
Ideja da se zvučne valove prenese na električnu struju urodila je otkrićem telefona. Telefon je patentirao Graham Bell 1875. godine kao svoj izum [3].

## 4. ELEKTRIČNO I MAGNETSKO POLJE

Veliki obrat u shvaćanju elektriciteta izazvala su čudesna eksperimentalna otkrića Michaela Faradaya (1791. – 1867.). Faraday je obratio pozornost ispitivanju sredstava između električnih naboja i magneta. Električna sila koja djeluje između dva električna naboja nije ista ako se ti naboji nalaze u praznom prostoru ili u nekoj tekućini. Dvije naelektrizirane metalne kugle, uronjene u parafinsko ulje stvaraju silu dva i pol puta manju nego kada su u zraku. Odatle je Faraday naslutio da se električno djelovanje prostorom prenosi postupno. Ulogu sredstva ne može se razumjeti ako bi električna sila djelovala izravno na daljinu, od naboja do naboja. Faraday je razvijao svoje ideje o elektricitetu u analogiji sa idejama Davya o prostornoj strukturi kemijskih elemenata koja određuje njihova svojstva na temelju atomističke teorije kakvu je predložio Ruđer Bošković. Naime, Bošković je smatrao atome matematičkim točkama, okruženim naizmjeničnim poljima privlačne i odbojne sile [14].

Faraday vidi da se bit električnih i magnetskih pojava odvija u procesima u prostoru između električnih naboja. Uveo je pojam električnih i magnetskih silnica, koji se još i danas koristi te kojim je utjecao na modernu teoriju polja. Te električne i magnetske silnice prožimaju čak i prividno prazni prostor, mijenjaju se i kreću, time prenoseći sile između električnih naboja i magneta.

Električno polje oko nekog naelektriziranog tijela može se odrediti iz električne sile kojom to tijelo djeluje na mali električni naboj. Sila je jednaka umnošku naboja tog malog električnog tijela i jakosti polja oko električnog tijela:  $\vec{F} = e\vec{E}$ . Za Faradaya su električni naboji samo točke iz kojih izlaze ili u koje uviru silnice električnog polja. Faraday je pokazao da gibanje magneta uzrokuje električnu struju u metalnim žicama pored tog magneta. Time je obrnuo Oerstedov pokus. Električna sila u žici tjera elektricitet. Ta se električna sila pojavljuje samo tada kad naglo izvadimo ili umetnemo magnet. To znači da se mijenjanjem magnetskog polja u prostoru svitka proizvodi električno polje.



*Slika 4.1. Faradayeva indukcija [7].*

Dva izolirana svitka žice Faraday je namotao na drveni valjak. Jedan svitak bio je povezan s galvanometrom, a drugi s galvanskom baterijom. Kazaljka galvanometra se prilikom otvaranja strujnog kruga u kojem se nalazio izvor otklanjala na jednu stranu, a prilikom zatvaranja u drugu stranu.

James Clerk Maxwell (1831. - 1879.) je 33 godine kasnije pokazao da se naglim pražnjenjem nabijenih ploča kondenzatora preko otpornika u okolini pojavljuje magnetsko polje, takvo kao da je prostorom kondenzatora protekla električna struja od jedne ploče ka drugoj. Svaka promjena električnog polja izaziva promjenu magnetskog polja, također svaka promjena magnetskog polja izaziva promjenu električnog polja. Po Maxwellovom shvaćanju električna i magnetska polja jedinstvena su fizikalna stvarnost. Maxwell, potaknut Faradayevim shvaćanjima, razvija sustav jednačbi koje uzajamno povezuju promjene električnih i magnetskih polja, te sjedinjuju optiku s elektromagnetizmom. Maxwell je, oslanjajući se na stari mehanički eter kao sredstvo čija elastična napetost i deformacija prenose valove, napustio teoriju sile na daljinu. Međutim, s vremenom je spoznao da je otkrićem elektromagnetskog polja otkrio novu fizikalnu stvarnost koju nije bilo nužno svoditi na stari mehanički model [3].

Maxwellovo veliko postignuće bila je formulacija tzv. klasične teorije elektromagnetskog zračenja, koja je po prvi put povezala elektricitet, magnetizam i svjetlost kao različite manifestacije istog fenomena. Svjetlost je u Maxwellovoj slici transverzalni putujući val, elektromagnetski val koji propagira brzinom svjetlosti.

Tablica 4.1 Maxwellove jednadžbe u SI sustavu – diferencijalni oblik [13].

