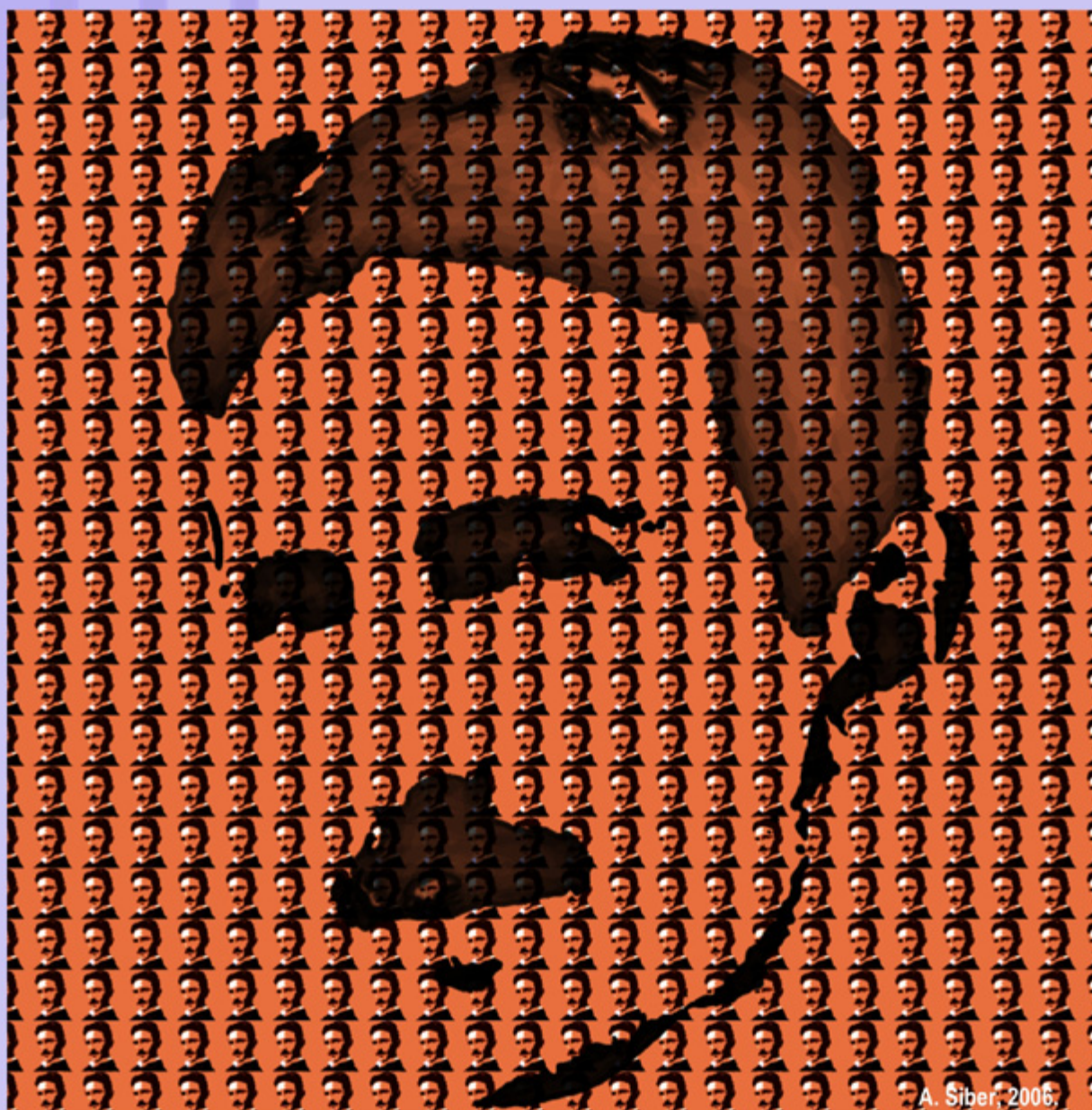


Teslino nasljeđe u fizici



22. ljetna škola mladih fizičara Hrvatskog fizikalnog društva

Labin, 18.- 24. lipnja 2006.
Srednja škola Mate Blažine

Nakladnik: **Hrvatsko fizikalno društvo**
www.hfd.hr

Mjesto izdanja: Zagreb, lipanj 2006.

Recenzent: Dr. sc. Zlatko Vučić

Naslovnica: Dr. sc. Antonio Šiber

Tehnički urednik: Dr. sc. Ticijana Ban

Predgovor

U godini smo Nikole Tesle. Obilježavamo 150. obljetnicu njegovog rođenja nastojeći podsjetiti i sebe i svijet na iznimno nasljeđe koje je ostavio čovječanstvu, i koliko nam zapravo svakodnevni život ovisi o njegovim otkrićima i izumima. Usprkos brojnim napisima o njegovu životu i radu stječe se dojam da je javnost, pa čak i ona stručna, nedovoljno upoznata s Teslinim istraživanjima i postignućima. Stoga ne treba čuditi relativno velik broj predavanja, seminara, radionica i simpozija, najavljenih ili već održanih u Hrvatskoj u ovoj godini, a posvećenih životu i radu Nikole Tesle. I ova Ljetna škola ima slične ciljeve. Specifična je po tome što sadržajem zadire u same temelje Teslinih znanstvenih propitivanja raščlanjujući njegovu fizikalnu ostavštinu.

Teslin pečat u fizici je ne samo neizbrisiv već i sveprisutan. Svjetska znanstvena zajednica propustila je, čini se, zabilježiti i nagraditi njegove pionirske prodore u elektromagnetizmu na prijelazu iz 19. u 20. stoljeće, kad je njegov genij postao svima očit. Je li činjenica da mu nije dodijeljena Nobelova nagrada propust, interesna politika ili pak rezultat objektivnih procjena njegovog doprinosa fizici i tehnologiji? Sada se zna da su njegova znanstvena otkrića temelj moderne fizike. Premalo se govori i piše o njegovim spoznajama o zrakama danas poznatim pod nazivom rendgenske zrake, o konceptu električki nabijenih čestica u električnom izboju u vakuumiranoj cijevi kasnije nazvanih elektronima, o detekciji i tumačenju kozmičkih zraaka te o brojnim drugim idejama i spoznajama. Još više čudi površnost glede javnog vrjednovanja njegovih izuma, uređaja bez kojih je nemoguće zamisliti praktičan život. Pravi primjeri za to su Teslina rješenja kojima je omogućio proizvodnju, prijenos na daljinu i pretvorbu električne energije u mehaničku, a koja se temelje principu rotirajućeg magnetskog polja odnosno višefaznog sustava izmjenične struje. Doda li se navedenim ključnim otkrićima popis od više od 700 registriranih patenata lako je uvidjeti njegov genij i zatražiti ponovno vrjednovanje njegovih istraživanja i postignuća i smjestiti ga na mjesto koje mu pripada u povijesti znanosti. Međunarodna znanstvena zajednica napravila je u povodu 100. obljetnice Teslina rođenja prvi korak davši njegovo ime jedinici za magnetsku indukciju.

Sadržajem ovogodišnje 22. ljetne škole mladih fizičara Hrvatsko fizikalno društvo pokušava mladim, nadarenim učenicima, sutrašnjim znanstvenicima, i uopće prirodoslovnoj i tehničkoj inteligenciji približiti Tesline ideje i postignuća u nekim područjima temeljne i primijenjene fizike.

Voditelj ove Škole i Uprava HFD-a zahvalni su Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa na financijskoj potpori koja pokriva glavninu troškova potrebnih za organizaciju. Također zahvaljujemo se brojnim sponzorima, imena kojih su navedena u Zborniku, od kojih svakako izdvajamo Grad Zagreb odnosno njegov Ured za obrazovanje, kulturu i šport koji odskade veličinom potpore.

Zlatko Vučić

Organizator:

Hrvatsko fizikalno društvo

Suorganizatori:

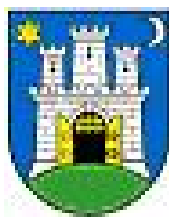
Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa
Prirodoslovno-matematički fakultat, Zagreb
Institut «Ruđer Bošković», Zagreb
Institut za fiziku, Zagreb
Srednja škola Mate Blažine, Labin
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Organizacijski odbor:

Darko Androić, PMF, Zagreb
Ivica Aviani, IF, Zagreb
Ticijana Ban, IF, Zagreb
Lahorija Bistričić, FER, Zagreb
Željko Brenčić, SŠMB, Labin
Milko Jakšić, IRB, Zagreb
Ines Krajcar-Bronić, IRB, Zagreb
Matko Milin, IRB, Zagreb
Ljiljana Nemet, MIOC, Zagreb
Miroslav Požek, PMF, Zagreb
Zlatko Vučić, IF, Zagreb (voditelj)
Krešo Zadro, PMF, Zagreb

Sponzori:

Grad Zagreb, Ured za obrazovanje, kulturu i šport
Dalekovod d.d., Zagreb
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb
Tehnix d.o.o., Donji Kraljevec
Radion d.o.o., Zagreb
Petrokemija d.d., Kutina
HEP – Zagreb
TE – Plomin
Grad Labin
Općine Kršan, Nedešćina, Pićan
Županija Istarska
Vodovod Labin
1. Maj – Labin
Istra Trading – Matulji
Rabac d.d.
TZ Grada Labina
Sinel – Labin
De Conte – Labin
Didacta Horvat - Zagreb



PETROKEMIJA d.d.
TVORNICA GNOJIVA KUTINA

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.



Sudionici 22. ljetne škole mladih fizičara

Učenici:

<i>Ime</i>	<i>Prezime</i>	<i>Mjesto</i>	<i>Kategorija</i>
Marija	Kranjčević	Zagreb	OŠ
Petar	Kunštek	Zagreb	OŠ
Borna	Miloš	Zagreb	OŠ
Zrinka	Bočkaj	Metković	SŠ – 1. grupa
Stipe	Vujić	Split	SŠ – 1. grupa
Petar	Mlinarić	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Nina	Kamčev	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Irma	Telarović	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Veronika	Sunko	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Zorana	Ćurković	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Ivan	Domladovec	Zagreb	SŠ – 1. grupa
Zlatan	Živković	Split	SŠ – 2. grupa
Grgo	Dželalija	Split	SŠ – 2. grupa
Matija	Vrhovec	Zabok	SŠ – 2. grupa
Tena	Dubček	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Leo	Osvald	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Stjepana	Brzaj	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Matija	Varga	Zagreb	SŠ – 2. grupa
Marko	Čolić	Osijek	SŠ – 2. grupa
Marin	Mišur	Metković	SŠ – 3. grupa
Mijo	Tvrdojević	Slavonski Brod	SŠ – 3. grupa
Lenka	Vukšić	Split	SŠ – 3. grupa
Igor	Telalović	Zagreb	SŠ – 3. grupa
Mihita	Cvitanović	Zagreb	SŠ – 3. grupa
Boran	Car	Split	SŠ – 4. grupa
Danijel	Pikutić	Varaždin	SŠ – 4. grupa
Marija	Mustać	Zadar	SŠ – 4. grupa
Ivan	Rančić	Zadar	SŠ – 4. grupa
Marko	Popović	Zagreb	SŠ – 4. grupa
Jurica	Kundrata	Sisak	SŠ – 4. grupa
Margaret	Ružman	Kloštar Podravski	OŠ – eksp. grupa
Martina	Derežić	Kloštar Podravski	OŠ – eksp. grupa
Ivan	Knežević	Split	OŠ – eksp. grupa

Stjepan	Vučković	Zagreb	SŠ – eksp. grupa
Ivan	Habrka	Zagreb	SŠ – eksp. grupa
Petra	Bevandić	Zagreb	SŠ – eksp. grupa
Domagoj	Eršek	Zagreb	SŠ – eksp. grupa
Petar	Čuček	Zagreb	SŠ – eksp. grupa
Karlo	Griparić	Labin	SŠ – eksp. grupa
Mauro	Čekada	Labin	SŠ – eksp. grupa
Slaven	Mišak	Varaždin	ostali
Niko	Boban	Šibenik	ostali
Velimir	Mihelčić	Šibenik	ostali
Siniša	Milović	Šibenik	ostali
Stanislav	Uložnik	Sarajevo	međ. suradnja
Ljiljana	Lukić	Tuzla	međ. suradnja
Ana	Ivišić	Travnik	međ. suradnja

Nastavnici u pratnji:

Prof. Ljiljana Nemet, XV gimnazija Zagreb
 Prof. Nela Jokić, Katolički školski centar, Travnik, BIH

Studenti u pratnji:

Neven Čaplar, Zagreb
 Antonio Majdandžić, Zagreb

Domaćini:

Prof. Čedomir Ružić, ravnatelj
 Prof. Željko Brenčić

Najsrdanije se zahvaljujem mnogim djelatnicima Srednje škole Mate Blažine iz Labina bez čije svesrdne pomoći organizacija ljetne škole ne bi bila moguća.

Posebno se zahvaljujem predavačima i članovima organizacijskog odbora koji su uložili izniman napor i trud u pripremi organizacije ove škole.

Voditelj ljetne škole Zlatko Vučić

Program predavanja i sadržaj zbornika

Nedjelja, 18. lipnja 2006. godine

Dolazak i smještaj u hotelu Mediteran (17:00)

Ponedjeljak, 19. lipnja 2006. godine

9:00	Ovaranje 22. ljetne škole mladih fizičara	
9:30	Darko Androić (PMF, Zagreb)	
	<i>Nikola Tesla: Vizije, život i postignuća</i>	5
10:30	Đuro Drobac (IF, Zagreb)	
	<i>Nikola Tesla i otkriće rotacijskog magnetskog polja</i>	16
11:30	Željko Marohnić (IF, Zagreb)	
	<i>Interaktivni eksperimenti u magnetizmu – permanentni magneti u gibanju</i>	
17:30	Rješavanje problemskih zadataka	

Utorak, 20. lipnja 2006. godine

9:00	Hrvoje Skenderović (IF, Zagreb)	
	<i>Nikola Tesla i plazma u vakuumskoj cijevi</i>	20
9:55	Lahorija Bistričić i Mile Baće (FER, Zagreb)	
	<i>Teslin trafo i Kirlianova fotografija</i>	26
10:50	Zvonimir Šipuš (FER, Zagreb)	
	<i>Svjetski bežični energetska i komunikacijski sustav u očima Nikole Tesle</i>	36
11:45	Nikola Poljak (PMF, Zagreb)	
	<i>Nikola Tesla i Guglielmo Marconi kontroverzna suradnja</i>	40
17:30	Rješavanje problemskih zadataka	

Srijeda, 21. lipnja 2006. godine

9:00	Tome Antičić (IRB, Zagreb) <i>Od Tesle do akceleratora TESLE</i>	45
9:55	Dario Hrupec (IRB, Zagreb) <i>Tesla i kozmičke zrake</i>	51
10:50	Nikša Krstulović (IF, Zagreb) <i>Spektroskopija: Svjetlo novog doba</i>	60
11:45	Mario Novak (PMF, Zagreb) <i>Vodljivi polimer polianilin</i>	65
17:30	Rješavanje problemskih zadataka	
20:30	Polazak za Višnjan Predavanje u zvjezdarnici u Višnjaju	

Četvrtak, 22. lipnja 2006. godine

15:30 IZLET - Brijuni

Petak, 23. lipnja 2006. godine

9:00	Željko Brenčić (SŠMB, Labin) - vježbe <i>Oscilatori</i>	72
11:00	Posjet termoelektrani Plomin	

Subota, 24. lipnja 2006. godine

Odlazak

Nikola Tesla

Vizije, život i postignuća

Darko Androić

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Fundamentalne sile u prirodi; elektromagnetska sila

Elektromagnetska sila jedna je od četiri fundamentalne sile u prirodi (preostale tri su gravitacijska, slaba i jaka; vidi tabelu) i predstavlja interakciju koju najbolje poznajemo i najkvalitetnije možemo opisati matematičkim izričajem. Sve moderne znanstvene spoznaje iz mikro i makrosvijeta možemo zahvaliti našem dobrom poznavanju elektromagnetske interakcije. Elektromagnetska sila ključna je sila druge industrijske revolucije koju je nezadrživo potaknuo i junak naše priče Nikola Tesla. No kao i u svakoj priči moramo se vratiti u vrijeme i na mjesto pravih događanja. S obzirom da živimo u civilizaciji toliko sklonoj stalnim promjenama ponekad se teško uživjeti u vrijeme ne tako davno, no ipak veoma različito od današnjeg.

teorija	sila (interakcija)	prenosilac (medijator)	relativna jakost	ponašanje	doseg
kromodinamika	jaka sila	gluon	10^{38}	1	10^{-15}m
elektrodinamika	elektromagnetska sila	foton	10^{36}	$1/r^2$	∞
aromodinamika	slaba sila	W and Z bozoni	10^{25}	$1/r^5 - 1/r^7$	10^{-18}m
geometrodinamika	gravitacijska sila	graviton	1	$1/r^2$	∞

Fundamentalne sile u prirodi (današnje spoznaje)

Postavke

Elektron je čestica koju najčešće imamo na umu kada razmišljamo o elektromagnetskoj interakciji. Možda u svemiru postoje i važnije objekti od elektrona, no bez dvojbe, ta sićušna čestica o kojoj znademo samo dvije ključne činjenice: da ima masu od 9.1×10^{-31} kilograma i da nosi svojstvo naboja u iznosu od 1.6×10^{-19} kulona, ima golemo značenje za našu civilizaciju. Obrazovanje nam svima nalaže da

neupitnim pretpostavljamo čestičnu građu materije koja nas okružuje. Čini se da nema prirodnijeg mišljenja od onog da je svijet sazdan od malenih tjelašaca: atoma, molekula i njihovih još manjih sastavnica; od dijelova koje prihvaćamo spontano i bez pretjeranog čuđenja kao da su oduvijek bili predmet našeg znanja i više ne zavređuju pretjeran interes našeg kritičkog uma. Međutim činjenica da je elektron čestica koja nosi svojstvo naboja utemeljena je ne tako davno, krajem 19. stoljeća.

Naziv elektron (ήλεκτρον) podsjeća na davno zapaženo svojstvo jantara da protrljan privlači male objekte, da trljanjem možemo postići da neka tijela pokazuju električna svojstva. S druge strane pak magnetit, prirodni mineral (μαγνήτης λίθος) koji privlači željezne objekte, ali s kojim možemo postići da željezni objekti i sami postanu magnetični, doveo je do izuma civilizacijski veoma korisne sprave – kompasa, no povezanosti ovih dviju pojavnosti vjekovima nitko nije uočavao.

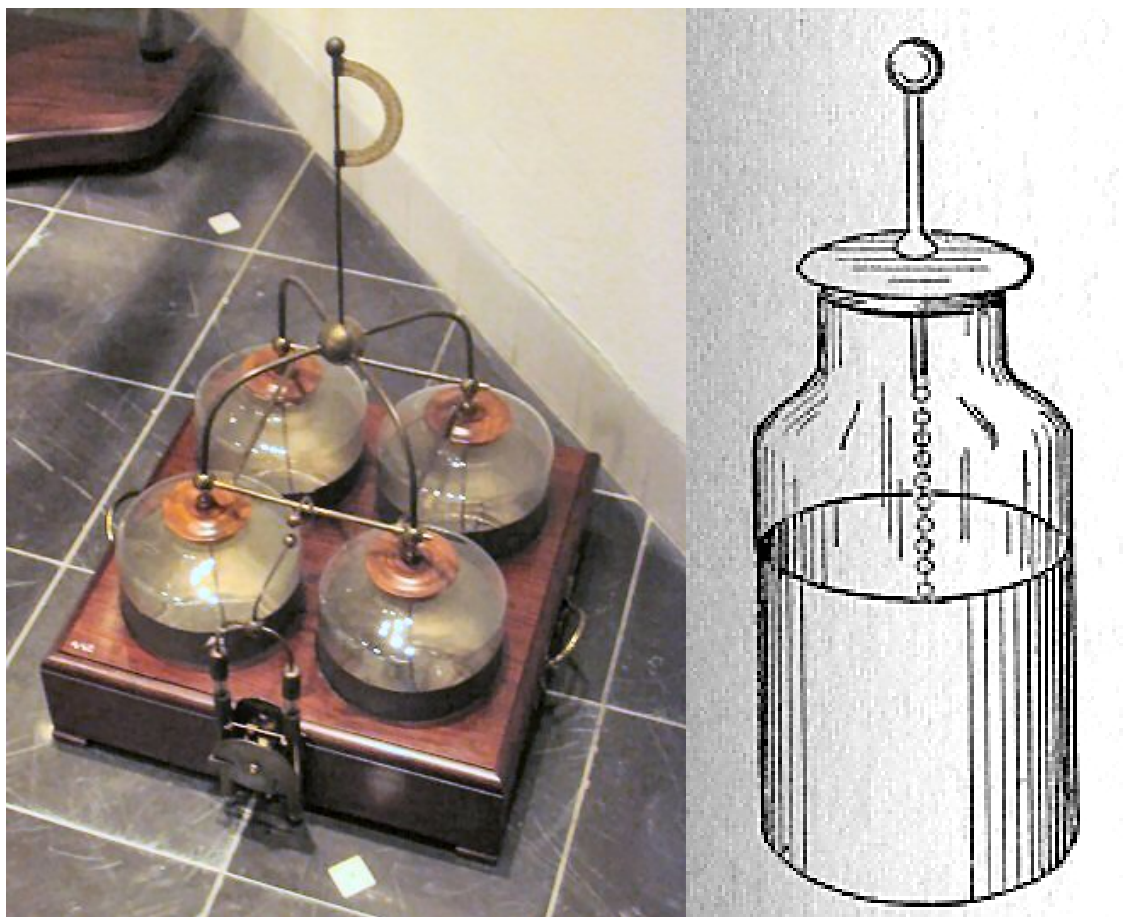
Električni i magnetski fenomeni intrigirali su najsvjetlije umove naše civilizacije no tek s početkom 19. stoljeća sazreli su uvjeti potpunijeg razumijevanja ovih pojava, a tek je 20. stoljeće iznjedrilo prve prave plodove tisućljetne fascinacije ovim pojavama.