	Bez polariziranog ili magnetskog medija	S polariziranim ili magnetskim medijem
Gaussov zakon elektriciteta	$\nabla \cdot \epsilon E = \rho$	$\nabla \cdot D = \rho$
Gaussov zakon magnetizma	$\nabla \cdot B = 0$	$\nabla \cdot B = 0$
Faradayev zakon indukcije	$\partial \nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t}$	$\partial \nabla \times E = \frac{\partial B}{\partial t}$
Ampèreov zakon	$\nabla \times \frac{B}{\mu} = J + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}$	$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$

Tablica 4.2 Maxwellove jednadžbe u SI sustavu – integralni oblik [13].

Gaussov zakon elektriciteta	$\oint_S D \cdot dA = \int_V \rho \cdot dV$
Gaussov zakon magnetizma	$\oint_S B \cdot dA = 0$
Faradayev zakon indukcije	$\oint_C E \cdot dl - \oint_C B \times v \cdot dl = - \frac{d}{dt} \int_S B \cdot dA$
Ampèreov zakon	$\oint_C H \cdot dl = \int_S J \cdot dA + \int_S \frac{\partial D}{\partial t} \cdot dA$

Tablica 4.3 Opis korištenih simbola u tablicama 4.1 i 4.2 [13].

Simbol	Jedinica	Fizikalna veličina	Opis
E	V/m	Jakost električnog polja	Postoji oko svakog električnog naboja Q.
B	T	Magnetska indukcija	Oko svakog gibajućeg električnog naboja postoji magnetsko polje.
D	C/m <sup>2</sup>	Gustoća električnog toka	Ponašanje električnog polja se razlikuje u različitim tvarima. Uspoređuje se ponašanje polja u materijalu spram onog u vakuumu.
H	A/m	Jakost magnetskog polja	Ponašanje magnetskog polja se razlikuje u različitim tvarima. Uspoređuje se ponašanje polja u materijalu i onog u vakuumu.
I	A	Jakost električne struje	Omjer iznosa naboja i vremena.



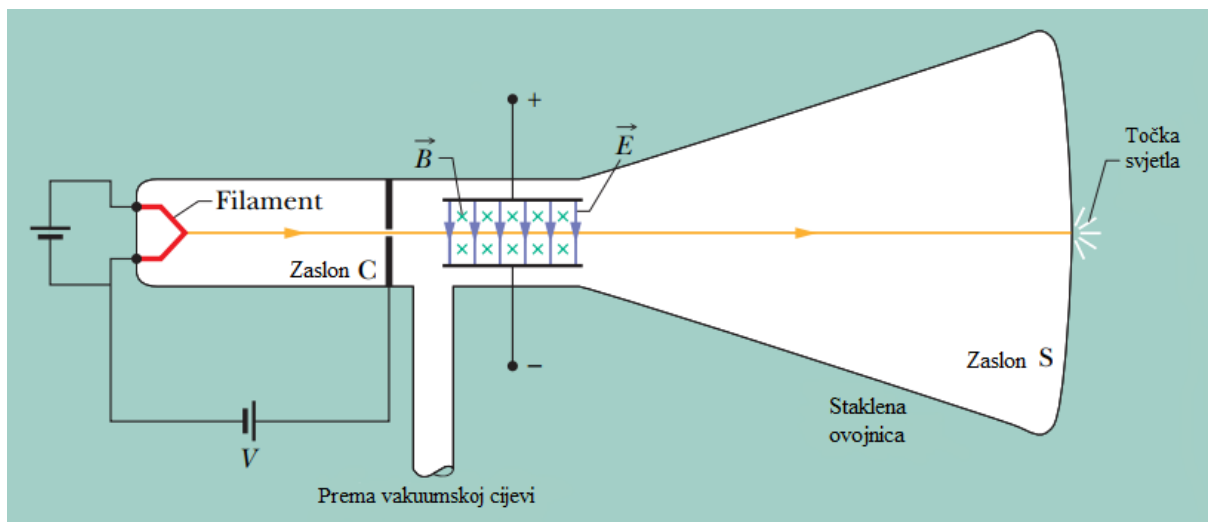
J	$A/m^2$	Gustoća električne struje	Omjer jakosti struje i jedinice površine.
$\rho$	$Cm/m^3$	Gustoća naboja	Mjera gustoće izvora električnog polja.
$\epsilon$	$F/m$	Dielektrična konstanta, permitivnost	Svojstvo materijala gdje je $\epsilon_0$ apsolutna dielektrična konstanta u vakuumu, a $\epsilon_r$ relativna (bezdimenzijska) ( $\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$ )
$\mu$	$H/m$	Magnetska permeabilnost	Svojstvo materijala gdje je $\mu_0$ apsolutna dielektrična konstanta u vakuumu, a $\mu_r$ relativna (bezdimenzijska) ( $\mu = \mu_0 * \mu_r$ )
dA	$m^2$	Vektor	Element diferencijalnog vektora površine A, s vrlo malim magnitudama i smjer normalan na površinu S.
dV	$m^3$	Vektor	Diferencijalni element volumena V okružen površinom S.
dl	$m$	Vektor	Element diferencijalnog vektora dužine puta tangencijalan na konturu C koji okružuje površinu c.
v	$m/s$	Brzina	Trenutna brzina gornjeg elementa dl (za pokretne krugove).
$\nabla \cdot$	$1/m$		Operator divergencije.
$\nabla \times$	$1/m$		Opisuje infinitezimalnu rotaciju vektorskog polja u trodimenzionalnom euklidskom prostoru.

## 4.1 Elektromagnetski valovi

Eksperimentalni dokaz Maxwellova shvaćanja svjetlosti kao elektromagnetskog vala načinio je Heinrich Hertz. Kako bi nastali valovi, neki izvor mora periodički titrati. Hertz je smatrao da titranje električnih naboja mora izazvati valove u elektromagnetskim poljima te je potražio periodična titranja elektriciteta. Konstruirao je električni aparat u kojem iskra izvodi golem broj skokova s jedne metalne kugle na drugu. To periodično titranje je objasnio 1888. Proizveo je elektromagnetske valove valne duljine oko jednog metra na kojima su se mogla proučavati valna svojstva. Utvrdio je da se magnetske zrake na metalnim pločama reflektiraju

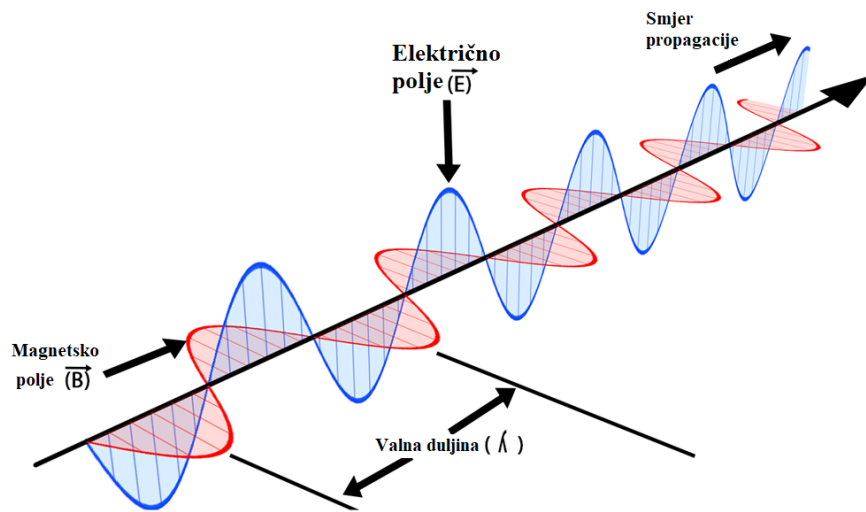
slijedeći zakone refleksije valova. Koristeći udubljene metalne ploče Hertz je uspio elektromagnetsko širenje koncentrirati u žarišnim točkama. Elektromagnetski valovi su pokazali također interferencijske ili difrakcijske karakteristike. Pri prijelazu u novo sredstvo elektromagnetske zrake se djelomično lome, a djelomično reflektiraju. Budući da su to karakteristične osobine valnog ponašanja, nije moglo biti sumnje o valnoj prirodi svjetlosti. Ovo utvrđeno slaganje između svjetlosti i elektromagnetskih valova učinilo je Maxwellovu teoriju temeljem moderne fizike.

Joseph John Thomson koristeći katodne cijevi pokazao je 1897. godine da svi atomi sadrže sitne negativno nabijene subatomske čestice koje se zovu elektroni. U pojednostavljenom prikazu Thomsonove katodne cijevi kao na slici 4.2. se kontroliranjem iznosa i smjera magnetskog i električnog polja može kontrolirati gdje će se pojaviti točka svjetlosti na ekranu. Mjereći odnos mase i električnog naboja elektrona otkrio je da elektron ima tisuću puta manju masu od atoma [1].