Eksperimenti i spoznaje

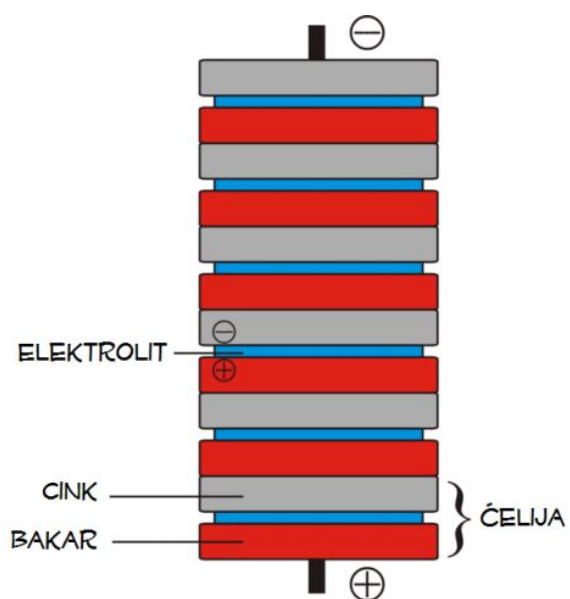
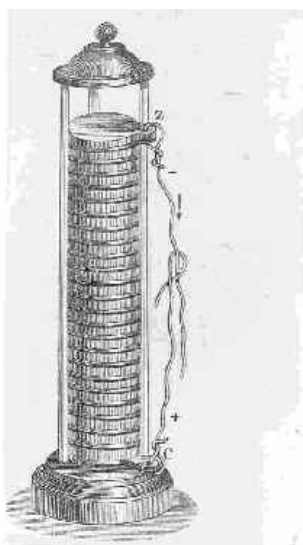
Da bismo uopće mogli eksperimentirati s nabojima i strujama (naboji u kretanju) moramo ih znati proizvesti i skladištiti na odgovarajući način. Do pronalaskе galvanškog članka istraživači su se morali dovijati na najrazličitije načine. Naboji proizvedeni trenjem (triboelektricitet) čuvahu se u napravama koje danas nazivamo kondenzatorima (kapacitorima), dok se tradicionalne naziv *leidenska boca* može još sresti samo u rječnicima stranih riječi.

Danas se može činiti neobičnom aktivnost Benjamina Franklina koji je riskirajući život sakupljao elektricitet tijekom olujnih noći skladišteći naboje za svoje dnevne eksperimente. Fascinaciju gromovima možemo vidjeti još samo u očima veoma male djece. Jedne takve noći, prije stotinu i pedeset godina kada su munje prale nebom nad Likom, rodio se, prema predanju, Nikola Tesla, čovjek koji će napraviti stoljetnu funkcionalnu sintezu različitih, do tada nepovezanih, spoznaja.

Prve prave eksperimente s električnom strujom potaknuo je izum baterije, Voltina članka, baziran na fenomenu razlike elektrokemijskih potencijala dviju elektroda od različitih tvari uronjenih u neku otopinu. Voltin članak, za razliku od leidenske boce, mogao je hraniti strujne krugove stalnom (konstantnom) strujom.



Leidenska boca; slika (Museum Boerhave) i shematski prikaz



Prva baterija, shematski prikaz

Hans Christian Ørsted



Danski fizičar i kemičar

Rođen

14. kolovoza 1777.
Rudkøbing, Danska

Umro

9. ožujaka 1851.
Copenhagen, Danska

Nedugo potom je danski fizičar Oersted (1821) povezao magnetska i električna svojstva, po nekima, u slučajnom eksperimentu. Danas njegovo otkriće možemo sažeti rečenicom: naboji koji se kreću u prostoru oko sebe stvaraju magnetsko polje. Da vodiči kojima teče struje proizvode pojavnost jednaku onoj trajnih magneta prva je važna znanstvena sinteza 19. stoljeća. Nakon Oersteda nitko više nije dijelio magnetske i električne pojavnosti u odvojene pretince znanstvenih istraživanja.

Michael Faraday (1831) otkrio je svojevrstu inverziju onoga što je pronašao Oersted.

Ne samo da električna struja stvara magnetski učinak, već se i magnetskim djelovanjem može stvoriti električna struja, struja naboja bez primjene Voltina članka. Otkriće elektromagnetske indukcije sažeto možemo opisati rečenicom da ako mijenjamo tok magnetskog polja kroz strujnu petlju (komad vodiča spojenih krajeva) u njoj će se inducirati struja koja će svojim magnetskom poljem (prema Oerstedu) nastojati neutralizirati promjene vanjskog magnetskog toka. O Faradayu kruži anegdota da nije mogao odgovoriti na upit o neposrednoj primjeni svojeg otkrića, otkrića koje je utkano u baš svaki elektromotor na ovom svijetu.



Da neki tvari dobro provode električnu struju, dok su drugi veoma dobri izolatori bilo je poznato od sama početka eksperimentiranja s električnim strujama. No tvari koje vode električnu struju, obično metali, ne vode podjednako dobro električnu struju. Ovim se problemom pozabavio njemački profesor Ohm (1827). Svojstvo kojim razlikujemo kvalitetu vođenja električne struje nazivamo električnim otporom odnosno električnom vodljivošću. Ona ovisi o geometrijskom karakteristikama dijelova strujnog kruga (žicama), ali i o vrsti tvari od kojeg je taj strujni krug napravljen. Ohm uočava da će struja koja protječe nekim elementom strujnog kruga biti to veća što je razlika potencijala (napon U) na krajevima veći, a obrnuto proporcionalna električnom otporu R . Fizikalna veličina napon mjeri zapravo energiju na koju možemo računati kad jedinični naboj prođe između dvije točke različita električna potencijala.



Ovdje su kratko pobrojane najvažnije spoznaje s početka 19. stoljeća; gole činjenice zapisane na žutom papiru koje je netko trebao suvislo posložiti. Napredak je čekao genija sposobnog sintetizirati znanstvene spoznaje i pretočiti ih u tehnološke inovacije koje će promijeniti život, navike i običaje jedne civilizacije.

AC/DC rat struja

Običavamo se žaliti na prevelike račune za struju, no ono što plaćamo našim računima nije cijena isporučenih elektrona već cijena njihove energije koju smo potrošili u našim trošilima pretvarajući energiju elektrona u svjetlosnu, toplinsku ili mehaničku. Jedan od važnih fizikalnih zakona sačuvanja kaže da je količina naboja u svemiru konstantna, stalna i nepromjenjiva. Doduše ne znamo koliko ta konstanta iznosi, ali ne poznamo niti jedan prirodni proces u kojem bi se njegova ukupna količina promijenila.

Edisona „krive“ da je izmislio žarulju. I uistinu ako u strujni krug postavimo komad tvari velikog otpora on će se početi grijati, užarit će se i isijavati svjetlost. Edisona je naprosto vodila ideja velike baterije, Voltina članka, koji bi mogao svojom energijom osvijetliti cijele gradove. Edison je promovirao istosmjernu struju na najbolji mogući način, donoseći svjetlost u mračne američke gradove druge polovice 19. stoljeća. No ukoliko želimo tom svjetlošću obasjati i knjigu dječaka željnog novih spoznaja u gluhim zimskim noćima na rubu jedne veoma daleke zemlje, morat ćemo smisliti drugačiji sustav, sustav koji je u stanju osvijetliti više od jednog doma, jednog grada i jedne zemlje. U svijetu u kojem živimo učinkovitost se mjeri novcem, a slično

je bilo i u 19. stoljeću. Istosmjerna struja pokazuje bitne nedostatke kada je treba dovesti na veoma udaljena mjesta. Naime, koliko god neke tvari bili dobri vodiči, dio energije koju želimo transportirati nepovratno se gubi se u tom transportu po onim istim fizikalnim principima po kojima se proizvodi korisna svjetlost i toplina u našim domovima.

I tako dolazimo do mjesta kada su sve važne spoznaje visjele u zraku čekajući da dobiju neki novi smisao. Genijalnost je po jednoj od definicija umijeća spajanja nespojivog. Civilizacija je čekala genija. U literaturi se Teslu obično spominje kao inženjera, znanstvenika i inovatora. To nije sasvim netočno. U dijelu svoje aktivnosti Tesla je bio i jedno i drugo i treće. No znanstvenici obično formuliraju istine u svijetu oko nas na jasan i transparentan način, inženjeri ove činjenice pretvaraju u upotrebljive forme prikladne za primjenu u svakidašnjem životu, a inovatori usavršavaju primjenu ovih oblika u novu, još efikasniju realizaciju. Rijetko u povijesti jedan osoba fizički objedinjava sve tri zadaće, ali kad ih objedinjava onda takve osobe moramo nazivati genijima.

Osamdesete godina devetnaestog stoljeća vrijeme su kada je naš junak po prvi puta pokazao svoju genijalnost. Ovo vrijeme običava se nazivati vremenom rata struja. Vrijeme rata u kojem se i prije rata znalo da postoji samo jedan pobjednik, no kao i u svakom ratu on se morao dogoditi jer poražena strane ne želi vidjeti ono što je neizbježno. Za primjene novih znanstvenih spoznaja treba se izboriti. Znanstvene činjenice ma koliko bile jasne i nedvosmislene ne moraju nužno brzo biti prihvaćene u svakidašnjem životu. Netko tko razumije sve znanstvene, tehnološke, pa i ekonomske aspekte može doprinijeti ubrzavanju civilizacijskih procesa. Edisonu, velikom inovatoru i vizionaru nije bilo suđeno da doprinese tom velikom koraku. S druge strane Atlantika stigao je Tesla. Obojica imaju dosta dodirnih točaka u svojoj biografiji, u kojoj je jedna od najistaknutijih činjenica njihov sukob. Prirodno nadmetanje dva vizionara i dva različita pristupa problemu rezultiralo je pobjedom mlađeg, vitalnijeg i manje opterećenog predrasudama.

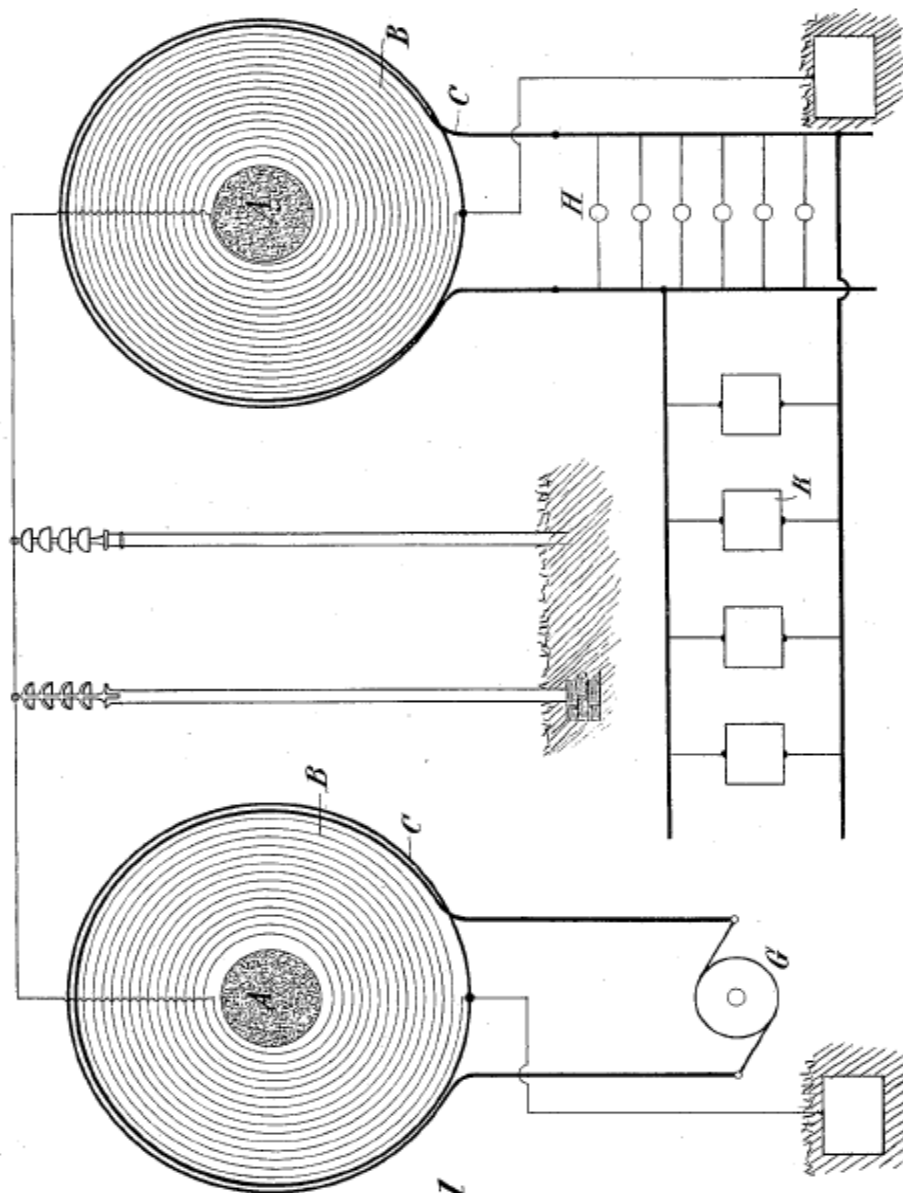
(No Model.)

2 Sheets—Sheet 1.

N. TESLA.
ELECTRICAL TRANSFORMER.

No. 593,138.

Patented Nov. 2, 1897.



WITNESSES

G. B. Lewis.

Edwin B. Hopkins.

INVENTOR

INVENTOR
Nikola Tesla

87

BY
Ken. Curtis & Age.

ATTORNEY

THE HORTON REYNOLDS CO., PHOTO-LITHO., WASHINGTON, D. C.

Primjer patentne prijave – prvi list

(No Model.)

2 Sheets—Sheet 2.

N. TESLA.
ELECTRICAL TRANSFORMER.

No. 593,138.

Patented Nov. 2, 1897.

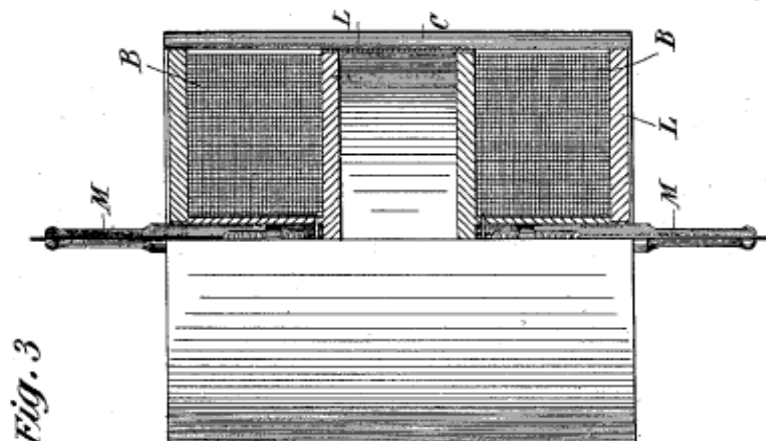


Fig. 3

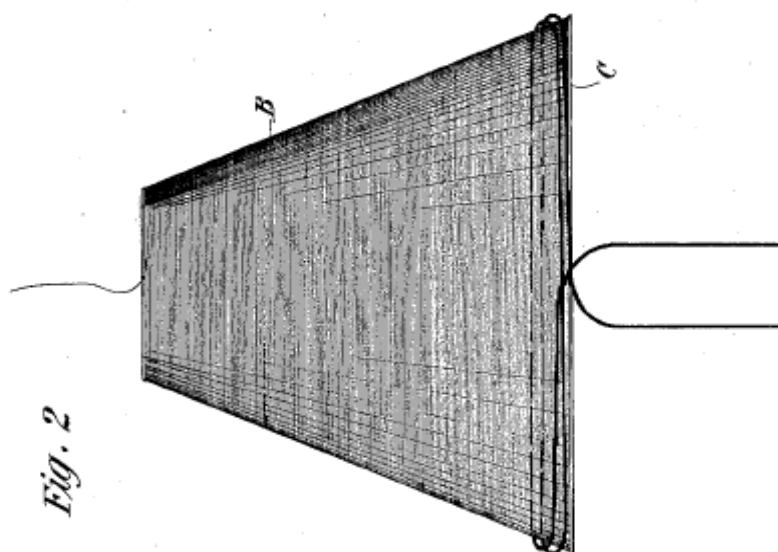


Fig. 2

WITNESSES

G. B. Loria.

Edwin B. Hopkinson.

INVENTOR

Nikola Tesla

BY

Kerr, Curtis & Age
ATTORNEYS.

THE NORRIS PETERS CO., PHOTO-LITHO., WASHINGTON, D. C.

Primjer patentne prijave – drugi list

Istosmjerna struja nije i ne može biti pogodna za distribuciju. Ma koliko ona bila povijesno i intuitivno bliža našem poimanju ima jedan važni nedostatak. Distribucija električne energije, onda kao i danas, obavlja se vodičima (provodnicima). I ma koliko oni bili dobri, na svakom segmentu prijenosa doći će do energijskih gubitaka koji su proporcionalni kvadratu struje koja teče tim vodičem.

S obzirom da je pri danoj razlici potencijala (naponu) U snaga koju električna struja ima jednaka umnošku napona i struje koja protječe:

$$P=UI$$

a Ohm je zaključio da je veza između napona i struje dana izrazom:

$$U=RI$$

matematički slijedi da će snaga trošila biti ovisna o kvadratu struje koja prolazi tim trošilom:

$$P=RI^2$$

Potrošače kao i vodiče karakteriziramo fizikalnom veličinom koju nazivamo električni otpor R i na koju ne možemo ni danas previše tehnološki utjecati. Jedini način da se energija prebaci s jednog na drugo udaljeno mjesto s minimalnim gubicima je minimaliziranje jakosti električne struje, odnosno maksimaliziranje napona električne struje.

Istosmjernoj je struji veoma teško povećati napon (energiju koju nosi jedinični naboj). Izmjeničnoj struji s druge strane koristeći Faradejev princip elektromagnetske indukcije s dvije zavojnice potpomognute željeznom jezgrom to je moguće napraviti veoma precizno i efikasno. Transformator je naprava koju je patentirao Tesla. Originalni patent i danas nije pretrpio veće tehnološke promjene. Električnu struju prenosimo danas visokonaponskim vodovima na velike udaljenosti uz minimalne gubitke.

Neka naša trošila (npr. katodne cijevi) zahtijevaju visoki napon da bi mogla raditi. Ništa lakše, lokalno povećamo napon na željenu vrijednost opet upotrebom transformatora. Od generatora koji proizvodi struju do potrošača u domaćinstvima i danas se primjenjuju Teslini patenti. Patenti koji su osigurali život civilizaciji, život onakav kakav poznajemo.

Zanimljivo je listati Tesline patentne prijave s kraja 19. stoljeća. Usporedba s napravama koje nas okružuju upućuje na kontradiktornu činjenicu o konstantnosti, stalnosti bar u segmentu proizvodnje i distribucije električne energije. Veoma je malo stvari koje nisu doživjele pozamašne promjene u posljednjih stotinu godina. I da u svom životu Tesla nije napravio više ništa osim pronalazaka vezanih za proizvodnju i transport električne struje zauzimao bi istaknuto mjesto među velikanima naše civilizacije. No Tesla nije bio obični velikan, a to je bio tek početak, uvodni dio njegove blistave karijere.

Patented Jan. 3, 1928.

1,655,114

UNITED STATES PATENT OFFICE.

NIKOLA TESLA, OF NEW YORK, N. Y.

APPARATUS FOR AERIAL TRANSPORTATION.

Application filed October 4, 1927. Serial No. 223,915.

This application is a continuation in part of my application Serial No. 499,518, filed September 9, 1921, and is made pursuant to the rules of the Patent Office, its purpose being to describe and claim apparatus which I have invented for carrying into practice the method therein disclosed.

The invention consists of a new type of flying machine, designated "helicopter-plane", which may be raised and lowered vertically and driven horizontally by the same propelling devices and comprises: a prime mover of improved design and an airscrew, both especially adapted for the purpose, means for tilting the machine in the air, arrangements for controlling its operation in any position, a novel landing gear and other constructive details, all of which will be hereinafter fully described.

The utility of the aeroplane as a means of transport is materially lessened and its commercial introduction greatly hampered owing to the inherent inability of the mechanism to readily rise and alight, which is an unavoidable consequence of the fact that the required lifting force can only be produced by a more or less rapid translatory movement of the planes or foils. This indispensable high velocity, imperilling life and property, makes it necessary to equip the machine with special appliances and provide suitable facilities at the terminals of the route, all of which entail numerous drawbacks and difficulties of a serious nature.

More recently, professional attention has been turned to the helicopter which is devoid of planes as distinct organs of support and, presumably, enables both vertical and horizontal propulsion to be satisfactorily accomplished through the instrumentality of the propeller alone.

The prospects of such a flying machine appear at first attractive, primarily because it makes possible the carrying of great weight with a relatively small expenditure of energy. This follows directly from the fundamental laws of fluid propulsion, laid down by W. T. M. Rankine more than fifty years ago, in conformity with which the thrust is equal to the integral sum of the products of the masses and velocities of the

projected air particles; symbolically expressed,

$$T = \Sigma(mv).$$

On the other hand, the kinetic energy of the air set in motion is

$$E = \Sigma\left(\frac{mv^2}{2}\right).$$

From these equations it is evident that a great thrust can be obtained with a comparatively small amount of power simply by increasing the aggregate mass of the particles and reducing their velocities. But the seemingly great gain thus secured is of small value in aviation for the reason that a high speed of travel is generally an essential requirement which cannot be fulfilled except by propelling the air at high velocity, and that obviously implies a relatively small thrust.

Another quality commonly attributed to the helicopter is great stability, this being apparently a logical inference judging from the location of the centers of gravity and pressure. It will be found, though, that contrary to this prevailing opinion the device, while moving in any direction other than up or down, has an equilibrium easily disturbed and has, moreover, a pronounced tendency to oscillate.

In explanation of these and other peculiarities, assume the helicopter poised in still air at a certain height, the axial thrust T just equalling the weight, and let the axis of the propeller be inclined to form an angle α with the horizontal. The change to the new position will have a two-fold effect: the vertical thrust will be diminished to

$$T_v = T \sin \alpha$$

and at the same time there will be produced a horizontal thrust

$$T_h = T \cos \alpha$$

Under the action of the unbalanced force of gravity, the machine will now fall along a curve to a level below and if the inclination of the propeller as well as its speed of rotation remain unaltered during the descent, the forces T , T_v and T_h will continuously increase in proportion to the density of the

Certificate of Correction.

Patent No. 1,655,114.

Granted January 3, 1928, to

NIKOLA TESLA.

It is hereby certified that error appears in the printed specification of the above-numbered patent requiring correction as follows: Page 1, after line 57, strike out the formula and insert instead

$$E = \Sigma \left(\frac{1}{2} m v^2 \right);$$

and that the said Letters Patent should be read with this correction therein that the same may conform to the record of the case in the Patent Office.

Signed and sealed this 20th day of March, A. D. 1928.

[SEAL.]

M. J. MOORE,
Acting Commissioner of Patents.

Patentna prijava s ispravkom – primjer patenta neelektromagnetskog izuma

Nikola Tesla i otkriće rotacijskog magnetskog polja

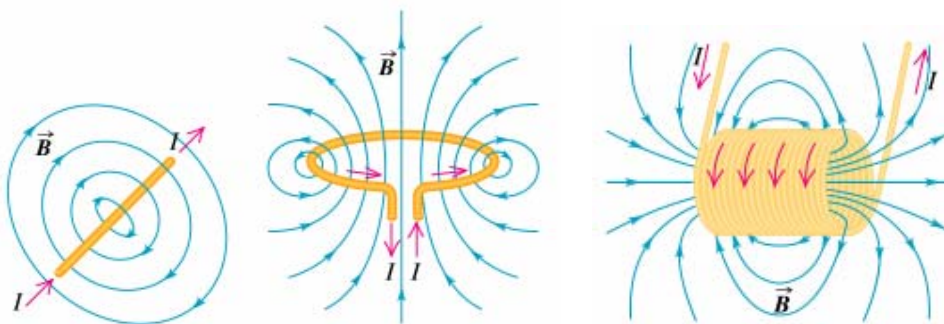
Đuro Drobac
Institut za fiziku, Zagreb

Otkriće rotacijskog magnetskog polja i njegova uporaba za izgradnju električnih strojeva pokretanih izmjeničnom strujom, omogućili su tehnološki procvat naše civilizacije.

To Teslino otkriće nije usamljen niti izoliran događaj nego je vrhunac jednog procesa započetog u travnju 1820 god. Tada je danski fizičar Oersted pokazao da se igla kompasa, postavljenog blizu žice kojom teče električna struja, zakreće i postavlja okomito na žicu. Kako je otprije bilo poznato da samo magnetit može zakretati iglu kompasa odmah je zaključeno da struja oko sebe stvara isto stanje (danas to zovemo magnetskim poljem) kao i magnetit.

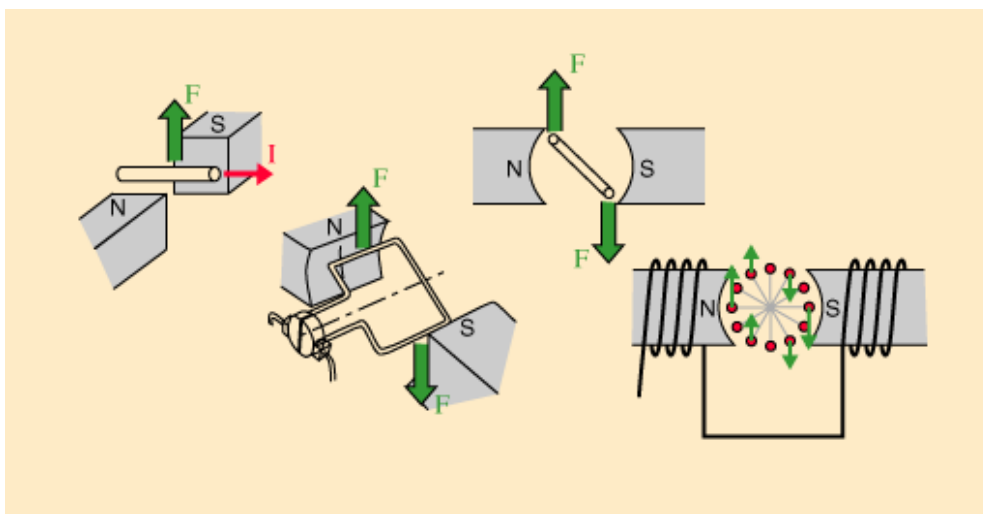


Ovo otkriće je izazvalo veliku pozornost u Francuskoj gdje su fizičari Ampere, Biot, Savart i Arago, temeljem niza pokusa, izveli teoriju koja je matematički povezivala struju u žici i polje koje se stvara oko nje te pokazali da se na žicu u magnetskom polju kojom teče struja može javiti sila. Zbog toga se žice kojima struja teče u istom smjeru privlače, a one kojima teče u suprotnom smjeru odbijaju.



Vrlo brzo je pokazano (Arago, Sturgeon) da se željezo, omotano žicom kojom teče struja, magnetizira tj. da se ponaša kao permanentni magnet. Nakon skoro 1500 godina poznavanja magnetita ljudi su uspjeli sami napraviti "umjetni" magnet. U sljedećih desetak godina postignuta su važna otkrića: motor, generator i zakoni indukcije koji se danas pripisuju engleskom fizičaru Michaelu Faradayu iako ima naznaka da su, u tom periodu, i drugi istraživači neovisno došli do sličnih spoznaja. Već tada su istraživači bili svjesni situacija u kojima se može koristiti tzv. istosmjerna struja (struja koja stalno teče u istom smjeru; dc- direct current) , čiji je izvor npr. baterija i onih u kojima je nužno koristiti izmjeničnu struju (koja stalno mijenja smjer; ac – alternating current) npr. kod zakona indukcije.

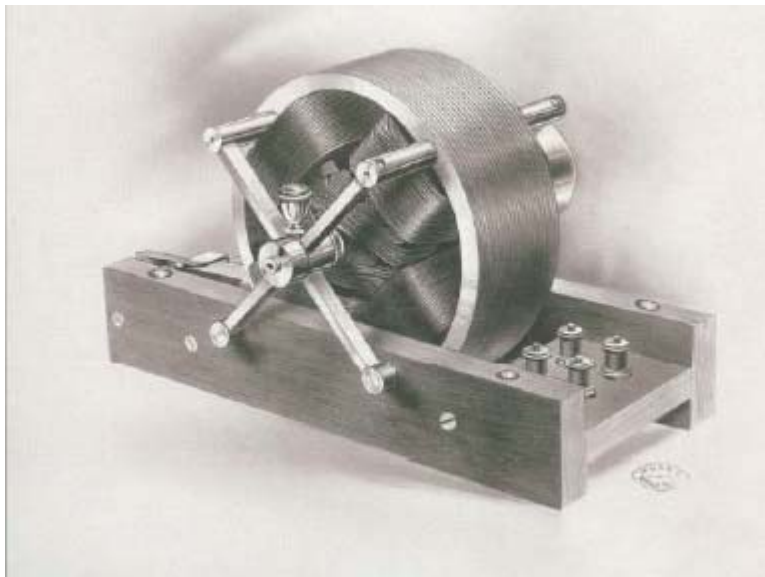
Sredinom devetnaestog stoljeća ove spoznaje i tehnička rješenja bazirana na njima počinju se sve više koristiti u industriji i za rasvjetu gradova. No većina električnih strojeva za svoj rad koristi istosmjernu struju. Razloga zašto je dc struja ušla u široku uporabu je nekoliko. Inženjeri su dobro poznavali principe rada dc motora. Na namotaje statora dovodi se istosmjerna struja koja generira stalno magnetsko polje. U njemu je smješten rotor kroz čije namotaje (koji su uvijek okomiti na smjer polja) prolazi također istosmjerna struja. Na žice rotora djeluje sila okomita i na smjer polja i na smjer struje. Da se rotor ne bi zaustavio kad ravnina strujne petlje dođe okomito na polje, smjer struje kroz rotorske namotaje se u pogodnom trenutku lako promijeni komutatorom i to održava isti smjer vrtnje. Proces generiranja dc struje je obrnut. Vrtanja rotora se održava vanjskom silom i to u namotajima rotora generira struju. Drugi, još važniji razlog je bio što nitko nije znao kako konstruirati motor s ac strujom. Ako bi se na stator dovela ac struja to bi davalo magnetsko polje koje bi stalno mijenjalo orijentaciju. Uskladiti struju kroz rotor tako da daje isti smjer vrtnje, čak i pod opterećenjem i promjenljivim brojem okretaja bilo je praktički nemoguće. No i sama distribucija istosmjerne struja potrošačima je imala i nekoliko velikih nedostataka. Istosmjerni napon se praktično nije mogao mijenjati i zato ta mreža nije mogla biti dalekog dosega. Ako je bila potrebna veća snaga tada se mreža jako grijala što je dovodilo do čestih kvarova i pregaranja. Čak se postavljalo i nekoliko žica različitih debljina za potrošače različitih snaga.



Tesla se sa svijetom elektriciteta susreo na studiju u Grazu. Fascinirao ga je Grammeov dinamo stroj koji je mogao biti i motor i generator. Svom profesoru je rekao da bi se ista stvar trebala moći izvesti i bez komutatora. Njegova ideja je bila sljedeća: ako se komutator koristi za promjenu smjera struje zašto se ne bi koristila izmjenična struja koja već sama po sebi mijenja smjer? To je bio početak njegovih razmišljanja o konceptu ac motora do kojeg je došao 1882 god. u Budimpešti. Postoje barem dvije legende o tome kako je Tesla došao do rješenja. Jednu je iznio sam Tesla; dok je s prijateljem šetao po Budimpešti i recitirao Fausta sinula mu je ideja koju je odmah skicirao štapom u pijesku. Prema drugoj (Tehnička enciklopedija, JLZ 1973 god.) Tesla je popravljao jedan mali transformator koji je imao spoj na sekundarnoj strani. Na transformatoru je bila daska na kojoj je bila metalna kugla. Pri uključenju transformatora Tesla je primijetio da se kugla okreće. Vjerojatno je to bio početak Teslina razmišljanja o tome da rotaciono polje može, vrtložnim strujama, pokretati metalni kavez. Konačno rješenje je bilo genijalno i jednostavno. Ako se dva para zavojnica, kojima teče izmjenična struja, pomaknuta u fazi za četvrtinu titraja, postave okomito tada će se u sredini stvoriti magnetsko polje konstantna iznosa, čiji smjer će jednoliko rotirati istom frekvencijom kao i struja. Ako se u to područje stavi metalni kavez on će nastojati rotirati za poljem. To je bio Teslin dvofazni asinhroni motor kojemu nije trebao ni komutator niti četkice.

Nakon dolaska u Ameriku Tesla je za svoj izum pokušao zainteresirati Edisona, izumitelja i industrijalca koji je već imao velika iskustva s dc strujama i motorima. No Edison nije pokazao nikakav interes – čak ga je smatrao konkurentnim svojoj dc meži - i Tesla se vrlo brzo razišao s Edisonom. Uz pomoć A.K. Browna iz Western Union telegrafske kompanije Tesla je uspio napraviti svoj motor i 1887 god. prijavio patente iz polifaznih struja. Patenti su sadržavali kompletan sustav generatora, transformatora, prijenosa, motora i rasvjete baziran na ac struji.

Svoje izume Tesla je izložio u predavanju "A New System of Alternate Current Motors and Transformers" 16. svibnja 1888 god. pred članovima AIEE na sveučilištu Columbia. Tom prilikom Tesla je pokazao dva svoja motora od kojih je jedan, prikazan na slici, imao pola KS. Predavanju su prisustvovali mnogi industrijalci i novinari.



Tesline patente je otkupio industrijalac George Westinghouse i prvi veliki uspjeh postigao kada su svi ti uređaji iskorišteni za osvjetljenje Svjetske izložbe u Chicagu 1893 god. povodom 400. obljetnice otkrića Amerike. Temeljem tog uspjeha Westinghouse je krajem te godine dobio i posao izgradnje hidroelektrane na Niagari. To je bio konačni uspjeh ac struje i početak trijumfnog pohoda Teslinih izuma širom svijeta.

Nikola Tesla i plazma u vakuumskoj cijevi Otkriće elektrona

Hrvoje Skenderović

Institut za fiziku, Zagreb

Poznata je Teslina svestranost i ogromna aktivnost u mnogim poljima primjenjene znanosti. U jednom segmentu svog djelovanja, on se intenzivno približio i polju atomske fizike. Možemo reći da su njegova zapažanja pri eksperimentiranju s električnim izbojem u evakuranim cijevima bila na pravome tragu istine o strukturi atoma, tada još sasvim zagonetnoj.

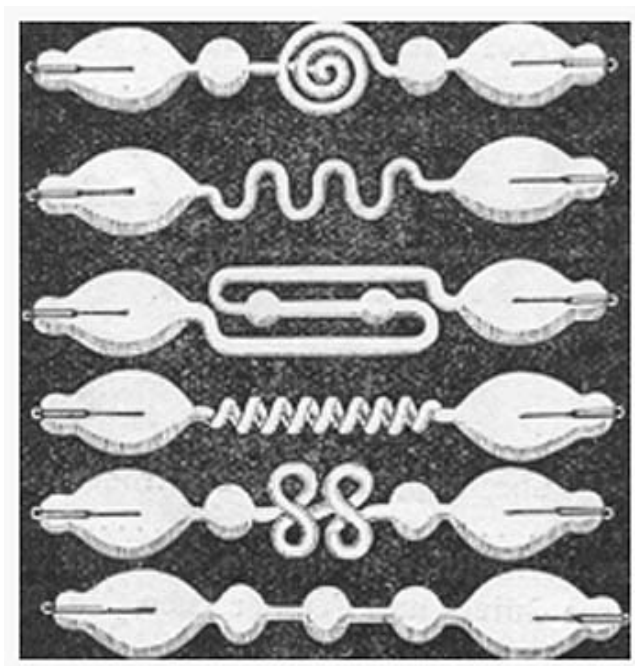
Atom i elektron

Atomski koncept u znanosti postoji od starih Grka, poput Demokrita koji u petom stoljeću prije Krista zastupa tezu da postoji najmanji djelić materije – atom. Sve do Daltona, početkom XIX. stoljeća nije se otišlo puno dalje u razumijevanju osnovne strukture materije. U svome radu iz 1808. on navodi da postoje različiti atomi (elementi), ali da su svi od jedne vrste međusobno isti po obliku, težini i svim drugim osobinama. Time je započela moderna kemija, ali se za atom još uvijek dugo vjerovalo da je nedjeljiv¹. Možda najveći fizičar XIX. stoljeća James Clerk Maxwell još je 1875 za atome vjerovao da su kompaktna cjelina:

"Iako su se tijekom vremena događale katastrofe i još se događaju u svemiru, iako se drevni sustavi mogu raspasti, a novi stvoriti iz ruševina starih, molekule (tj. atomi) od kojih su građeni ti sustavi – temeljni građevni blokovi materijalnog svijeta – ostaju nesalomljivi i netaknuti. Oni nastavljaju postojati kako kada su bili stvoreni – savršeni u broju u mjeri i težini."

S druge strane, elektromagnetizam je postao važan dio znanosti u drugoj polovici XVIII. stoljeća, bez nekih dubljih predstava o tome što je elementarni nositelj električnih i magnetskih svojstava. Sa stajališta strukture materije i elektriciteta, bitni su eksperimentalni radovi Faradeya dvadesetih i tridesetih godina XIX. stoljeća u vezi elektrolize koje uvode pojmove poput anoda, katoda, ion, anion, kation. Njegov zakon elektrolize tvrdi da je količina elektriciteta nanaesena na anodi srazmjerna Avogadrovom broju (dakle broju molekula po molu) i univerzalnoj jedinici naboja e . Što bi taj e trebao značiti? Helmholtz je 1881. ovako formulirao Faradejevo otkriće.

"Ako prihvatimo hipotezu da su elementarne tvari sačinjene od atoma, ne možemo izbjeći zaključak da je i elektricitet, kako pozitivni tako i negativni, podijeljen na elementarne količine koje se ponašaju poput atoma elektriciteta." Zanimljivo je da je 1891. upravo ta osnovna jedinica naboja nazvana elektronom, a ne čestica za koju se onda još nije znalo.



Slika 1. Kolekcija Geissler- Crookesovih cijevi s kraja XIX. stoljeća

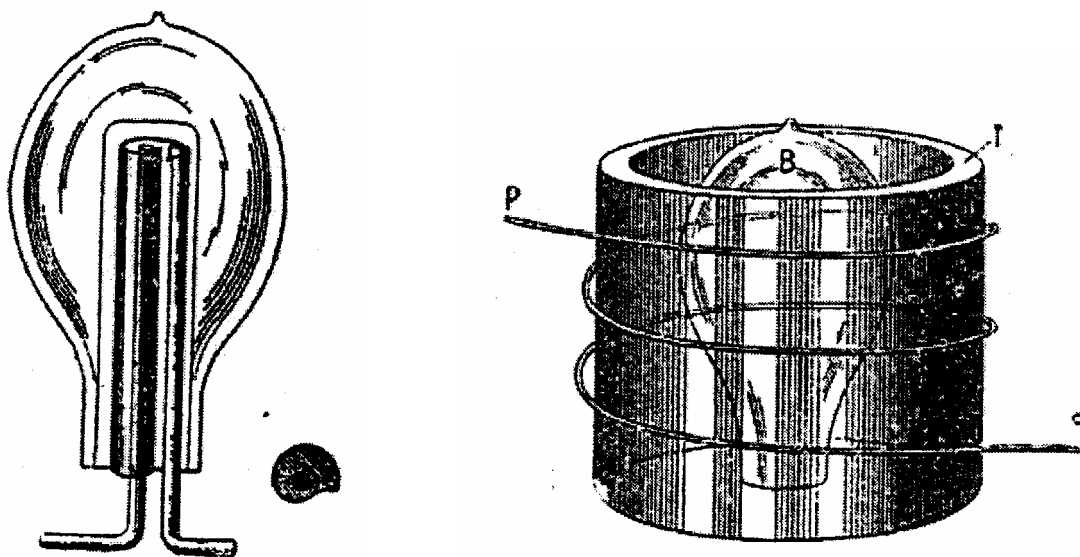
Ovdje negdje u priču o otkriću elektrona ulazi Nikola Tesla koji je u zimu i proljeće 1890. intenzivno proučavao električni izboj u vakuumskim cijevima. Usavršavanjem pumpi koje su mogle stvoriti relativno visoki vakuum, eksperimenti s električnim izbojem u razrijeđenom plinu postali su veoma popularni. Napredak u vakuumskoj tehnologiji je donio Nijemac Geissler, a potom i Sir William Crookes tako da su se već sedamdesetih godina XIX. stoljeća cijevi mogle evakuirati do tlaka u iznosu od jedne stotinke milimetra živinog stupca. (Tlak od jedne atmosfere iznosi 760 mm živinog stupca.) Opaženo je da kada se evakuirana cijev opremljena zataljenom katodom i anodom podvrgne djelovanju visokog napona, dolazi do električnog izboja u razrijeđenom plinu koji pokazuje slabiju ili jaču luminiscenciju. Po toj svjetlosti je ovaj tip izboja dobio naziv tinjavi izboj. Zanimljivo je da su Tesla i Crookes bili prijatelji i intenzivno su se družili za vrijeme Teslinog boravka u Londonu. Crookes je bio pomalo i mistik, vjerovao je da ljudi mogu komunicirati pomoću visokofrekventnih moždanih valova. O svojim idejama opširno je diskutirao s Teslom koji je kasnije opisao da ih je s pažnjom saslušao tek zato što je Crookes cijenio kao velikog znanstvenika. Nekoliko mjeseci kasnije, Tesla je imao jedno takvo spiritualno iskustvo kad je osjetio majčinu smrt dok je boravio u jednom hotelu u Parisu. Svoju viziju je objasnio upravo pomoću Crookesovih moždanih valova koji omogućavaju direktnu komunikaciju jednog uma s drugim. Treba napomenuti da u tome Tesla nije vidio ništa paranormalno, već je uzroke tog fenomena nalazio u istim onim principima koji omogućuju bežični prijenos energije. Tesline veze s Crookesom su značajnije za studije luminiscencije iz vakuumske cijevi, iako su Crookesovi eksperimenti s plazmom poslužili Tesli tek kao inspiracija, a u daljnjem istraživanju Tesla je išao svojim originalnim putem.

Tesla je iskoristio svoj transformator da bi pobudio evakuirane cijevi na tinjanje. Kao što znamo, Teslin transformator je uređaj kojim se preko

elektromagnetske indukcije proizvodi visoki naponi vrlo velikih frekvencija. Način rada i transformacije energije sličan je kao i kod običnog transformatora. Primarni namotaj ujedno je sastavni dio titrajnog kruga koji osim zavojnice sadržava kondenzator i iskrište, a energiju može primati od induktora ili od visokonaponskog transformatora. Kondenzator se prazni preko iskrišta kroz zavojnicu, uslijed čega se u njoj stvara visokofrekventno magnetsko polje koje uzrokuje indukciju u sekundarnom namotaju.

Kada je ovaj princip korišten za pobudu luminiscencije, primar se sastojao od nekoliko namotaja debele izolirane bakrene žice¹, a sekundar je u biti bio sam razrijeđeni plin u staklenom balonu, slika 2. Primar je bio najčešće unutar staklene cijevi zatvorene na jednom kraju, koja je bila umetnuta u stakleni balon obične lampe.

Puštanjem struje kroz primar u balonu bi nastao svijetli krug ili cilindar oko primara. Eksperimentirajući s lampama različitih oblika, Tesla je došao do zaključka da je izvor svjetlosti elektrostatske naravi. Pojam elektrostatski on koristi da bi opisao distribuciju i redistribuciju naboja u balonu uslijed djelovanja polja primara. U vezi interpretacije luminiscencije Tesla se upustio u kratku polemiku s profesorom J. J. Thomsonom, trećim po redu profesorom na nekad Maxwelllovoj katedri u Cambridgeu.

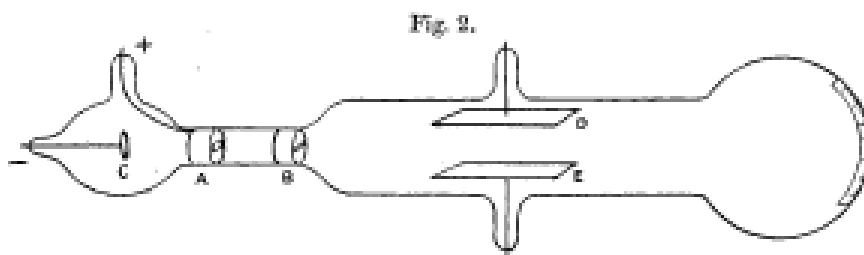


Slika 2. Primjeri Teslinih lampi iz originalnog članka iz 1891.