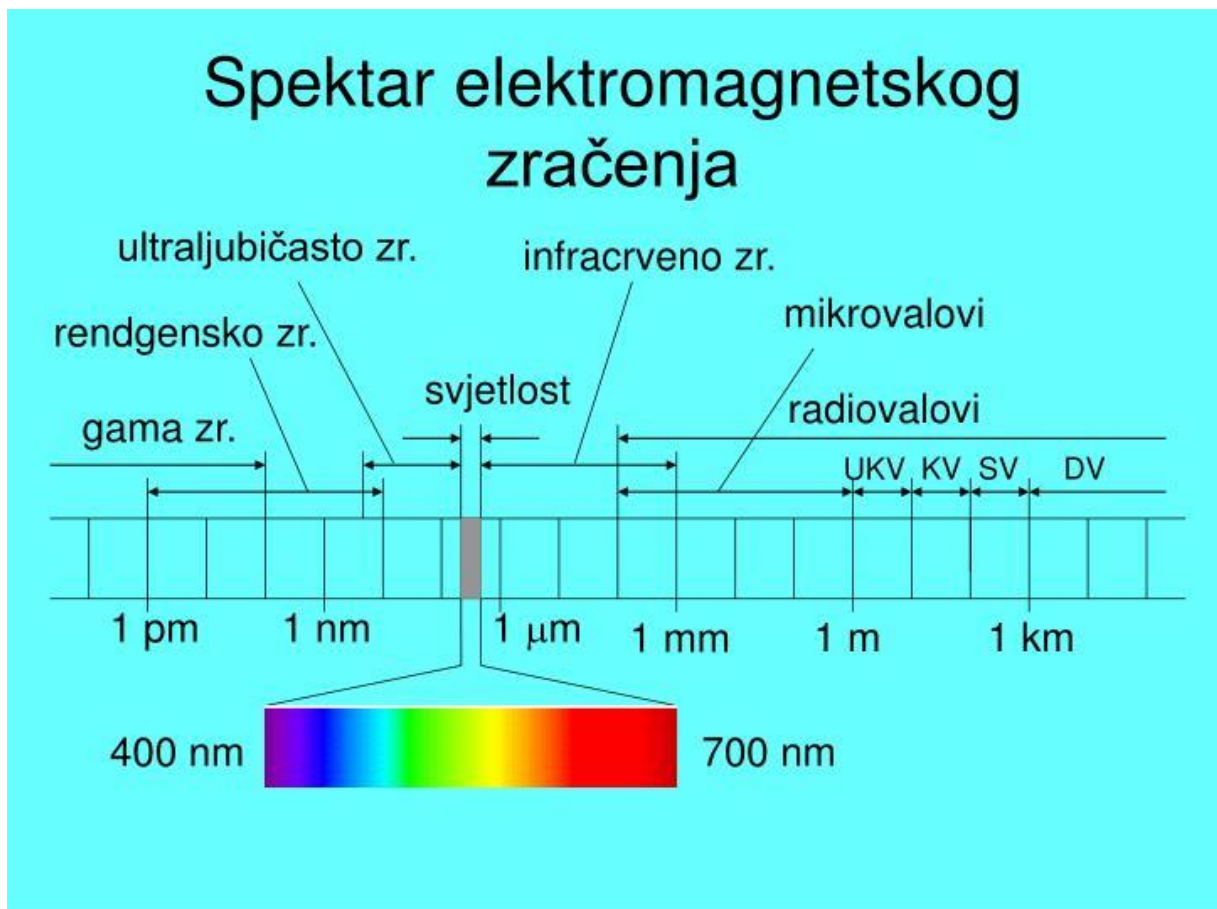


Slika 4.2. Pojednostavljeni, moderni prikaz Thomsonove katodne cijevi [1].

# Elektromagnetski val



Slika 4.3. Elektromagnetski val [11].



Slika 4.4. Spektar elektromagnetskog zračenja [17].

Godine 1884. John Henry Poynting izvodi iz Maxwellovih jednadžbi impuls elektromagnetskog polja. Elektromagnetskim valovima energije  $E$  pripada impuls  $p$ :  $p \sim \frac{E}{c}$ .

Hendrick Antoon Lorentz povezo je elektron naboja  $e$  i brzine  $v$  s električnim poljem  $E$  i magnetskim  $H$ , uz brzinu svjetlosti  $c$  pomoću sile:  $\vec{F} \sim e\vec{E} + \frac{\vec{v} \times \vec{H}}{c}$ .