Tesla zastupa stav da se luminiscencija ne može dobiti elektromagnetskom pobudom¹ statičkih atomskih ili molekulskih naboja kojom bi se oni natjerali na titranje i emitiranje svjetla. Nasuprot tome, ističe da je za svjetlosni efekt nužna snažna sila koja će poremetiti raspodjelu naboja. Također je uočio i da bombardiranjem nekog tijela unutar balona pomoću nabijenih čestica možemo dobiti svjetlost. U jednoj rečenici on pretpostavlja su te nabijene čestice vrlo male. O realnom stanju plazme tinjavog izboja reći ćemo nešto u sljedećem dijelu.

Tesla je puštao svoje visokofrekventne struje kroz cijevi pod različitim tlakovima, punjene različitim plinovima i dobivao svjetlost visokog intenziteta i različitih boja. Kada je vidio da se u izboju pojavljuju različite boje, pretpostavio je da se ne izrači sva energija u obliku vidljive svjetlosti već dijelom i kao "tamna" svjetlost. Tamnom svjetlošću se nazivala ultraljubičasta svjetlost koja ljudskom oku nije vidljiva. Slijedeći svoju hipotezu, Tesla je obložio stijenke izbojnih cijevi fosforescentnim materijalom i pobudio ih na luminiscenciju. Dakle, sistem za pretvaranje ultraljubičaste svjetlosti u vidljivu pomoću fosforescentnih materijala je Teslin izum, pa se on s pravom može smatrati ocem današnjih neonki u kojima se koristi isti princip.

J.J. Thomson je nastavio ispitivanja u vakuumskim cijevima s katodnim zrakama što je dovelo do otkrića elektrona. Jedna takva cijev je prikazana na slici 3. Odredio je masu i naboj elektrona i zaključio da je elektron jedan mali djelić atoma, odnosno da atom nije nedjeljiv. Nije poznato da li se ikad više referirao na svoju polemiku s Teslom gdje je upravo Tesla predvidio postojanje malih, nabijenih čestica.



Slika 3. Cijev za katodne zrake s kojom je Thomson izmjerio omjer naboja i mase elektrona.

Tinjavni izboj

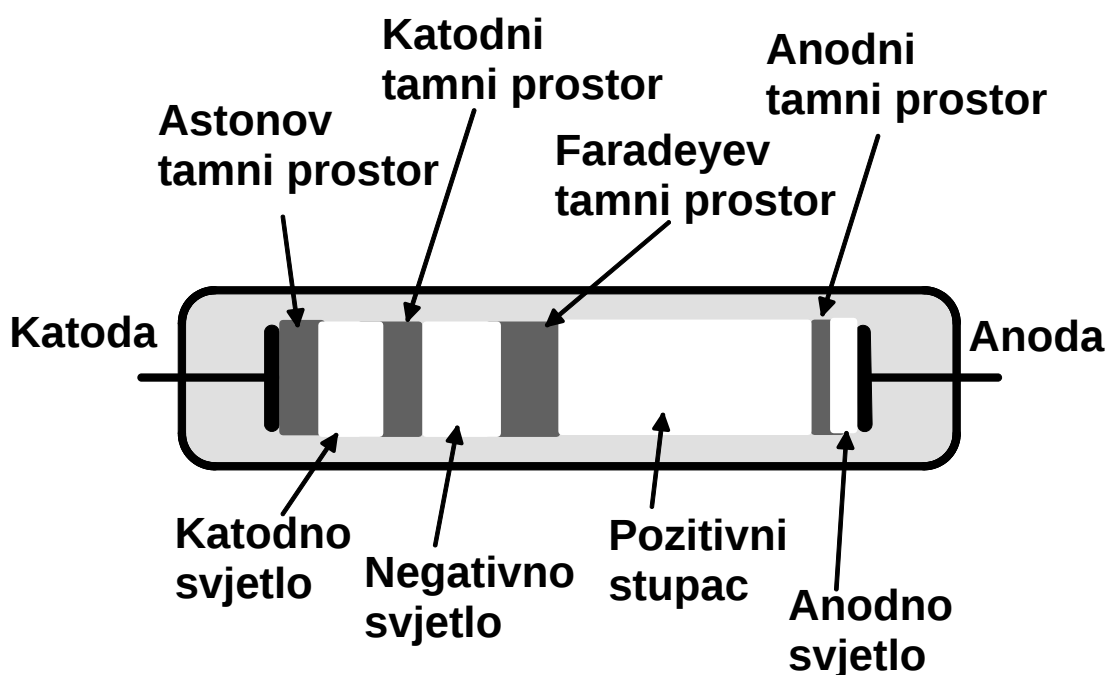
Tinjavni izboj je onaj izboj u kojemu se elektroni emitiraju iz katode uslijed bombardiranja česticama i fotonima iz plina. Karakteristično za tinjavni izboj je redovito mali tlak plina (reda veličine 1 mm živinog stupa), i struje koje ne prelaze 1 A.

Tinjavni izboj je praćen pojavom nekoliko svijetlih i tamnih zona². Polazeći od katode prvo nailazimo na tanak tamni prostor (Astonov tamni prostor), potom dolazi katodno svjetlo, katodni tamni prostor, negativno svjetlo, Faradejev tamni prostor, pozitivni stupac, anodni tamni prostor i anodno svjetlo, Slika 4.

U nekim izbojima pojedine zone mogu biti odsutne. Ponekad se javlja nekoliko tamnih i svijetlih zona u pozitivnom stupcu, ta se pojava naziva strijacijom.

Svjetlost iz tinjavog izboja je posljedica pobuđivanja atoma ili molekula plina pomoću sudara s nabijenim česticama, elektronima i ionima. Što se događa pri sudaru elektrona s atomom? Ukoliko elektron ima dovoljno veliku energiju on može iz atoma izbiti jedan (ili više) elektrona i ostaviti atom pozitivno nabijenim – odnosno, stvoriti pozitivni ion. Ovaj proces nazivamo ionizacijom. Mogući događaj

pri sudaru je i ekscitacija, - atom se pobudi u više energijsko stanje, odnosno jedan elektron u atomu prijeđe u višu orbitu. Atom ostane neko vrijeme u pobuđenom stanju a zatim se vraća u osnovno stanje. Pri tome se razlika energije između pobuđenog i osnovnog stanja izrači u obliku elektromagnetskog zračenja. Najčešće je to vidljivo ili ultraljubičasto svjetlo. To je mehanizam nastajanje svjetla u izboju. U izboju imamo elektrone, ione i naravno nenabijene atome (molekule) koje nazivamo neutralima. Ovakvo stanje materije koje pored neutral sadrži nabijene čestice nazivamo plazmom.



Slika 4. Raspodjela svjetlih i tamnih zona u tinjavom izboju.

Raspodjela svjetlih i tamnih zona može se kvalitativno objasniti na sljedeći način. Elektron se emitira s katode uslijed udara pozitivnog iona. On se u početku ubrzava u jakom električnom polju, ali uzrokuje relativno mali broj ionizirajućih sudara, budući da mu energija nije mnogo veća od energija ionizacije. Međutim, dalje od katode iako je polje postalo manje, elektron ionizira mnogo efikasnije i dolazi do velikog umnožavanja elektrona. Blizu granice između tamnog katodnog prostora i negativnog svjetla polje postaje vrlo slabo, pa su samo oni elektroni koji nisu pretrpjeli veliki broj neelastičnih sudara u stanju ionizirati. Međutim, veliki broj elektrona prijeći će granicu i ući u zonu negativnog svjetla.

Između katode i zone negativnog svjetla, zahvaljujući procesu multiplikacije povećao se broj elektrona sposobnih za ionizaciju i stvara se veliki broj pozitivnih iona koji predstavljaju jaki pozitivni prostorni naboj. Ovi pozitivni ioni, kretat će se prema katodi i udarati o katodu. Osim toga na katodu padaju i fotoni i brzi neutrali (nastali prijenosom naboja). Svi skupa na katodi izazivaju emisiju sekundarnih

elektrona. Da bi se izboj održao, svaki emitirani elektron s katode mora izazvati dovoljan broj ekscitirajućih i ionizirajućih događaja koji će dovesti do emisije još jednog elektrona.

Elektron polazi s katode s malom energijom i nije u stanju pobuditi atome na zračenje dok ne dosegne barem energiju ekscitacije najnižih atomskih stanja. Zato se javlja Astonov tamni prostor, a zatim katodni svijetli sloj u kojemu elektroni dosežu maksimum ekscitacijskih funkcija. Na velikim udaljenostima od katode većina elektrona ima brzine daleko veće od ekscitacijskih maksimuma, zato se javlja tamni prostor.

Elektroni koji uđu u svijetlu oblast sastoje se od najmanje dvije grupe: elektroni su proizvedeni na katodi ili blizu nje i nisu imali gubitke te imaju veliku brzinu. Drugu, veću grupu čine elektroni koji su pretrpjeli veliki broj sudara, stvoreni su u tamnom prostoru i zbog toga su spori. Ovi spori elektroni su na ekscitacijskom maksimumu ili oko njega, te su u stanju pobuditi veliki broj atoma što dovodi do svijetle zone - negativnog svjetla. Poslije tih sudara brzina im se još više smanji, pa je moguća i rekombinacija, jer je u ovom dijelu polje malo, a koncentracija iona velika.

Zatim polje blago raste i razvija se Faradejev tamni prostor koji je predvorje pozitivnog stupca. U pozitivnom stupcu osna komponenta polja je konstantna, a ukupni prostorni naboj jednak je nuli, odnosno u svakoj točki koncentracija elektrona je jednaka koncentraciji pozitivnih iona. Zbog male pokretljivosti iona, elektroni praktično nose cijelu struju, dok pozitivni ioni kompenziraju prostorni naboj elektrona. Polje u pozitivnom stupcu je nekoliko redova veličina manje od polja u tamnom prostoru. U ovom dijelu izboja ionizacija se ne dobiva od usmjerene brzine elektrona u pravcu električnog polja, već više od njihove velike nasumične brzine.

Na anodnoj strani tinjavog izboja pozitivna anoda privlači elektrone, a odbija pozitivne ione. Zbog toga se u blizini anode stvara negativni prostorni naboj. Ovo dovodi do porasta električnog polja kao i do porasta potencijala koji se naziva anodni pad.

Literatura

¹ A. Pais, *The Discovery of Electron*, Beam Line, **27**, 4 (1997).

² N. Tesla, *Electric Discharge in Vacuum Tubes*, The Electrical Engineer. July 1, A-16, (1891).

³ N. Tesla, *Experiments with Alternate Currents of Very High Frequency and Their Application to Methods of Artificial Illumination*, Predavanje na American Institute of Electrical Engineers, Columbia College, N.Y., May 20, (1891).

⁴ Von Engel, *Ionized Gases* (Oxford University Press, London, 1965)

Teslin trafo i Kirlianova fotografija

Mile Baće i Lahorija Bistričić

Zavod za primijenjenu fiziku, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Semion Davidovič Kirlian (rođen u Rusiji 1898 god.) je 1939 god. popravljajući medicinsku opremu koja se koristi u elektroterapiji uočio da, ako se neki predmet položen na fotografsku ploču stavi u visokofrekventno električno polje, na ploči nastaje slika (otisak) tog predmeta [1]. Istu pojavu uočio je Nikola Tesla već 1890 god. i nazvao ju elektrografska fotografija ili elektrografija. Međutim, S. D. Kirlian je 1949 god. način slikanja pomoću visokofrekventnog elektromagnetskog polja prijavio u Uredu za zaštitu autorskih prava u SSSR-u, pa je ta metoda danas poznatija pod nazivom Kirlianova fotografija.

Teslin visokofrekventni generator

N. Tesla je već 1893. god. održao predavanje u Filadelfiji (Franklinov Institut) u kojem je govorio o mogućnostima generiranja visokonaponskog $[(0,2-3) \cdot 10^6 \text{ V}]$ i visokofrekventnog (10^6 Hz) električnog polja primjenom transformatora koji danas nosi njegovo ime (popularno Teslin trafo ili Teslin VF-generator; VF-visokofrekventni). Teslin trafo se sastoji od induktora i visokonaponskog rezonantnog transformatora [2]. Da bi razumjeli kako radi Teslin generator podsjetimo se Faradayevog zakona indukcije prema kojem je inducirana elektromotorna sila u električnom krugu razmjerna brzini promjene magnetskog toka kroz spomenuti krug tj:

$$E = - \frac{d\Phi_B}{dt}.$$

Negativan predznak posljedica je zakona o održanju energije, a slikovito govori da se pojava suprostavlja svome uzroku. Dakle, ako se neki električni krug (vodič koji okružuje neku površinu) postavi u promjenljivo magnetsko polje u krugu će se inducirati elektromotorna sila. Međutim, ako nema vanjskog magnetskog polja, već je krug spojen s izvorom vremenski promjenljive električne struje $I(t)$ (slika 1.), u krugu i oko njega nastat će promjenljivo magnetsko polje (Amperov i Biot-Savartov zakon [3]).

Magnetski tok kroz strujnu petlju razmjeran je struji:

$$\Phi_B = L_k \cdot I.$$

Koeficijent proporcionalnosti L_k je induktivnost ili koeficijent samoindukcije koji ovisi o geometriji, broju zavoja i materijalu. Jedinica induktiviteta je *henri* (H).

Samoinducirana elektromotorna sila proporcionalna je brzini promjene struje kroz krug:

$$E_L = -L_k \cdot \frac{dI}{dt}.$$

Za zavojnicu s N zavoja magnetski tok je $N \cdot \Phi_B = L \cdot I$ (L je induktivnost zavojnice) vrijedi:

$$E_L = -L \cdot \frac{dI}{dt}.$$

Energija magnetskog polja u zavojnici, kada je kroz nju uspostavljena struja I , može se prikazati izrazom:

$$E_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2.$$

Sjetimo se, da energija "spremljena" u kondenzatoru kapaciteta C nabijenog nabojem Q iznosi

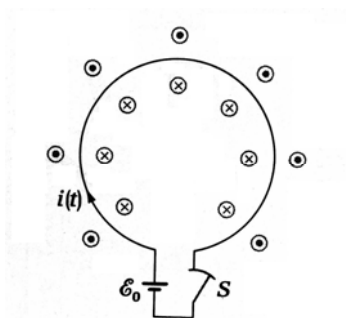
$$E_e = \frac{1}{2} Q \cdot U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C \cdot U^2,$$

gdje je U napon na kondenzatoru.

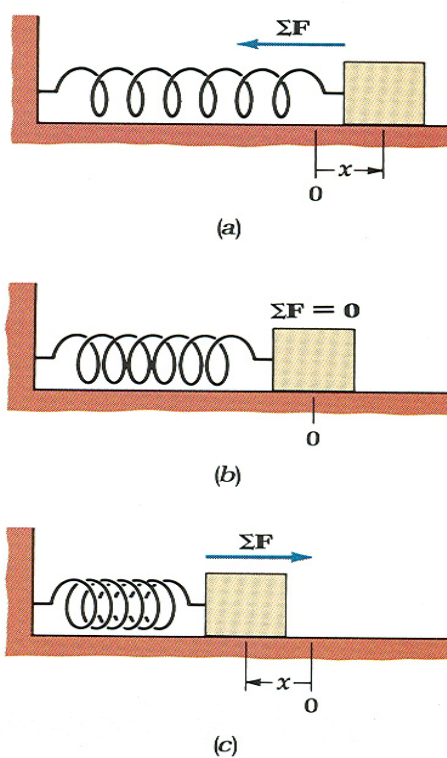
Paralelnim spajanjem kondenzatora kapaciteta C i zavojnice koeficijenta samoindukcije L nastaje električni titrajni krug analogan mehaničkom titrajnom krugu načinjemo od opruge konstante elastičnosti k i tijela mase m (slika 2), u kojem je zanemarena sila trenja između mase m i podloge.

U stanju titranja pomak tijela mase m opisan je jednadžbom: $x(t) = A \cos \omega \cdot t$, gdje je A amplituda, a $\omega = \sqrt{k/m}$ kružna frekvencija gibanja. Pri titranju dolazi do izmjene energije. Za $x=A$ sva je energija sadržana u potencijalnoj energiji opruge ($E_p = \frac{kA^2}{2}$), a kod $x=0$ sva je energija sadržana u kinetičkoj energiji mase m ($E_k = \frac{mv^2}{2}$).

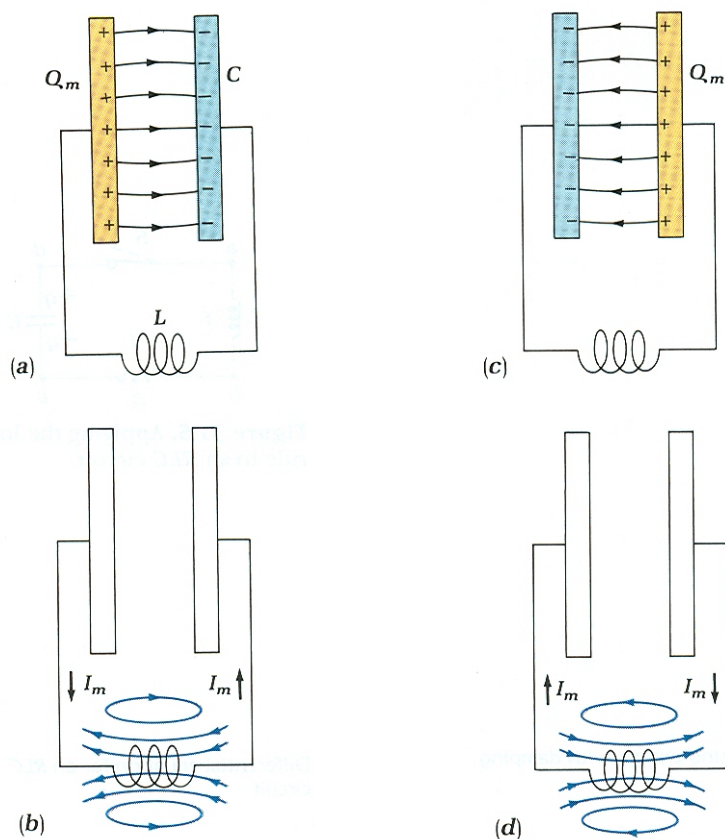
Analogan električni titrajni krug sastavljen od zavojnice induktiviteta L i paralelno spojenog kondenzatora kapaciteta C (slika 3.) kakođer će titrati kružnom frekvencijom $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Pri tome će dolaziti do izmjene električne energije E_e "spremljene" u kondenzatoru i energije magnetskog polja E_m "spremljene" u zavojnici.



Slika 1. Električni krug spojen na izvor napona ε_0 ; zatvaranjem prekidača S u krugu se uspostavlja struja.



Slika 2. Mehanički titrajni krug



Slika 3. U nabijenom kondenzatoru (a) spremljena je energija E_e . Napon na kondenzatoru potjera struju kroz zavojnicu (b) u kojoj je tada spremljena energija E_m . Inducirana elektromotorna sila (negativnog predznaka) potjera struju u obrnutom smjeru puneći ploče kondenzatora nabojem suprotnog predznaka (c). Taj naboj uzrok je nove elektromotorne sile (napona na kondenzatoru) koja stvara novu struju kroz zavojnicu, ali sada u suprotnom smjeru (d) itd. Na taj način u LC krugu nastaju titraji.

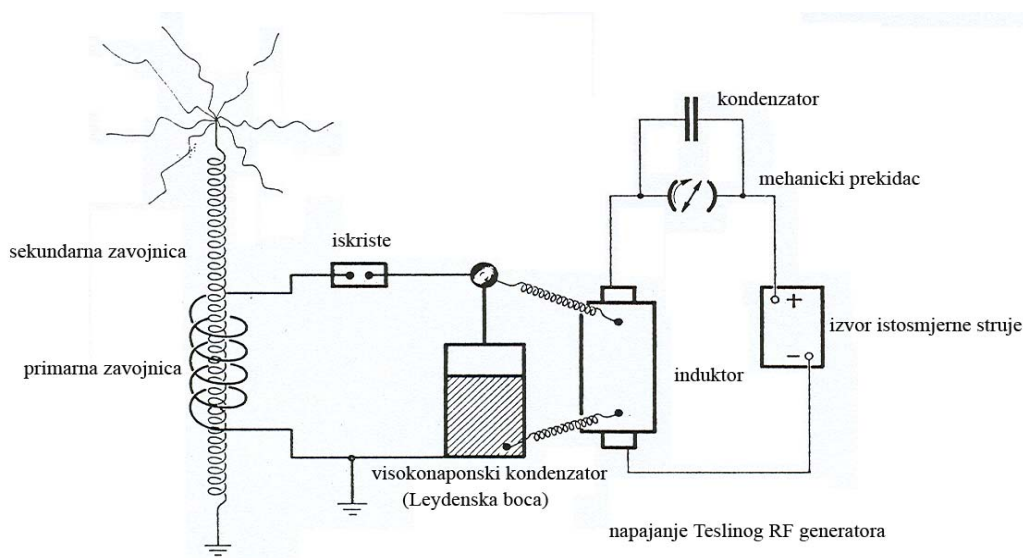
Opisani titrajni krug je idealan jer je zanemaren električni otpor i gubici energije u obliku zračenja elektromagnetskih valova. Za održavanje titranja u realnom titrajnom krugu potreban je vanjski poticaj u obliku narinutog napona koji mora biti u rezonanciji s naponom u titrajnom krugu. Rad Teslinog VF-generatora temelji se na jednom takvom titrajnom krugu. Shema cijelog uređaja prikazana je na slici 4. Titrajni krug Teslinog transformatora sastoji od zavojnice s nekoliko zavoja (7-10) i paralelno priključenog kondenzatora (Leydenska boca). Leydenska boca je otvorena staklena posuda obložena iznutra i izvana metalnom folijom (ploče kondenzatora) između kojih je staklo kao izolator. U tom krugu važnu ulogu ima iskrište pomoću kojeg je krug prekinut. Titrajni se krug napaja pomoću induktora. Induktor je visokonaponski impulsni transformator. Sastoji se od željezne jezgre s primarnim i sekundarnim zavojima. Vanjski izvor istosmjerne struje snage 10 kW spojen je na primarnu zavojnicu. Naglim prekidanjem struje u primarnoj zavojnici u sekundarnoj se zavojnici inducira vrlo visoki napon jer je kod prekidanja brzina promjene struje ($\frac{dI}{dt}$) gotovo neizmjerena. Tim se naponom nabija Leydenska boca, no

titrajni krug nije zatvoren jer ga prekida iskrište. Tek kada napon na Leydenskoj boci dosegne tako visoku vrijednost da se u iskrištu pojavi iskra, u krugu poteče struja koja se može opisati izrazom:

$$I(t) = I_{\max} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}}\right).$$

Zbog visoke vrijednosti napona i malog otpora u krugu amplituda struje $I_{\max}$ dostiže vrlo visoke vrijednosti. Do pojave iskre dolazi kada električno polje između elektroda iskrišta postane toliko jako da uzrokuje ionizaciju zraka, pa zrak (koji je inače izolator) postane vodljiv. Titranje traje sve dok napon u krugu ne padne ispod vrijednosti kojom se ostvaruje proboj u iskrištu. No, sljedeći naponski impulsi iz induktora ponovno nabijaju Leydensku bocu i ponovno nastaje titranje itd.