## 4.2 Razvoj elektrotehnike

Ishodište razvoja moderne elektrotehnike bilo je Faradayevo otkriće da gibanje magneta izaziva električne struje. Prvi stroj za proizvodnju električne struje sagradio je 1832. godine Hippolyte Pixii. Polovi jakog magneta okretali su se ispred dvaju svitaka žice, proizvodeći električnu struju. Ovaj električni stroj nije ušao u širu praksu. Strojve za dobivanje električnih struja počelo se konstruirati okretanjem svitka žice u blizini mirujućeg magneta. Industrija je postavila zahtjev za jeftinim i jakim izvorima električne struje.

U ono vrijeme se na svjetionike uvelo Davyevo električno svjetlo. Električna struja dolazila je iz jake galvanske baterije što je bilo skupo i nepraktično. Mlada elektrotehnika razvila se tražeći strojeve koji su imali mogućnost davati jaču i jeftiniju struju od galvanskih baterija [3].

Prvi uređaji za dobivanje elektriciteta imali su stalne magnete. Ti magneti su bili načinjeni ranije, a potom ugrađeni u ostatak konstrukcije. Kasnije je u uporabu kao magnet ušao elektromagnet, kojeg je održavala struja galvanske baterije. Kod takve konstrukcije pojavila se zamisao da se za proizvodnju elektromagneta upotrijebi električna struja koju proizvodi sam električni stroj. Ta je misao dovela do dinamo stroja. Koristeći princip elektromagnetske indukcije, naš zemljak, izumitelj Nikola Tesla je konstruirao motor za dobivanje jakih izmjeničnih struja koje su se bez velikog gubitka prenosile na daljinu.



nije se toliko mislilo na pogon strojeva nego na rasvjetljavanje gradova. Pavel Nikolayevich Yablochkov, 1877. godine prvi je izumio svijeću čiji plamen je stvarala električna struja između grafitnih elektroda. Ova električna rasvjeta zadržala se dugi niz godina. Proizvedene su električne bušilice, peći i mnoštvo manjih aparata [6].

Thomas Alva Edison izumio je žarulju s ugljenom niti, nakon čega počinje gradnja malih električnih centrala koje opskrbljuju više kuća ili čitav blok. Elektrifikacija se mogla provesti na široj osnovi. Otkrivene su i druge mogućnosti primjene električne struje. Ona je postala pogonska snaga u tvornicama. Ubrzo kreću i vlakovi na električnu struju.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je u osnovnim crtama prikazan razvoj shvaćanja elektriciteta i magnetizma od antičkog vremena pa sve do Maxwellove formulacije i otkrića subatomske čestice. Antičko opažanje da neki materijali na sebe privlače metale, dok neki drugi mogu biti natrljani te tada privlačiti na sebe druge sitnije objekte, razvilo se u srednjem vijeku u zasebna područja elektriciteta i magnetizma. Od drevnih vremena na Dalekom istoku poznate igle kompasa te od 12. stoljeća proizvodnja magnetske igle u Europi, niz povijesnih izvora dokumentira opažanja titranja magnetske igle tijekom navigacije. Sustavnim izvođenjem eksperimenata vezanih uz ovu pojavu, Hansa Christiana Oersteda i André-Marie Ampèrea, razvijeno je shvaćanje o magnetskom polju kao uzrokovanom elektricitetom u gibanju. Otkrićem novih izvora električnih struja, Luigija Galvanija i Alessandra Volte, te uređaja za pohranjivanje elektriciteta, istraživanje ovog područja biva naglo unaprijeđeno. Michael Faraday, koristeći ideju sile Ruđera Boškovića, dolazi do uvida o postojanju električnih i magnetskih polja u prostoru između električnih naboja, koja su prijenosnici sila, te eksperimentalno pokazuje da gibanje magneta izaziva u metalnim žicama električnu struju. Na temelju svih postojećih eksperimentalnih saznanja, James Clerk Maxwell, 1864. godine matematičkim je sustavom uzajamno objedinio promjene električnih i magnetskih polja, te ih povezoao sa svjetlošću. Otkrića vezana uz električna i magnetska polja te posljedični razvitak elektrotehnike i informatike pokazali su se jednim od najvećih prevrata u razvoju civilizacije.