Unutar primarne zavojnice titrajnog kruga (s brojem zavoja N_1) nalazi se druga zavojnica s velikim brojem zavoja (N_2). U njoj se inducira vrlo visok visokofrekventni napon. Naponi na sekundarnoj i primarnoj zavojnici odnose se kao $N_2:N_1$. Titranje u zavojnicama mora biti jednakih frekvencija, odnosno u rezonanciji. Donji kraj sekundarne zavojnice je uzemljen, a na drugom kraju je elektroda u obliku kugle. Kada Teslin trafo radi iz kugle izbijaju električne iskre, a neonske cijevi u njezinoj blizini svijetle (slika 5).



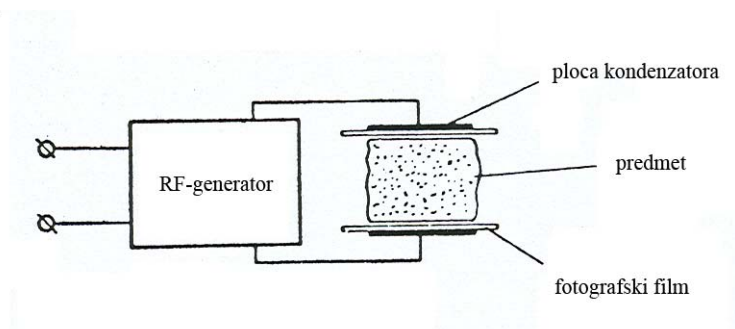
Slika 4. Shematski prikaz Teslinog generatora



Slika 5. Lijevo: Školski Teslin VF-generator (Zavod za primijenjenu fiziku FER-a); Desno: visokonaponsko elektromagnetsko polje na vrhu sekundarne zavojnice izaziva svjetljenje fluorescentne cijevi u ruci studentice.

Kirlianova fotografija

Kirlianovu fotografiju je moguće snimiti tako da se ploče kondenzatora spoje na VF-generator (slika 6). Predmet snimanja položen je fotografsku ploču koja se nalazi na ploči kondenzatora.



Slika 6. Shematski prikaz snimanja Kirlianove fotografije

Na površini predmeta u visokonaponskom elektromagnetskom polju koje vlada između ploča kondenzatora pojavljuje se električni naboj. Inducirani naboji ubrzavaju se u električnom polju i sudaraju s molekulama zraka koje okružuju predmet. Energija koju naboj dobije između dva sudara može se prikazati izrazom:

$$W = q\bar{d}|\vec{E}|,$$

gdje je q naboj, $\bar{d}$ srednja duljina slobodnog puta između dva sudara, a $|\vec{E}|$ iznos električnog polja. Kada energija W dosegne vrijednost energije ionizacije W_i započinje proces nastajanja iona. U jakim električnim poljima u sudarima nastaje veliki broj ioniziranih molekula koje se nalaze oko površine predmeta. Ioni se u sudarima s elektronima mogu neutralizirati (rekombinirati), pri čemu nastaje neutralna molekula ili atom. Mogući su procesi rekombinacije kod kojih se elektron ugrađuje u

elektronski omotač pozitivnog iona, a višak energije se oslobađa zračenjem fotona energije $h\nu$ (h je Planckova konstanta). Pri tome mora biti ispunjen uvjet: $h\nu \geq W_i$.

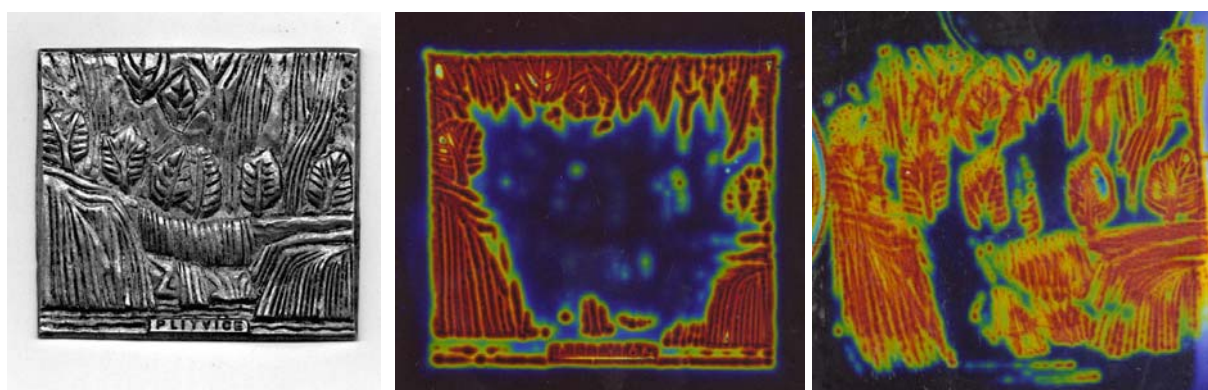
U spektru zračenja prisutne su sve valne duljine manje od $\frac{hc}{W_i}$. Najčešća je emisija

crvene i ljubičaste svjetlosti, te zračenje u ultraljubičastom području. Takva emisija nastala u nehomogenom elektromagnetskom polju naziva se korona. Zračenje nastalo rekombinacijom pada na fotografsku ploču. Na fotografiji se vidi predmet obrubljen svjetlošću (slike 7, 8, 9 i 10).

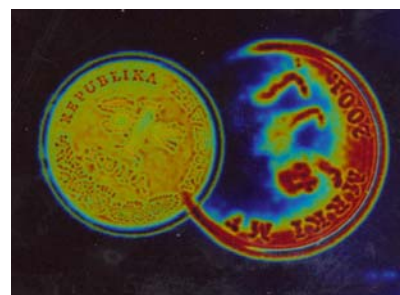
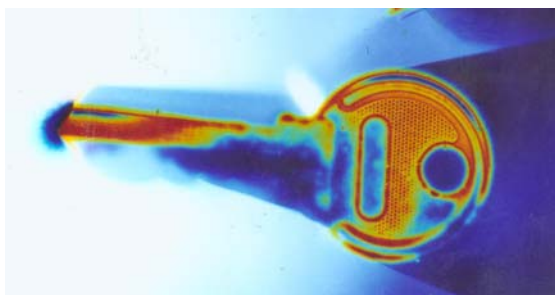
Osim korone, koja latentnu sliku u filmskoj emulziji (slika postaje vidljiva tek nakon procesa razvijanja) izaziva "optičkim putem", stvaranju slike doprinosi i sama tzv. "hladna emisija" elektrona iz dijelova uzorka koji se snima. Elektrone koji na taj način postaju slobodni, postojeće snažno električno polje dodatno ubrzava, te im daje energiju potrebnu za razaranje kristalića srebrnih halida (jodida i bromida) u foto emulziji, što također stvara latentnu sliku. U tom slučaju boja koju vidimo na slikama nije stvarna već je posljedica stvorenih latentnih slika u pojedinim slojevima kolor filma.

Detaljna istraživanja Kirlianove fotografije pokazala su da se optimalni uvjeti postižu s naponima od 20 do 100 kV, trajanjem jednog pulsa od 10^{-4} do $2 \cdot 10^{-3}$ s i frekvencijom 75 do 3000 kHz. Iako uvjeti koje osigurava Teslin trafo nisu u okviru navedenih granica, pomoću njega je moguće snimiti Kirlianove fotografije zadovoljavajuće kvalitete.

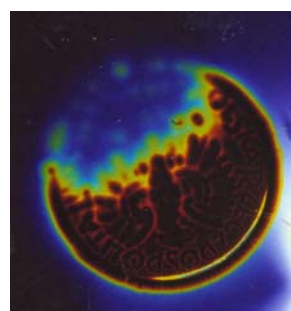
Na kvalitetu Kirlianove fotografije utječu vanjski parametri kao što su temperatura, vlažnost predmeta i okolnog zraka.



Slika 7. Lijevo: fotografija reljefa Plitvica (tučeno srebro, rad akademskog slikara F. Baće);
Desno: Kirlianove fotografije reljefa Plitvica



Slika 8. Lijevo: Kirlianova fotografija ključa; Desno: Kirlianova fotografija kovanica od 1 i 5 kuna (kuna i medo).



Slika 9. Lijevo: Fotografija kovanice od 5 zlotaja; Desno: Kirlianova fotografija kovanice od 5 zlotaja



Slika 10. Kirlianova fotografija kovanice od 1 lipa

Neki "znanstvenici" smatraju da je karakterističan rub na Kirilanovim fotografijama bioloških uzoraka uzrokovan "aurom" ili "bioplazmom" tj energijskim poljem živih organizama. Na slikama 11. i 12. prikazane su Kirlianove fotografije lista. Slika 11. (desno) prikazuje tzv. "fantom-list" na kojoj se karakterističan obris vidi i na otkinutom dijelu lista. Spomenutu sliku koriste "znanstvenici graničnih znanstvenih područja" kao prikaz postojanja "energijskog polja" vezanog uz žive organizme. Želi se pokazati da i nakon što se dio lista otkine, list "pamti" taj dio i on se pojavljuje na slici. Treba napomenuti da u literaturi nije navedeno ponavljanje slične snimke. Snimak "fantom-lista" je nastao davno, prije postojanja računalnih

programa za obradu slika (npr. Photoshop), pomoću kojih je moguća manipulacija slikama. Nastajanje takve snimke je moguće objasniti na dva načina. Prvi uključuje dvostruku "ekspoziciju" lista tj. cijeli list je dio vremena izložen VF električnom polju, zatim je vrh lista odstranjen i ostatak lista ponovno eksponiran. Drugi, vjerojatniji način, je prekrivanje vrha lista folijom koja onemogućava djelovanje hladne emisije elektrona (nema dodira lista s fotografskim materijalom), te je na slici zabilježena samo korona nastala na rubu lista.



Slika 11. Lijevo: Kirlianova fotografija lista; Desno: list – fantom [4]



Slika 12. Kirlianove fotografije lista snimljene s različitim vremenima ekspozicije (vrijeme trajanja izloženosti električnom polju)

Karakterističan obris pojavljuje se i na fotografijama dijelova ljudskog tijela (slika 13). Postoje istraživanja u kojima se promjena obrisa ("aure") pokušava povezati s patološkim stanjima organizma. Međutim, nastajanje korone i hladne emisije elektrona ovisi o vlažnosti i temperaturi kože (na dlanu ili nekom drugom dijelu tjela). Kako vlažnost i izlučivanje pojedinih žlijezda na koži (znojnice, lojnice i sl.) ovisi o stanju organizma to će se odraziti i na Kirlianovoj fotografiji. To je osnova

za povezivanjem dobivene slike sa stanjem snimanog organizma koju koriste u alternativnim dijagnostičkim postupcima. Dokaz da "aura" nije posljedica postojanja nekog energijskog polja koje okružuje žive organizme, već je uzrokovana koronom, je u činjenici da ona potpuno nestaje ako je predmet snimanja u vakuumu.



Slika 13. Kirlianova fotografija šake (preuzeto s www.sciencephoto.com)

Literatura

- [1] S. D. Kirlian i V. Kirlian, Photography and Visual Observations by Means of High-Frequency Currents, Journal of Scientific and Applied Photography 6 (6) 1961.
- [2] V. Lopašić, Predavanja iz fizike, Školska knjiga Zagreb 1979.
- [3] P. Kulišić i V. Lopac, Elektromagnetske pojave i struktura tvari, Školska knjiga Zagreb 1991.
- [4] S. K. Krippner i D. Rubin, The Kirlian Aura, Photographing the Galaxies of Life, Anchor Press, 1973. New York.
- [5] Autor fotografija napravljenih na ZPF FER-a je prof.dr.sc. Mile Baće

Svjetski bežični energetska i komunikacijski sustav u očima Nikole Tesle

Zvonimir Šipuš

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu

U svojim sjećanjima [1] Nikola Tesla je posebnu pažnju posvetio uređaju za bežični prijenos energije i informacije tzv. «svjetski sustav». Ideja za izum proizašla je iz jedne zgode iz djetinstva, kad je Tesla promatrao grudu snijega koja je izazvala snježnu lavinu. Ta zgoda je Teslu inspirirala da iskoristi rezonanciju u generiranju signala visoke frekvencije odnosno visokog napona. Svjetski sustav zasniva se na sljedećim važnim izumima i otkrićima objavljenim između 1891. i 1914. godine:

1. *Teslin transformator*. Tom napravom proizvedena je struja mnogostruko jača od bilo koje proizvedene na tada uobičajne načine, te iskra duža od 30 metara.
2. *Pojačalo-odašiljač*. Ovo se smatra Teslinim najvećim otkrićem. Transformator je posebno prilagođen da iskoristi Zemlju, što se smatra analogon teleskopu u astronomiji za odašiljanje električne energije.
3. *Teslin bežični sustav*. Sustav predstavlja ekonomičan bežični prijenos električne energije.
4. *Vještina individualizacije*. Sustav omogućuje prijenos signala odnosno informacije apsolutno tajno, tj. ne izazivajući i ne primajući elektromagnetske smetnje.
5. *Zemljini stojni valovi*. Zemlja reagira na električnu izmjeničnu pobudu poput glazbene viljuške, tj. izvor određene frekvencije snažno pobuđuje Zemlju. Time je moguće izvesti zanimljive primjene kao što su uspostavljanje međuveze telegrafskih ureda širom svijeta, međuveze postojećih telefona, distribuciju vijesti i slično.

Posebno je zanimljiva adaptacija sustava pojačalo-odašiljač za daljinsko upravljanje, odnosno otkriće teleautomatike. Tesla je prvi izradio daljinski vođeni objekt – čamac, a za upravljanje su se koristili radiovalovi (patent iz 1898. godine). Ovim izumom Tesla je postao začetnikom daljinskog upravljanja, koje je kasnije iskorišteno u mnogobrojnim primjenama (od dječjih igračaka do svemirskih brodova).

Teslin svjetski sustav nažalost nikada nije zaživio. Možda je razlog tome uspostava bežične telegrafske veze 1901. godine (Marconi), zasnovane na razmjerno jednostavnim uređajima, mnogo jeftinijem u odnosu na rješenja koja je predlagao Tesla. Vjerojatno je zato glavni Teslin sponzor odlučio prestati davati financijsku pomoć razvoju Teslina tornja – svjetske radio stanice.

U predavanju će biti dan prikaz osnovnih ideja na kojima je trebao biti zasnovan Teslin svjetski sustav. Naime, Teslin bežični sustav je naznačio elektromagnetske fenomene koji će se intenzivno proučavati u 20. stoljeću i koji su osnova mnogih današnjih uređaja i sustava.

Tako će se razmatrati zračenje i vođeni elektromagnetski valovi. Osim što se valovi mogu

slobodno širiti kroz prostor (slika 3), oni se mogu širiti uz granicu između dvaju dielektrika (odnosno dielektrika i zraka – vidi sliku 5). U tu grupu spadaju površinski valovi koji se šire npr. uz površinu Zemlje. Ako struktura ima i drugu granicu dobivamo sendvičastu strukturu koja su osnova rada dielektričnih valovoda odnosno širenja svjetlosti u svjetlovodu. Zanimljivo je da takva polja eksponencijalno opadaju u rijeđem sredstvu te stoga možemo govoriti o fenomenu širenja vala u prostoru manje dimenzije. Tako u sredstvu bez gubitaka površinski valovi opadaju s korjenom udaljenosti $1/r$ (odnosno imamo efekt kao da smo u dvodimenzionalnom prostoru), dok valovi u svjetlovodu imaju konstantnu vrijednost (odnosno kao da smo u jednodimenzionalnom prostoru).

Osim što je Tesla znao za fenomen vođenja elektromagnetskih valova uz površinu Zemlje, on je koristio taj fenomen za izum koji je bio na margini velikih izuma, a koji mu je možda donio najviše novaca: uređaj koji koristi visokofrekvencijske struje za terapijsko djelovanje, odnosno za liječenje raznih bolesti. Naime, dok je osobno svojom nazočnošću bio uključen u eksperimente generiranja i širenja visokofrekvencijskih valova uočio je da se oni ne šire kroz tijelo, već uz površinu ljudskog tijela (drugim riječima imamo površinski val). Kao dodatni fenomen uočio je da dolazi do laganog zagrijavanja na površini tijela što je ljekovito kod nekih bolesti (npr. kod reumatskih bolesti).

Zagrijavanje tijela odnosno dielektrika elektromagnetskim valom najviše se koristi kod pripremanja (zagrijavanja) hrane – kod popularne mikrovalne pećnice (ona predstavlja vjerojatno najviše korišteni elektromagnetski rezonator). Zagrijavanje je u nekim primjenama neželjena pojava, posebno kod mobilnih telefona gdje dolazi do lokalnog zagrijavanja tkiva u glavi kod dužeg telefoniranja.

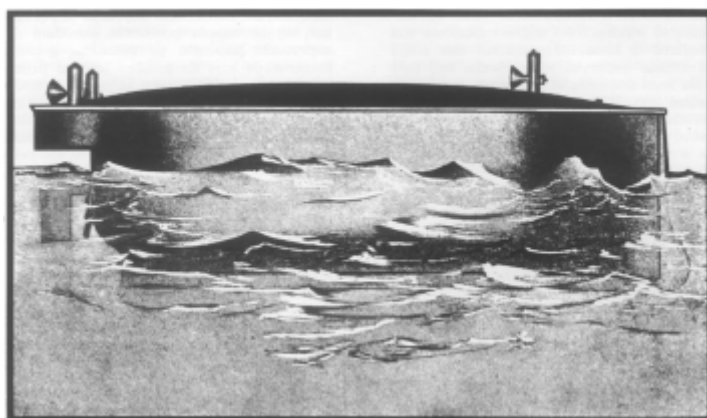
Druga grupa struktura za vođenje elektromagnetskih valova ima metalne zidove. Tu spadaju koaksijalne linije i valovodi. Treba uočiti da valovodi rade na principu refleksije elektromagnetskog vala od metalne stijenke strukture (slika 4). Kako bi se uspjeli zadovoljiti rubni uvjeti na metalnim stijenkama (tangencijalno električno polje približio je nula na površini kvalitetnog vodiča), valovodi moraju imati određenu minimalnu geometrijsku veličinu. Drugim riječima, za svaki valovod je definirana donja granična frekvencija ispod koje valovod ne prenosi elektromagnetsku energiju, već se sva energija reflektira natrag prema izvoru.

Ove strukture biti će i eksperimentalno pokazane. Efekt površinskih valova odnosno dielektričnog valovoda biti će jednostavno pokazan umetanjem dielektričnog valovoda između dvije ljevak antene, čime će se povećati prenesena snaga. Efekt

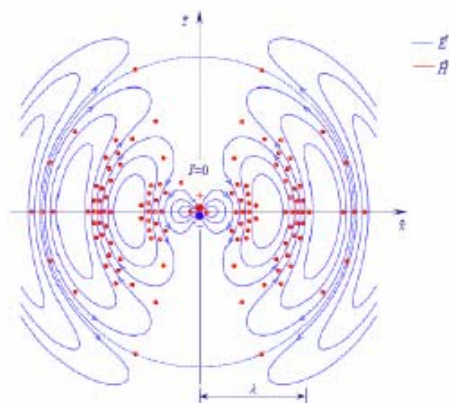
prijenosa vala valovodom i postojanje donje granične frekvencije biti će također pokazan.



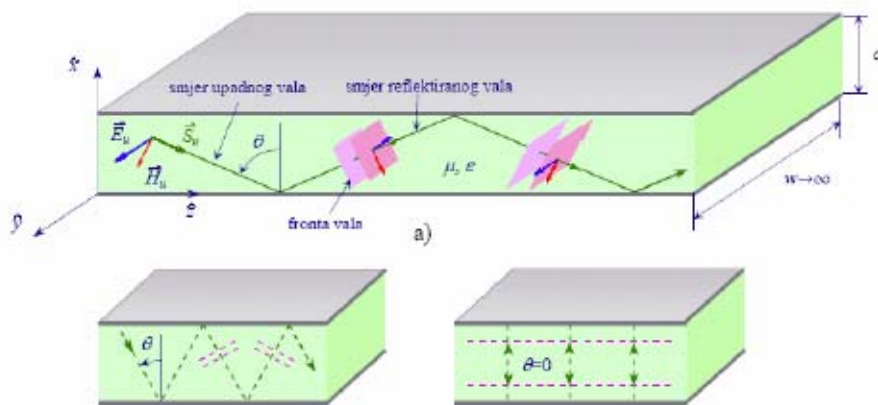
Slika 1. Izvedba tornja i vizija svjetskog bežičnog energetska i komunikacijskog sustava [1].



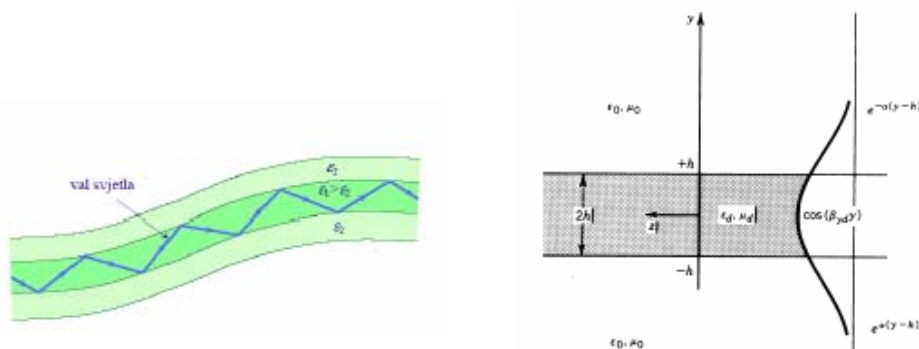
Slika 2. Jedan od teledirigiranih brodova koji može i roniti; izum iz 1898. godine [1].



Slika 3. Odvajanje elektromagnetskog vala od antene [2].



Slika 4. Rasprostiranje elektromagnetskog vala u valovodu [2].



Slika 5. (a) rasprostiranje elektromagnetskog vala u dielektričnom valovodu (svjetlovodu) [2], (b) raspodjela elektromagnetskog polja.

Literatura

- [1] Nikola Tesla: "Moji pronalasci", Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [2] Juraj Bartolić: "Mikrovalna elektronika", Zagreb, 2006.

Nikola Tesla i Guglielmo Marconi kontroverzna suradnja

Nikola Poljak

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Uvod i povijesno razmatranje elektromagnetizma

Gledajući kroz povijest fizike, možemo primijetiti da je osnova uspjeha fizikalne znanosti uglavnom ležala u tome da su ključni ljudi uspjeli spojiti ideje koje su se dotad činile nespojivim. Nekako se čini da se većina takvih spoznaja relevantnih za današnju civilizaciju počela događati u 19.-om stoljeću. Naime, tada su se po prvi puta počeli ujedinjavati zakoni prirode koji opisuju elektromagnetsku silu i prirodu svjetlosti. Naravno, tom trenutku prethodilo je dugo pripremanje koje je uključivalo otkrivanje zakona samoga elektriciteta i magnetizma.

Kao što je danas poznato, električna svojstva poznata su od vremena stare Grčke. No, sama čestica koja nosi električni naboj, elektron, i zakoni koji opisuju električne sile otkriveni su tek krajem 19. stoljeća. U to doba oni su se razvili u detalje uz otkriće magnetske sile. Pokazalo se da je i ta sila, koja danas izgleda vrlo prirodno, posljedica postojanja elektrona ili točnije, njegova gibanja. Sva ova teorijska otkrića potvrdilo je obilje pokusa koji su počeli cvjetati u isto doba povijesti.

Kao što su zakoni predviđali i pokusi potvrđivali, pokazalo se da kako god komplicirani bile jednadžbe koje su opisivale ove pojave, imale su jedno zajedničko zanimljivo svojstvo, a to je da su sile koje su opisivale opadale brzo sa udaljenošću. To ustvari znači da ako postoje dva sustava sa navedenim svojstvom i ako ih međusobno udaljimo dovoljno daleko, oni neće imati nikakav utjecaj jedan na drugog. No, teoretičari tog doba pokazali su da svi zakoni koji su dotad bili otkriveni nisu bili međusobno usklađeni. Jedino rješenje koje je moglo sve dovesti u red bilo je uvođenje dodatnog člana u jednadžbe. No, ono što je taj član predviđao bilo je nešto potpuno novo u fizici, a to je postojanje polja koje ne opada tako brzo sa udaljenošću. Točnije, to predviđanje kaže da ako npr. postoje dva sustava u kojima teče struja, a međusobno su prilično daleko, svejedno mogu na neki način komunicirati. Također, pokazalo se da postoji veza među ovim zakonima i prirodom svjetlosti koja je govorila da sve takve informacije putuju brzinom svjetlosti.



Ovakve pojave stoje pod zajedničkim imenom zračenja i potvrđene su eksperimentima krajem 19. stoljeća. Vjerojatno najpoznatiji takav eksperiment bio je onaj od Heinricha Hertza. On je, naime, prvi izveo pokus u kojem je na jednoj strani prostorije proizveo električni izboj i detektirao ga na drugoj strani prostorije. U današnje doba to se ne čini nekakvim velikim uspjehom ili pedagoškim predskazanjem, no to je bila prva razmjena informacija na daljinu i ono je doba predstavljala pravu senzaciju. Ipak, ovaj je pokus bilo samo pionirsko nastojanje u onom što se pokazalo da će se razviti u jednu od vodećih tehnologija suvremene civilizacije. Jednu od ključnih uloga u tom nastojanju imao je Nikola Tesla.

Valovi i valna priroda svjetlosti

Danas je u fizici poznato da je svjetlost bila prva pojava koja je iskazala 2 različita osnovna tipa fizikalnog ponašanja : valno i čestično. Ljudskom umu je prirodno ova 2 svojstva razlikovati na višem nivou. Kad razmišljamo o valovima, prvo čega se sjetimo su valovi na vodi. Kad malo više razmislimo, sjetimo se da se u uobičajenom govoru nalaze i drugi pojmovi koji iskazuju valna svojstva, npr. mikrovalovi. Također, npr. nije neuobičajeno da netko kaže da je tijekom ljeta stigao udarni val topline. No, rijetko se razmišlja o kakvim se fizikalnim pojavama tu uopće radi. Naime, prilikom ovog razmišljanja koristili smo riječ val za nekoliko potpuno različitih pojava.

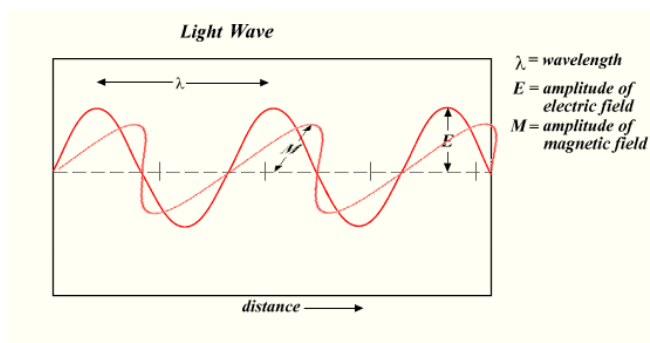
Valovi koji su nam umu najprirodniji, oni na vodi, su ustvari samo poremećaji ravnoteže površine vode. Činjenica da takvi poremećaji mogu putovati daje mogućnost prijenosa informacija. Slično tome, ljudski se organizam služi s više načina detekcije valova. Jedan od tipova valova koje detektiramo su npr. zvučni valovi. Kao i valovi na vodi, oni su samo poremećaji ravnoteže medija koji prenosi zvuk, najčešće zraka.

Valovi zvuka nešto su teže zamislivi nego li su oni na vodi. To se također može primijetiti i u fizikalnim jednadžbama koje opisuju ove fenomene. Izgleda da vodene valove možemo lako zamisliti jer su opisani fizikalnim veličinama koje su nam poznate u svakodnevnom životu, a to su pozicija, visina i brzina vala. Za zvuk se situacija već nešto komplicira, obzirom da je on opisan drugom fizikalnom veličinom, pritiskom. Naše je uho veoma osjetljivo na promjene pritiska u zraku. Kolika je ta osjetljivost, teško je opisati riječima, no npr. može se primijetiti da naše uho detektira naglu promjenu u tlaku kad se npr. avionom dignemo naglo nekoliko desetaka metara u zrak. Na istom principu promjene vanjskog tlaka funkcionira i uho, koje na taj način „čuje“.



Promatramo li dalje samo fizikalne jednadžbe, vidimo da postoji još jedna vrsta valova, tzv. elektromagnetski (EM) valovi. Nešto o njima je već bilo rečeno u posljednjem ulomku – to su također valovi zračenja koji mogu prenositi informacije na velike udaljenosti i putuju brzinom svjetlosti. No, opis

ovakvih valova daleko je kompliciraniji od opisa dosadašnjih pojava valova na vodi i zvuka. Pokazuje se da kao što je npr. za zvuk bio dovoljan opis jedne veličine (tlaka) za EM val potrebno nam je čak 6 veličina za dostatan opis. Na slici dolje je jedna vizualizacija EM valova uspoređena s valovima na vodi kako bi se lakše uočilo koliko su takvi valovi složena pojava. Takvo nešto se apsolutno ne može zamisliti! Ipak, čovjek također posjeduje jedan organ za detekciju tih valova, oko. No, napomenimo da ono ipak ne može registrirati sve moguće EM valove, već samo neki određeni dio njih koji prepoznajemo kao svjetlost.



Spektar EM valova veoma je širok i u sebi sadrži radio valove, mikro valove, infracrveno zračenje, vidljivu i ultraljubičastu svjetlost, roentgensko zračenje itd. Ovi svi valove nose ista svojstva, no ljudi su ih prirodno podijelili na nekoliko kategorija time im dajući različite nazive. Dio ovih valova koje naše oko može detektirati nazivamo vidljivom svjetlošću, dok je ostatak ovih valova prilično stran ljudskom poimanju. Ipak, danas se svi oni na neki način koriste u civilizaciji, uglavnom u medicinske i istraživačke svrhe. Zamislite samo kako bi nam svijet izgledao da možemo „vidjeti“ ili na neki drugi način detektirati sve ove vrste zračenja!

Radio valovi

Dio EM spektra na koji se ovdje fokusiramo nazivamo radio valovima. To su valovi malih energija i velikih valnih duljina koji imaju mogućnost putovanja na velike udaljenosti. Danas se čini normalnim da netko u Americi počinje emitirati neki televizijski program i u gotovo istom trenutku ga netko u Europi promatra na televizijskom uređaju. Ipak, ovakav tip izuma nosi u sebi mnogo znanja i trebalo je mnogo vremena da netko dođe na ideju kako ustvari takvo nešto izvesti, a ne samo promatrati predviđanja fizikalnih zakona.

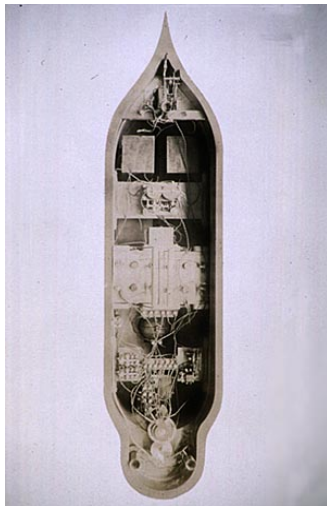
Ovakva nastojanja prijenosa informacije na daljinu najviše su dozrijela krajem 19. stoljeća. Među pionirima daljinske komunikacije kao što su Heinrich Hertz i

Guglielmo Marconi bitno se isticao i Nikola Tesla. Nakon pedagoških pokusa izvedenih od strane Hertza koji su pokazivali da je moguća komunikacija dvaju električnih sustava na daljinu, došlo je do određene stanke u napretku te tehnologije. Tesla je bio osoba koja je ta predviđanja iskoristila praveći naprave kao što su daljinski upravljač ili pak radio. Valja imati na umu, da iako to danas izgleda kao trivijalan korak u napretku, morao je postojati skok u razmišljanju koji bi doveo do ovakvih izuma. Kakav je to skok, teško je zamisliti, no može se usporediti npr. s izumom koji omogućuje prijenos struje na daljinu.

Nikola Tesla



Teslin brodić



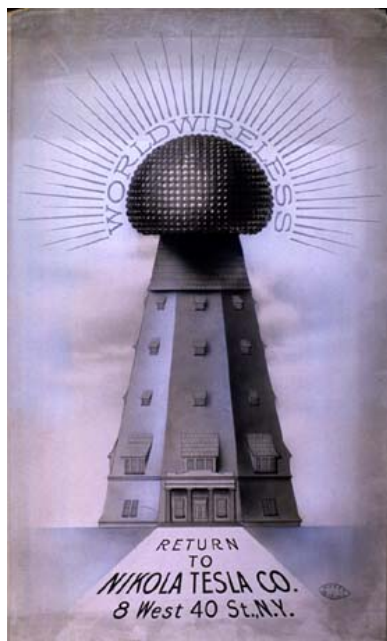
Guglielmo Marconi



U svojem laboratoriju, Tesla je izumio nekoliko naprava koje su koristile bežični prijenos energija. Njegove ideje cvale su oko 1886. kad je nakratko stao sa razmišljanjima o izmjeničnoj struji. Poznati pokus koji je izveo u svom laboratoriju u New Yorku sastojao se od paljenja nekoliko žarulja koje su bile postavljene u dvorištu dok je on sam bio u laboratoriju. Još jedna od naprava na kojima je radio bio je daljinski upravljač kojim je pokretao brodić u bazenu vode, a koju je pokazao u Chicagu nekoliko godina kasnije. Unutrašnjost tog brodića može se vidjeti na slici na prethodnoj stranici.

Tesla je shvatio da su sve naprave koje je napravio u stvari manifestacija iste fizikalne pojave, elektromagnetskog zračenja. Tim napretkom i svojim idejama izumio je i radio, danas već pomalo zastarjeli, no sveopće poznati uređaj. Radio uređaj radi na prilično jednostavnom principu. Kao što znamo, on se u svojoj osnovnoj formi sastoji od 2 dijela; odašiljača i primatelja. Odašiljač je prilično strana stvar svakodnevnom iskustvu; možda bismo imali više ideje o tome kako to izgleda kad bismo imali vlastitu radio stanicu. Najjednostavnije rečeno, odašiljač nije ništa drugo do malog električnog uređaja koji ima sposobnost proizvodnje različitih tipova signala. Signali nastaju tako da se kroz tijelo odašiljača odašilju razne vrste električnih pulseva. S druge strane, primatelj je nešto što svi imamo kod kuće; uglavnom ga zamišljamo kao nekakvu kutiju sa zvučnicima. No, ono što je ustvari osnova primatelja jest antena koja stoji izvan radio uređaja i koja je spojena na električni sklop gotovo identičan onom od odašiljača. Princip na kojem radi primatelj je neka vrsta usklađivanja s odašiljačem; npr. kad radio uređaj namjestimo na 100MHz, to znači da

ustvari kažemo anteni da titra tako brzo i razaznaje signale diljem svijeta koji titraju istom frekvencijom.



Toranj Wardencliff

Lijeva slika prikazuje ilustraciju tornja sa propagandnog letka. Sam toranj osmislio i realizirao je Tesla na Long Islandu.

Konačan izgled još uvijek nedovršenog tornja vidi se na slici desno. Na žalost, projekt nikad nije bio realiziran do samog kraja i toranj je bio srušen pred kraj Prvog svjetskog rata.



Kao što je bilo rečeno, spoznaje vezane uz EM zračenje uvidio je i Tesla oko 90-ih godina 19. stoljeća. U svom laboratoriju je, osim pravog radio uređaja, napravio i niz drugih uređaja koji su funkcionirali na istom principu. Štoviše, Tesla je bio toliko očaran bežičnim prijenosom energije i informacija da mu je to u jedno doba stvaralaštva postala životna preokupacija. Imao je ideju izgradnje kolosalnog odašiljača koji bi mogao slati informacije i električnu energiju na velike udaljenosti. Čak se i upustio u takav projekt, da bi na kraju zastao zbog nedostatka sredstava za izgradnju. Zasiurno, i ta bi njegova ideja postala novi pokretački stroj svijeta – zamislite samo da osim informacija na udaljenost možete prenositi i električnu energiju bez ijedne žice! Na žalost, Tesla nije uspio u svom naumu i svijet je krenuo drugim putem. Ipak, u današnje doba ovakve su se tehnologije poprilično razvile i osim radio valova, pomoću kojih komuniciramo s npr. satelitima ili podmornicama, poznajemo TV valove, bežični internet i slične izume. Zanimljivo je primijetiti jednu manje poznatu činjenicu, a to je da je Tesla u svoje doba tvrdio da je ulovio pravilne vanzemaljske signale i to baš pomoću radio valova. Naravno, u ono doba takvo se što smatralo apsurdnim i nitko mu nije vjerovao ni riječi. No, naknadnom analizom u suvremenom svijetu, 1996. dva su znanstvenika otkrila da je on ipak bio u pravu! No, nije otkrio pokušaj komunikacije s kakvog dalekog svijeta, već jedan fenomen koji se u to doba događao na Jupiteru i odašiljao je pravilne signale.

Usprkos svim svojim izumima, Tesla je izgubio patentnu prednost za radio uređaj pred Talijanom G. Marconijem koji je izvodio slične pokuse u isto doba povijesti. 1904. godine Marconi je za svoj izum primio Nobelovu nagradu, što je izazvalo tugu kod Tesle, ultimativno ga tjerajući da ostavi rad s bežičnim izumima. Izgleda da je jedna ovakva stvar koju je on smatrao nepravdom bila dovoljna da se udalji od svijeta bez žica.

Od Tesle do akceleratora TESLE

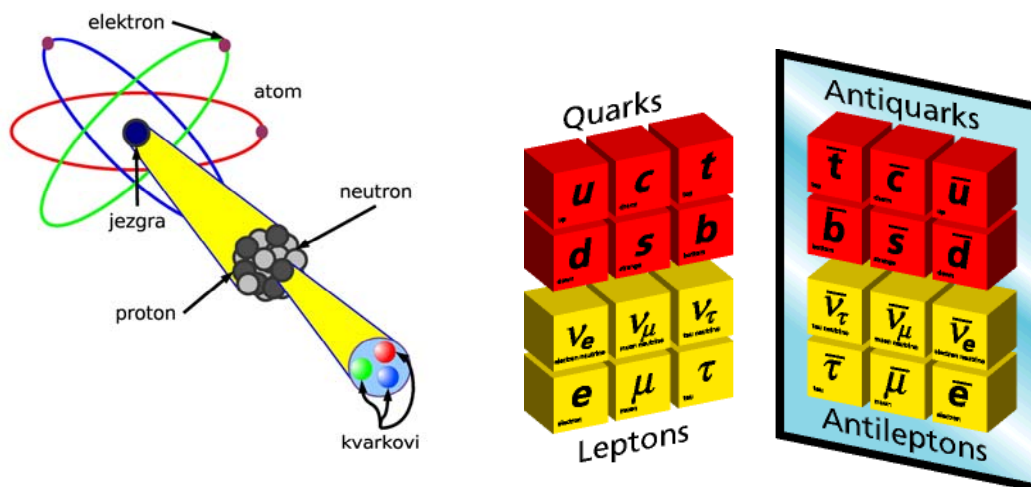
Tome Antičić

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Kada se spomene Nikola Tesla, pomisli se na magnetska i električna polja, rezonancije, izmjeničnu struju, visoke energije, pa čak i na nedokazane izjave o moćnom akceleratoru čestica. Danas, više od 60 godina nakon njegove smrti, planira se graditi TESLA, akcelerator čestica s brojnim svojstvima koje su potekli upravo od zamisli našeg velikog znanstvenika. U ovom članku objasniti će se što će to biti TESLA i zbog čega se uopće želi graditi ovo postrojenje vrijedno milijarde eura.

Standardni Model

Za početak objašnjenja, treba nam mali uvod u čestice da shvatimo zašto uopće želimo graditi akcelerator čestica. Oni koji su obraćali pažnju na nastavi znaju da svijet oko nas čine atomi sastavljeni od jezgre oko koje se nalaze elektroni. Pogled u jezgru nam otkriva protone i neutrone (čestice koje se zovu hadroni). No, ni oni nisu posljednji sloj jer su stvoreni od takozvanih kvarkova. Ukupno ima šest vrsta kvarkova, s imenima kao čarobni, strani, gornji, donji, istina i ljepota (kvarkovi su se počeli otkrivati 60-tih, kada su se fizičari prilagodili duhu vremena i umjesto dosadnih grčkih imena za nove čestice počeli su dijeliti moderne i pomalo zaigrane nazive). Slično kvarkovima, i elektron je član jedne temeljne grupacije čestica, a to su leptoni. Svi leptoni i kvarkovi imaju i svoje anti-čestice, s istom masom ali sa suprotnim nabojem. Pregled tih po današnjim saznanjima temeljnih čestica je prikazan na slici 1.



Slika 1: Od atoma do kvarkova

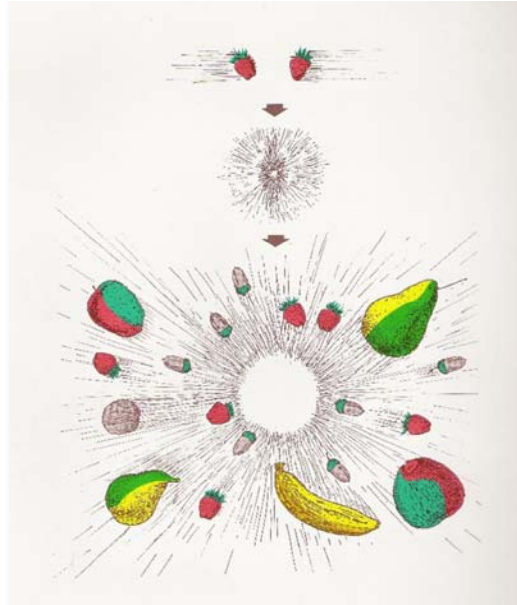
Ali, to nije kraj priče. Svijet oko nas postoji jer temeljne čestice međudjeluju, što uključuje privlačne i odbojne sile, te raspade i anihilaciju čestica i anti-čestica. Sva međudjelovanja rezultat su izmjene čestica koje nazivamo nosioci sila, ili bozone. Što fizičari smatraju silom, zapravo je efekt koji bozoni proizvode nad česticama materije. Emitirane od jedne, uvijek su apsorbirane od neke druge čestice materije. Na primjer, svjetlost (ili foton) je jedna vrsta bozona što prenosi silu kojom je upravo Tesla bio opsjednut, a to je elektromagnetska sila. Ostale sile prenošene bozonima je gravitacija, slaba (odgovorna za nuklearne raspade) i jaka (drži jezgru).

Teorija koja objašnjava spoj čestica i interakcije među njima (osim gravitacije) u konzistentnu sliku je Standardni Model (SM). Akceleratori čestica su glavno oruđe pomoću koje se SM provjerava, i do sada su je eksperimentalna mjerenja potvrdila do iznimnih preciznosti. Međutim, nedostaje jedna važna predviđena a još neotkrivena karika, a to je Higgs bozon. Ovaj bozon je odgovoran za masu svih čestica, i u potragu za njim sudjeluju tisuće fizičara i troše se milijarde eura na gradnju novih, moćnih akceleratora.

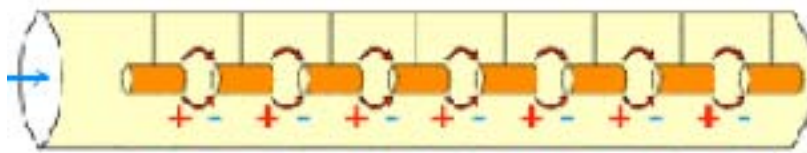
Akceleratori

Nove čestice stvaraju se u laboratorijskom okruženju pomoću sudara čestica ubrzanih do visokih energija. Što je ta energija veća, to se masivnije čestice mogu stvoriti, kao što je to slikovito ilustrirano na slici 2. Nabijene čestice se ubrzavaju do visokih energija pomoću električnog polja, dok se magnetsko polje koristi za skretanje i fokusiranje. Moderni akceleratori upotrebljavaju varijacije ova dva principa za povećanje energije čestica. Neki od glavnih vrsta akceleratora u upotrebi su oni sa nepokretnom metom, sinkrotroni, te linearni akceleratori. Akceleratori sa nepokretnom metom imaju samo jedan snop čestica i od navedenih su tehnički najjednostavniji za konstruirati, jer nema potrebe za zahtjevnim fokusiranjem dva snopa u jednu točku. Mana im je što se energija koja se može upotrijebiti za stvaranje novih čestica mijenja samo sa korijenom od energije snopa, što onemogućuje proizvodnju najtežih čestica.