## LITERATURA

- [1] David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Fundamentals of Physics, 9th Edition, John Wiley & Sons, Cleveland State University, 2010.
- [2] Herbert W. Meyer, A History of Electricity and Magnetism, Burndy Library, Norwalk, Connecticut, 1972.
- [3] Ivan Supek, Povijest fizike, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
- [4] Zdravko Faj, Pregled povijesti fizike, <https://www.scribd.com/>
- [5] Djelovanje struje na iglu kompasa, <https://skullsinthestars.com/2011/04/03/the-birth-of-electromagnetism-1820/> (15. lipnja, 2019.)
- [6] Elektrolučna svjetiljka, Wikipedia, [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrolu%C4%8Dna\\_svjetiljka](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektrolu%C4%8Dna_svjetiljka) (5. rujna, 2019.)
- [7] Elektromagnetska indukcija, [https://www.wikiwand.com/sh/Elektromagnetska\\_indukcija](https://www.wikiwand.com/sh/Elektromagnetska_indukcija) (26. lipnja, 2019.)
- [8] Franklinov eksperiment sa zmajem, <http://www.benjamin-franklin-history.org/kite-experiment/> (5. rujna, 2019.)
- [9] Gilbertov eksperiment s uranjanjem, <https://www.sciencephoto.com/media/813809/view/gilbert-s-experiment-showing-magnetic-dip> (5. rujna, 2019.)
- [10] Grayev eksperiment s dječakom, <http://scihi.org/wire-connect-stephen-gray/> (5. rujna, 2019.)
- [11] Karakteristike elektromagnetskih valova, <https://byjus.com/physics/characteristics-of-em-waves/> (12. rujna, 2019.)
- [12] Leidenska boca, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Leyden\\_jar](https://en.wikipedia.org/wiki/Leyden_jar) (21. lipnja, 2019.)
- [13] Maxwellove jednadžbe, [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1348604291-0-01\\_elte\\_eim.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1348604291-0-01_elte_eim.pdf) (6. lipnja, 2018.)



- [14] Michael Faraday, <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday> (12. rujna, 2019.)
- [15] Nikola Tesla klub, <http://www.fanpop.com/clubs/nikola-tesla/images/3362112/title/tesla-wireless-lightbulb-photo> (15. rujna, 2019.)
- [16] Peregrinusov eksperiment privlačnosti, <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v39n1/1806-1117-rbef-39-01-e1601.pdf>
- [17] Spektar elektromagnetskog zračenja, <https://vdocuments.mx/spektar-elektromagnetskog-zracenja.html> (12. rujna, 2019.)
- [18] Torzijska vaga, <https://nationalmaglab.org/education/magnet-academy/history-of-electricity-magnetism/museum/torsion-balance-1785> (12. rujna, 2019.)
- [19] Voltin članak, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic\\_pile](https://en.wikipedia.org/wiki/Voltaic_pile) (5. rujna, 2019.)
- [20] Voltina baterija, <https://www.tvcalx.co.uk/wp-content/uploads/2015/11/recharge3.bmp.jpg> (5. rujna, 2019.)

## SAŽETAK

U ovom radu je u osnovnim crtama prikazana povijest otkrića elektriciteta i magnetizma. Korištenjem literature sastavljen je povijesni pregled razvoja shvaćanja ovih pojava te su prikazani uzajamni utjecaji razvoja eksperimentalne tehnologije i konceptualnih matematičkih objašnjenja. Novovjeka formulacija Maxwellovih jednadžbi koja povezuje električna i magnetska polja s njihovim uzrocima, električnim nabojima i električnim strujama, te opisuje promjene tih polja i propagaciju elektromagnetskog vala, prikazana je u kontekstu znanstvenog razvoja i implikacija na početak razvoja elektrotehnike.

Ključne riječi: elektricitet, magnetizam, povijest.

## **ABSTRACT**

### **History of discovery of electric and magnetic phenomena**

Outline of the history of discovery of electric and magnetic phenomena is presented. Literature is used to obtain historic overlook on the development of understanding of these phenomena. Mutual influence between developing experimental technology and theoretical explanations is exemplified. Maxwell's equations description of the generation of the electric and magnetic fields, their change and combining into electromagnetic waves is presented in the context of development of modern scientific thinking and adjacent technologies.

Keywords: electricity, magnetism, history.

## ŽIVOTOPIS

Antonio Popić rođen je 30. listopada 1996. godine u Zagrebu. Završava Osnovnu školu Dragutin Tadijanović u Slavonskom Brodu, te se upisuje u Tehničku školu Slavonski Brod, smjer tehničar za računarstvo. Upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek 2015./2016. godine, stručni studij Informatika.

---

Antonio Popić