Umjesto toga, kada se čestice sudaraju jedne u druge s istim impulsima ali iz suprotnih smjerova, onda uporabljiva energija linearno ovisi o energiji snopa, čime se čestice s velikim masama puno lakše mogu stvoriti. Linearni akceleratori funkcioniraju upravo na ovom principu. Oni posjeduju seriju komora s izmjeničnim nabojem (vidi sliku 3). Frekvencija je podešena da bude u rezonanciji s protokom snopa: svaki put kada čestica napusti komoru, ispred sebe vidi suprotan naboj, a iza sebe isti naboj. Ovakav rezonantni sustav kontinuirano ubrzava česticu. Vrijedi naglasiti da duljine komora kroz koje prolazi nabijena čestica postaju sve duže jer se ubrzavaju, da bi se uskoro razlike u duljini počele smanjivati zbog relativističkog efekta, kada se brzina čestice približi svjetlosnoj brzini.



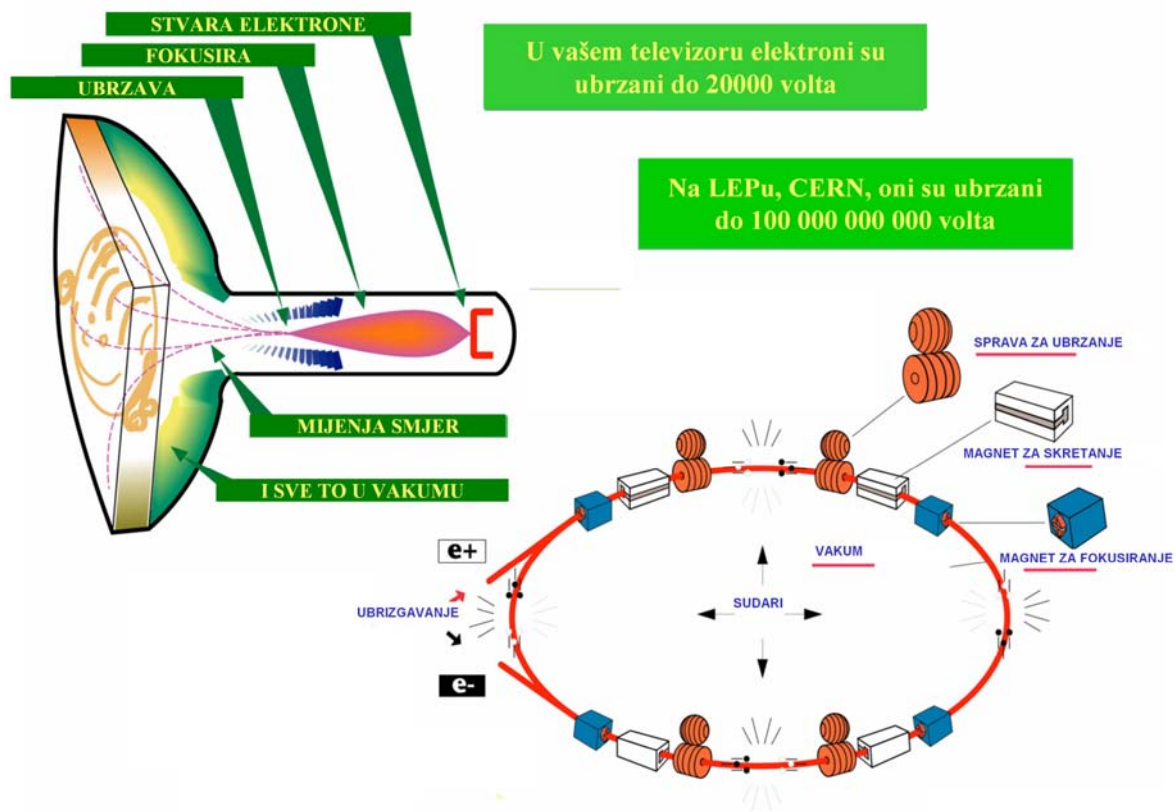
Slika 2: Slikoviti prikaz stvaranja novih čestica iz energije oslobođene u sudaru dviju čestica. Masa čestice koja se može stvoriti iz ove energije računa se pomoću Einsteinove poznate jednadžbe $E = mc^2$ (E je oslobođena energija u sudaru, m je masa moguće nove čestice, c je brzina svjetlosti).



Slika 3: Sustav ubrzavanja čestica pomoću oscilirajućeg električnog polja u komorama.

Međutim, linearni akceleratori posjeduju jednu manu: čestica se ubrzava samo dok prolazi kroz komore, tako da se najviše energije mogu doseći samo pomoću financijski neisplativih dugih cijevi. Sinkrotoni su vrsta akceleratora koja zaobilaze ovu manu. Naime, kod njih se rabi magnetsko polje da se čestica nakon svakog ubrzanja kružnom putanjom vrati na početnu točku, gdje se ona ponovno ubrza. Time se energija čestice može povećavati u nedogled, pod uvjetom da se može stvoriti dovoljno snažno magnetsko polje. Relacija između impulsa, magnetskog polja i promjera sinkrotona je $p = 0.3 \times R \times B$, gdje je B jačina magnetskog polja u Teslama, R je polumjer u metrima, a p impuls u GeV-ima (giga elektron voltima). Dakle, stvaranje što većeg impulsa, a time i energije, podrazumijeva što je moguće snažnije magnetsko polje i što veći opseg sinkrotona. Slika 4 ilustrira operaciju sinkrotona, i ukazuje na sličnosti akceleratora čestica i televizora.

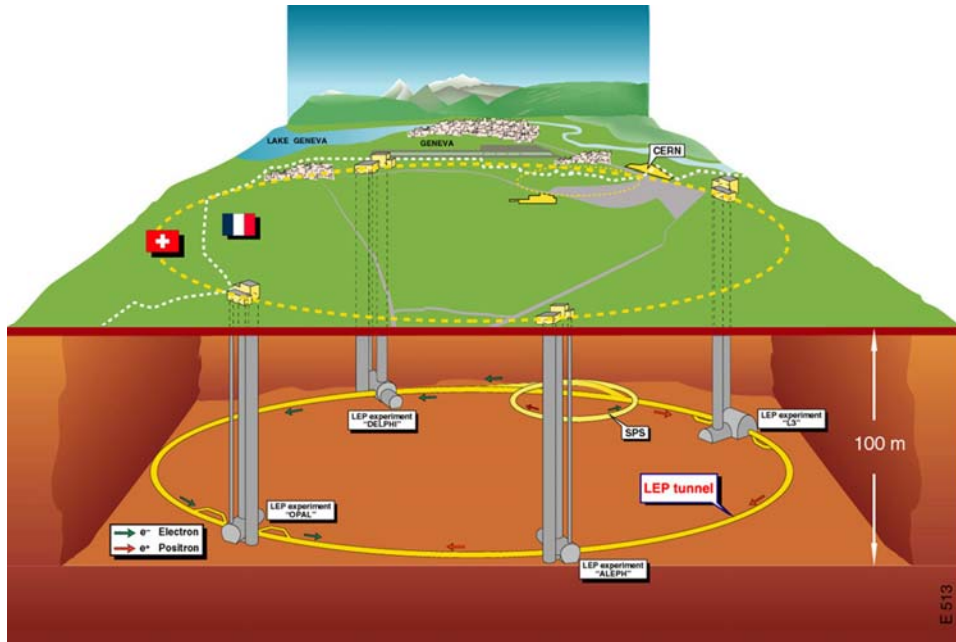
Najveći sinkrotron na svijetu bio je LEP, na CERNu u Ženevi (slika 5), s opsegom od 27 kilometara. Na LEPu su se elektroni i pozitroni s energijama preko 100 GeV-a anihilirali. Upravo taj sinkrotron će sljedeće godine biti nadograđen u LHC (Large Hadron Collider – veliki hadronski sudarač) s novim i moćnijim supravodljivim magnetima, što će omogućiti veće energije snopa. LHC će ispraviti i jedan nedostatak u LEPu, a to je sinkrotronska radijacija. Naime, nabijena čestica koja se u magnetskom polju kreće brzinama bliskoj svjetlosnoj brzini gubi energiju. Kod elektrona na LEP-u je upravo ovaj gubitak sprječavao povećanje do energija potrebne za otkriće Higgs bozona. Sinkrotronska radijacija međutim inverzno ovisi o kvadratu mase, tako da je ona 3,4 milijuna puta manja za puno teže protone. Protoni se zato mogu ubrzavati do velikih energija, sa zanemarivom sinkrotronskom radijacijom. Zbog tih razloga LHC će koristiti upravo protone da bi se dosegle najveće energije potrebne za vjerojatno otkriće Higgs bozona.



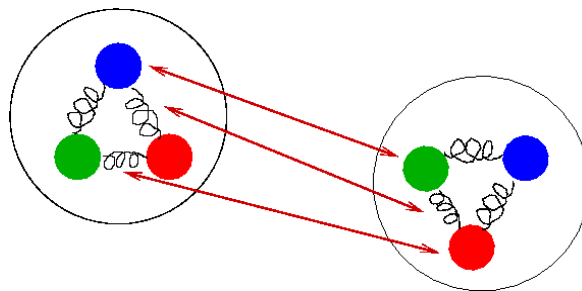
Slika 4: Usporedba televizije i akceleratora čestica.

Međutim, već sada se zna da što god se otkrilo na LHCu, trebat će još jedan akcelerator nakon njega, i to baš linearni! Naime, proton-proton sudari fundamentalno ne mogu dati precizna mjerenja (slika 6). Svaki proton se sastoji od tri kvarkova, tako da od šest kvarkova u koliziji samo se dva sudare i ne zna se koja dva. Time je samo oko 10% totalne energije uporabljivo za stvaranje čestica i to pomoću iznimno složene jake sile. Elektron pozitron interakcije su na drugu ruku čiste, s točno znanom energijom i drugim kinematičkim svojstvima, što će

pojednostavniti interpretaciju podataka i dati precizna mjerenja. A upravo će to biti nužno da se u detalje ispita samosuglasnost SM-a. Štoviše, fizičari su svjesni da SM ne može biti konačna teorija, i dok će LHC moći naći indicije za fiziku izvan SM-a, budući linearni akceleratori će biti ti koji će moći precizno razlučiti različite modele.



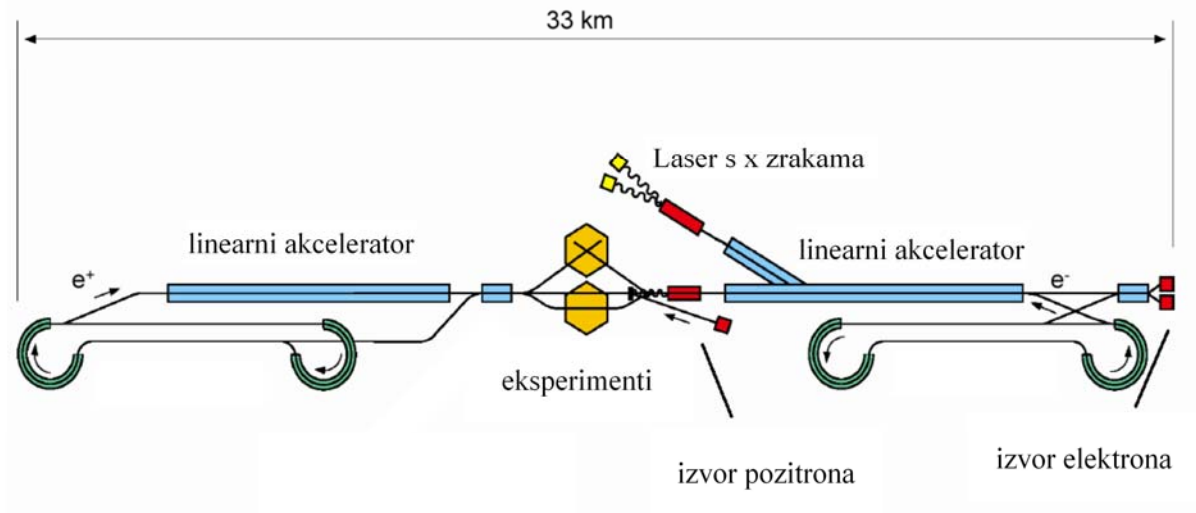
Slika 5: CERN, sa LEP/LHC tunelom



Slika 6: Ilustracija složenosti proton proton sudara.

Tu napokon na scenu dolazi TESLA-TeV Electron Superconducting Linear Accelerator (slika 7). TESLA će moći istraživati energijsku domenu sličnu onoj na LHCu, ali pomoću čistih elektron - pozitron sudara. Za razliku od prijašnjih linearnih akceleratora, brojna tehnička poboljšanja će se uporabiti, uključujući i supravodljive komore. One će omogućiti efikasno ubrzavanje čestice, i time će se LHC energije doseći u relativno kratkom, i time financijski mogućem, tunelu dužine 33 kilometara.

Tko zna, možda će upravo TESLA dokazati postojanje nekih egzotičnijih teorija svemira, kao što su na primjer postojanje dodatnih dimenzija i paralelnih svjetova? Imajući u vidu genij i vizije velikog znanstvenika čije ime krasi ovaj akcelerator, to bi bilo i prikladno.



Slika 7: Shema TESLA akceleratora.

Tesla i kozmičke zrake

Dario Hrupec

Institut Ruđer Bošković, Zagreb

Uvod

Nikola Tesla, genijalni konstruktor elektrotehničkih uređaja, bio je i prethodnik niza velikih otkrića iz fizike što dosad nije odgovarajuće vrednovano u svjetskoj znanstvenoj povijesti [1]. Spomenut ću samo neka:

- 1891. godine objavio je rezultate pokusa koje je tumačio električki nabijenim česticama [1]. Za otkriće elektrona, 1906. godine Nobelovu je nagradu dobio Joseph John Thomson.
- 1893. godine otkrio je *nove* zrake [1]. Za otkriće X-zraka, 1901. godine Nobelovu je nagradu dobio Wilhelm Conrad Röntgen.
- 1893. godine demonstrirao je bežičnu komunikaciju i objavio prvi članak o radio-uređaju [2–3]. Za otkriće radio-prijenosa, 1909. godine Nobelovu je nagradu dobio Guglielmo Marconi.
- 1897. godine otkrio je *Tesline* zrake koje je zvao *radiations* [8], a 1901. godine patentirao je uređaj za korištenje energije koju donose te zrake – pozitivno nabijene čestice iz svemira [4–5]. Za otkriće **kozmičkih zraka**, 1936. godine Nobelovu je nagradu dobio Victor Franz Hess.

Linkovi na dobar pregledni članak o Tesli i kozmičkim zrakama [8] kao i linkovi na preslikane originalne patentne prijave [4–5] mogu se pronaći na Wikipediji [14].

Teslin motor na kozmičke zrake

„Upregnuo sam kozmičke zrake i natjerao ih da pokreću motor“ izjavio je Tesla 1932. godine, uoči svog 76. rođendana, na već uobičajenoj konferenciji za novinare. „*Nadam se da ću izgraditi svoj motor u većem mjerilu, no okolnosti za provođenje tog plana trenutno mi nisu sklone*“ [6].

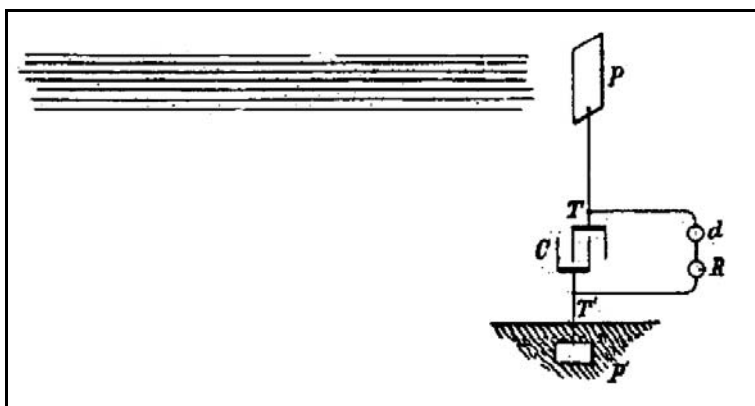
Spomenuti uređaj Tesla je počeo razvijati punih 30 godina ranije. Godine 1901. prijavio je dva patenta [4–5] o korištenju energije zračenja. U njima se **ne** koristi termin *kozmičke zrake* (njega je tek kasnije skovao Millikan¹ [7]), ali je iz opisa jasno da se radi o kozmičkim zrakama.

Tesla je vjerovao da Sunce i druge zvijezde izbacuju sićušne pozitivno nabijene čestice koje neprekidno pogađaju Zemlju. Utvrdio je da te čestice dolazi na Zemlju iz svih smjerova, da prodiru kroz tvar gotovo bez međudjelovanja, da uzrokuju prirodnu radioaktivnost te da mogu postići brzinu veću od brzine svjetlosti [8].

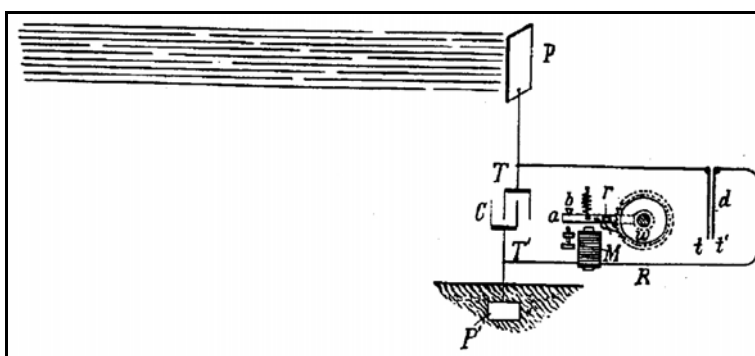
¹ Millikanovi slavni eksperimenti (1923.–1926.) konačno su uvjerali većinu znanstvenika u postojanje kozmičkih zraka.

Godine 1933. Tesla je dao još jednu izjavu za novine kojom najavljuje skoro korištenje energije kozmičkih zraka kao izvora koji je „sveprisutan u neograničenim količinama“ [9].

Princip rada motora pokretanog kozmičkim zrakama u grubim crtama vidljiv je iz Teslinog opisa u patentnim prijavama [4–5]. Kozmičke zrake padaju na izoliranu vodljivu ploču P (Slika 1.). Druga takva ploča P' je uzemljena, a između njih je kondenzator C . Kako se ploča nabija, kondenzator prikuplja električnu energiju. Nakon prikladnog vremenskog intervala kondenzator se izbija uređajem d (Slika 2.), a kroz električni krug poteče struja koja može izvršiti rad odnosno pokrenuti uređaj R .



Slika 1. Općeniti prikaz uređaja za korištenje energije kozmičkih zraka. Osnovni elementi su ploča P na koju padaju zrake (pozitivno nabijene čestice), uzemljena ploča P' i kondenzator C . Slika je preslik iz patentne prijave [4].

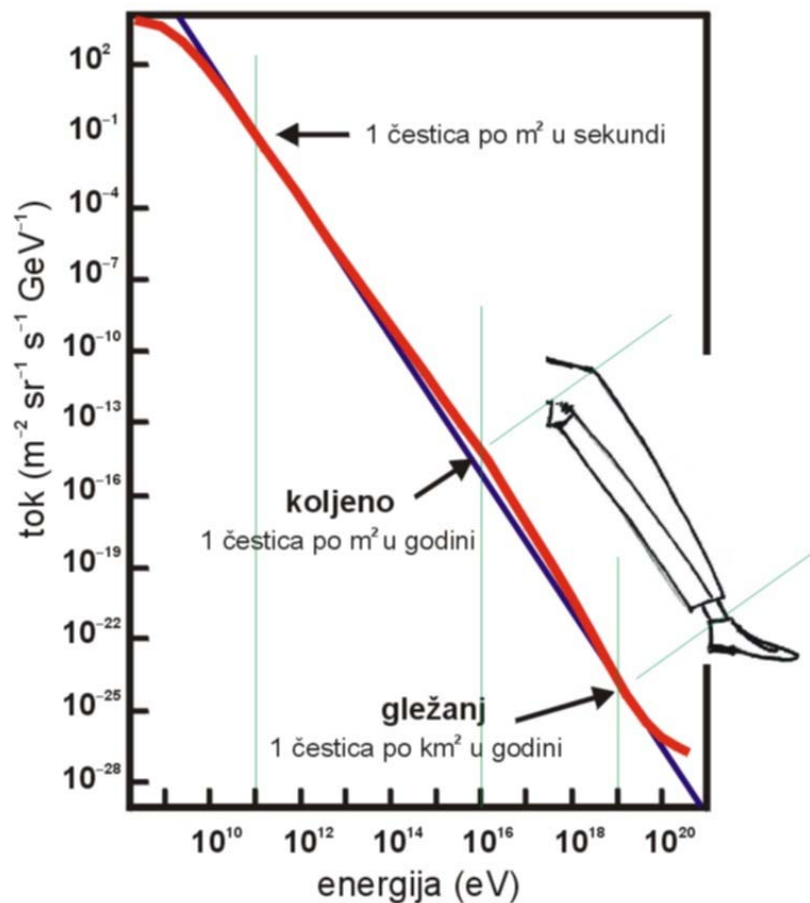


Slika 2. Detaljniji prikaz uređaja sa Slike 1. Priključci T i T' spojeni su na uređaje d i R . Uređaj d kontrolira periodično pražnjenje kondenzatora, a struja koja teče kroz krug pokreće uređaj R . Slika je preslik iz patentne prijave [5].

Što su kozmičke zrake?

Kozmičke zrake su pozitivno nabijene čestice velikih energija koje odozgo padaju na Zemlju. Sastoje se uglavnom od protona² (87%) i α -čestica³ (12%). Ostatak čine teže atomske jezgre. Osim kozmičkih zraka, *zračenje odozgo* su i visokoenergijski elektroni, gama-zrake te neutrini. No svi oni zajedno čine tek mali postotak kozmičkih zraka.

Kinetička energija kozmičkih zraka proteže se 14 redova veličine: od 10^6 eV do 10^{20} eV⁴ što podrazumijeva širok spektar izvora, ali i široki spektar potrebnih opažачkih tehnika. *Tok* (engl. *flux*) kozmičkih zraka (broj čestica po jedinici površine u jedinici vremena) pada približno s trećom potencijom energije (Slika 3.) [10].



Slika 3. Energijski spektar kozmičkih zraka (crvena krivulja) u logaritamskom mjerilu. Plavi pravac pokazuje zamišljeni pad toka s **trećom** potencijom energije kako bi se istaknule dvije prijelomne točke spektra: koljeno i gležanj.

² Jezgre vodika, najzastupljenijeg elementa u svemiru (otprilike 75%).

³ Jezgre helija, drugog elementa po zastupljenosti u svemiru (otprilike 25%).

⁴ Kinetičku energiju od 1 eV dobije elektron koji prođe razliku potencijala od 1 V. To iznosi $1.6 \cdot 10^{-19}$ J.

Prva testiranja pretpostavke da postoji zračenje odozgo obično se vežu uz isusovačkog svećenika Theodora Wulfa. On je razvio i posebni elektroskop kojim je 1910. godine mjerio na vrhu Eiffelova tornja u Parizu. No, Wulf i nekolicina drugih ranih eksperimentatora nisu uspjeli pokazati da postoji kozmičko zračenje. Prekretnica se dogodila 1912. godine kad je Victor Hess izveo niz letova balonom (Slika 4.) do visine od čak 5300 m i neupitno pokazao da tok zračenja raste s visinom, odnosno da zračenje dolazi iz svemira [11].

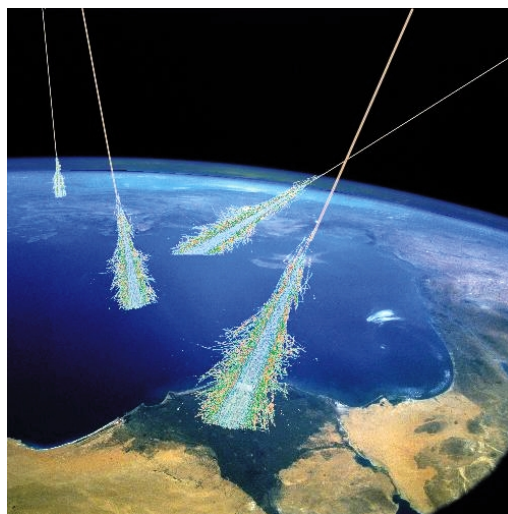


Slika 4. Victor Hess prije jednog od svojih slavnih istraživačkih letova balonom 1912. godine.

Izvor: <http://www.auger.org/photos/PA013.300dpi.jpg>

Pljuskovi čestica u atmosferi

Kozmička zraka pri upadu u atmosferu stvara pljusak sekundarnih čestica (Slika 5.) koji se može protezati kilometrima niže. Ako je energija primarne kozmičke zrake dovoljno velika (iznad 10^{14} eV), sekundarne nabijene čestice mogu stići i do zemljine površine.

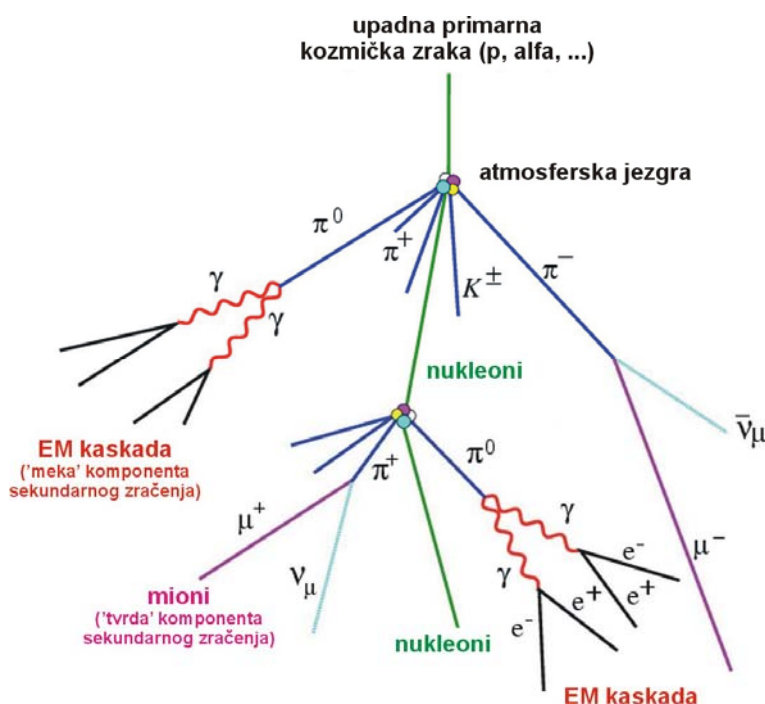


Slika 5. Prikaz pljuskova sekundarnih čestica izazvanih upadom primarne kozmičke zrake u atmosferu.

Izvor: http://universe.nasa.gov/be/library/showers_sm.jpg

Upadna primarna kozmička zraka u vanjskom sloju atmosfere pogađa neku od jezgara dušika ili kisika i stvara sekundarne čestice: pione, kaone i nukleone (protone i neutrone te fragmente jezgara). Sve nastale čestice imaju veliku energiju i uzrokuju niz novih procesa u atmosferi [12]. Npr. neutralni pioni raspadaju se u dvije gama-zrake koje stvaraju elektron–pozitron par te tako nastaje elektromagnetska kaskada (Slika 6.). Negativni pioni raspadaju se na mione koji većinom dopiru do zemljine površine pa i duboko ispod površine.

Pljuskovi čestica u atmosferi danas su dobro poznati i može ih se vrlo precizno numerički simulirati. Najčešće se koristi metoda Monte Carlo simulacija. Slika 7. prikazuje jedan simulirani pljusak izazvan primarnim protonom energije od 3 TeV.



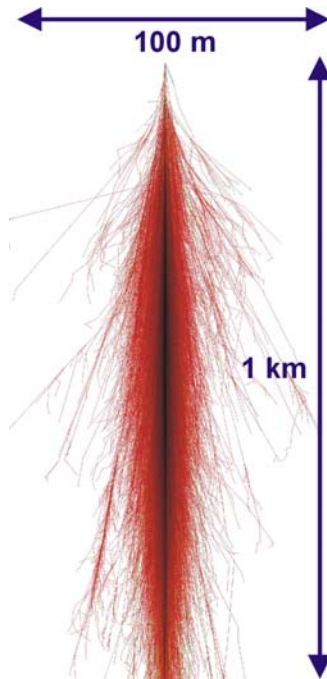
Slika 6. Crtež razvoja pljuska sekundarnih čestica u atmosferi izazvanog upadom primarne kozmičke zrake.

Zahvaljujem Abelardu Moraleju iz Padove na ustupljenoj slici.

Izvori kozmičkih zraka

Izvori kozmičkih zraka smatrani su misterijom i jednim od ključnih problema astrofizike od Hessovog otkrića pa do današnjih dana. Nedavni podaci čini se da potvrđuju staru pretpostavku da su izvori galaktičkih kozmičkih zraka eksplozije galaktičkih supernova⁵ (Slika 8.).

⁵ Supernova je zvijezda velike mase koja na kraju svojeg razvoja (potrošivši gorivo za nuklearnu fuziju) implodira u neutronska zvijezdu ili crnu rupu, dok se vanjski slojevi zvijezde rasprše u okolni međuzvjezdani prostor.



Slika 7. Monte Carlo simulacija razvoja pljuska sekundarnih čestica u atmosferi izazvanog upadom primarnog protona energije 3 TeV. Crveni tragovi su elektroni, pozitroni i sekundarne gama-zrake, zeleni su mioni, a plavi nukleoni. Zahvaljujem Fabianu Schmidtu iz Leedsa na ustupljenoj slici.



Slika 8. Ostaci supernova **galaktički** su izvori kozmičkih zraka kao i visokoenergijskih gama-zraka i X-zraka. Slika prikazuje Rakovu maglicu, ostatak supernove koja je eksplodirala 1054. godine, snimljenu teleskopom NOT.

Izvor: http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0509/m1_not_big.jpg

Izvori izvangalaktičkih kozmičkih zraka još nisu utvrđeni. Jedan od glavnih kandidata su aktivne galaktičke jezgre (u skupinu kojih pripadaju i kvazari). Aktivne galaktičke jezgre su jezgre galaksija u ranoj fazi razvoja u kojoj supermasivna crna rupa u središtu guta okolni materijal (plin, prašinu te eventualno bliske zvijezde)

stvarajući pri tome rotirajući disk (tzv. *akrecijski disk*) i dva nasuprotna relativistička⁶ mlaza (Slika 9.).



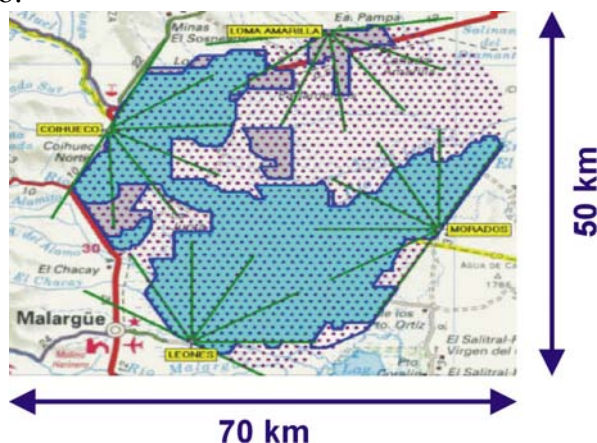
Slika 9. Umjetnički prikaz aktivne galaktičke jezgre na kojem se vide akrecijski disk i relativistički mlazovi. Aktivne galaktičke jezgre jedan su od mogućih **izvangalaktičkih** izvora visokoenergijskih kozmičkih zraka.

Izvor: <http://imagine.gsfc.nasa.gov/Images/advanced/agn.gif>

Primjer opažanja kozmičkih zraka – opservatorij Pierre Auger

Najveći opservatorij na svijetu za istraživanje kozmičkih zraka danas je opservatorij Pierre Auger [13] koji se proteže na čak 3000 km² (Slika 10.). Namijenjen je istraživanju kozmičkih zraka najviših energija, a koristi *hibridni* princip – istovremeno opažanje sekundarnih nabijenih čestica vodenim Čerenkovljevim detektorima i fluorescentne svjetlosti pljuskova širokokutnim Schmidtovim teleskopima.

Opservatorij je počeo s radom u siječnju 2004. godine iako je još uvijek u izgradnji. U konačnoj fazi sastojat će se od 1600 vodenih Čerenkovljevih detektora (Slika 11.) i 24 širokokutna Schmidtova teleskopa te će moći detektirati prosječno jedan događaj energije 10²⁰ eV tjedno.



Slika 10. Opservatorij Pierre Auger smješten je u području *Pampa Amarilla* u zapadnoj Argentini na površini od 3000 km² (što je površina 30 puta veća od površine Pariza).

Izvor: http://elementy.ru/images/news/pierre_auger_observatory_map_349.gif

⁶ Plazma (ionizirani plin), od koje se sastoje mlazovi, giba se brzinom od **99 % brzine svjetlosti**.



Slika 11. Jedan od 1600 vodenih Čerenkovljevih detektora opservatorija Pierre Auger za opažanje sekundarnih čestica u pljasku izazvanom upadom kozmičkih zraka najviših energija.

Izvor: <http://www.auger.org/observatory/pics/Imagen7.jpg>

Zaključak

O zračenju koje Zemlju stalno bombardira iz svemira Tesla je govorio desetak godina prije nego što je ono izravno dokazano eksperimentima [1]. U slučaju kozmičkih zraka, kao i u mnogim drugim slučajevima, bio je čovjek ispred svog vremena [3].

Teslin motor na kozmičke zrake vjerojatno radi. Ideja je razumna i jednostavna, no realizacija očito nije trivijalna. Valja primjetiti da je Tesli od prijave patenta [4–5] do izjave da prototip radi [6] trebalo više od 30 godina.

Sam je Tesla izjavio da je snaga koju njegov motor razvija još nedovoljna [6]. Povijesno gledano, razumljivo je zašto neki izumi nikad nisu komercijalizirani. Glavni je faktor ekonomičnost, a ne znanost.

Postoji nekoliko bitnih razlika između Teslinih eksperimenata s kozmičkim zrakama (npr. motor na kozmičke zrake) i današnjih eksperimenata s kozmičkim zrakama (npr. opservatorij Pierre Auger).

Tesla je radio individualno dok današnje eksperimente karakteriziraju velike međunarodne kolaboracije. Nadalje, Tesla je bio prvenstveno zainteresiran za praktičnu primjenu (rješenje energetskih problema čovječanstva) dok su današnji motivi u prvom redu spoznajni (odakle dolaze i kako nastaju kozmičke zrake). U usporedbi s Teslinim pristupom, tehnološki razvoj danas tek je korisna popratna pojava temeljnih istraživanja.

Gledano iz sadašnje perspektive, Tesla je ispravno zaključio da su kozmičke zrake *beskrajno male čestice* (elektrone, gama-zrake i neutrine danas smatramo točkastima) *pozitivnog naboja* (velika većina kozmičkog zračenja je takva) koje *dolaze iz svemira* i padaju na Zemlju *iz svih smjerova*.

Druga pak Teslina tvrdnja, da kozmičke zrake mogu *gotovo bez međudjelovanja prolaziti kroz tvar*, podsjeća na neutrine koji čine vrlo mali postotak kozmičkog

zračenja. Ipak mislim da je tvrdnju ispravnije tumačiti u kontekstu vrlo visoke energije kozmičkih zraka zbog čega one mogu prodirati kroz velike količine tvari.

Izuzetno je zanimljiva i Teslina tvrdnja da kozmičke zrake *moгу putovati brže od svjetlosti*. Sekundarne nabijene čestice u atmosferi zaista putuju brže od svjetlosti (ali ne brže od c , nego brže od brzine svjetlosti u zraku c/n). Kozmičke zrake *uzrokuju prirodnu radioaktivnost*, ali ne svu prirodnu radioaktivnost kao što je Tesla mislio.

Na kraju, *izvori kozmičkog zračenja jesu zvijezde* kao što je tvrdio Tesla. Doduše, naše Sunce i zvijezde poput njega daju samo mali doprinos kozmičkim zrakama. Najveći dio kozmičkih zraka na Zemlju dolazi s galaktičkih „mrtvih zvijezda“, uglavnom pulsara⁷ koji tisućama godina pogone ostatke supernova tjerajući ih da zrače u cijelom elektromagnetskom spektru (od radio valova do gama-zraka) te da emitiraju kozmičke zrake.

Literatura

- [1] Vladimir Paar, **Tesla i fizika**, *Matematičko–fizički list* **224** (2006) 210–213
- [2] Nikola Tesla, **Moji pronalasci**, *Školska knjiga* (1990)
- [3] John J. O'Neill, **Prodigal Genius: The Life of Nikola Tesla**, *Angriff Press* (1985)
- [4] Nikola Tesla, **Apparatus for the Utilization of Radiant Energy**, U.S. Patent # 685.957 (5. studeni 1901)
<http://www.keelynet.com/tesla/00685957.pdf>
- [5] Nikola Tesla, **Method of Utilizing Radiant Energy**, U.S. Patent # 685.958 (5. studeni 1901)
<http://www.keelynet.com/tesla/00685958.pdf>
- [6] John O'Neill, **Tesla Cosmic Ray Motor May Transmit Power 'Round Earth**, *Brooklyn Eagle* (10. srpanj 1932)
http://www.tesla-coil-builder.com/Articles/july_10_1932.htm
- [7] Bruno Rossi, **Cosmic Rays**, *McGraw–Hill* (1964)
- [8] André Waser, **Nikola TESLA's Radiations and the Cosmic Rays** (2000)
http://people.na.infn.it/~longo/Didattica/Astrofisica/Materiali/d_tesla.pdf
- [9] **Tesla Harness Cosmic Energy**, *Philadelphia Public Ledger* (2. studeni 1933)
http://www.tesla-coil-builder.com/Articles/november_2_1933.htm
- [10] Otto Claus Allkofer, **Introduction to Cosmic Radiation**, *Verlag Karl Thieme* (1975)
- [11] **Cosmic Ray**
http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray
- [12] Konrad Bernlöhr, **Introduction to Cosmic Ray Showers**
<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/Showers.html>
- [13] **Pierre Auger Observatory**
<http://www.auger.org/>
- [14] **Nikola Tesla**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla>

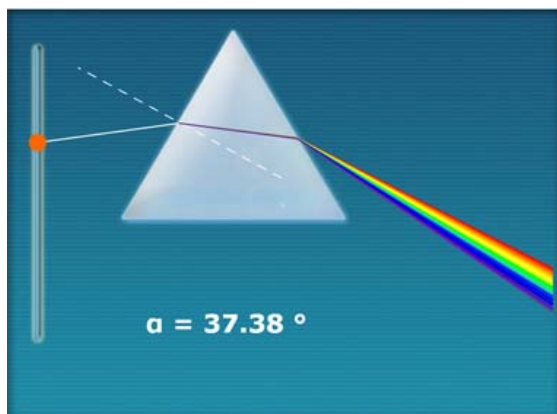
⁷ Pulsari su brzrotirajuće neutronske zvijezde u središtima ostataka supernova.

Spektroskopija

Svjetlost novog doba

Nikša Krstulović
Institut za fiziku, Zagreb

Spektroskopija je jedna od najstarijih znanstvenih metoda, a zasniva se na međudjelovanju elektro-magnetskog zračenja i materije. Veliki dio informacija kojih imamo o Svemiru prikupili smo upravo analizirajući svjetlost pristiglu s udaljenih zvijezda, budući da ne možemo nabaviti djelić njihovog materijala kako bi ga analizirali u laboratoriju. Takva svjetlost pruža nam informaciju, ne samo o izvoru gdje ona nastaje i koji ju emitira, nego i o materiji kroz koju ona putuje međudjelujući s njom. Stoga je glavni zadatak spektroskopije dešifrirati poruku koju nosi takva svjetlost. No, spektroskopija nije važna samo za proučavanje Svemira, nego i za rješavanje zemaljskih, kako fundamentalnih fizikalnih problema, tako i problema vezanih za kontrolu okoliša, primjena u industriji i medicini, itd.

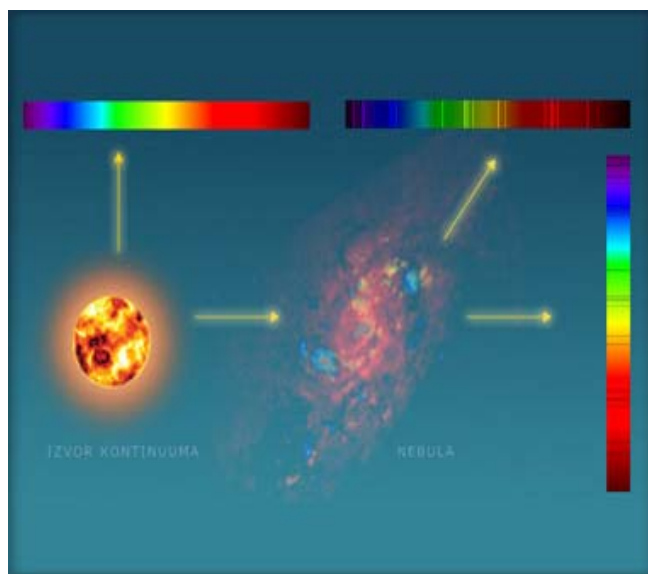


Pravi početak spektroskopije datira iz 1666. godine kada je Isaac Newton pokazao disperziju svjetlosti na prizmi (slika 1) i time pokazao da se bijela svjetlost pristigla sa Sunca zapravo sastoji od cijelog spektra duginih boja. To je ujedno bila i prekretnica u shvaćanju prirode svjetlosti te su se postavila mnoga pitanja na koja još dugo neće biti odgovora.

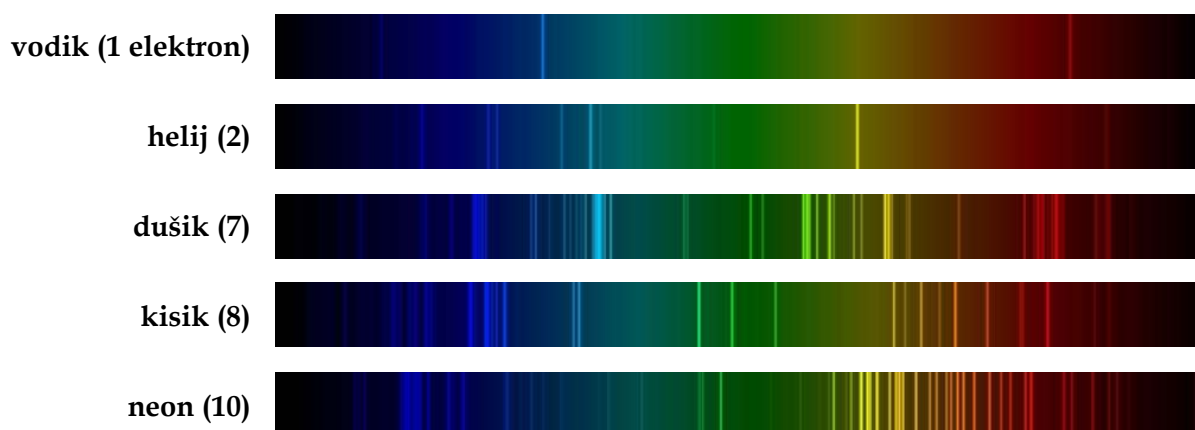
Slika 1. Raspršenje svjetlosti na prizmi.

Početkom 19-tog stoljeća počinje se intenzivno spektroskopski istraživati sunčeva svjetlost i spektroskopija postaje sve moćnija znanstvena disciplina. Najprije W. Herschel i J. W. Ritter pokazuju da sunčeva svjetlost emitira elektromagnetsko zračenje i u UV i infracrvenom dijelu spektra. Wollaston, a kasnije i Fraunhofer uočavaju crne pruge u sunčevom spektru. Objašnjenje spektara temelji se u kvantnoj fizici koja daje rješenja na mnoga spektroskopska pitanja. Paralelno spektroskopiji razvijala se i atomska i molekularna fizika, budući da su atomi najmanji izvori svjetlosti.

Užarena tijela (slika 2) kao što su zvijezde emitiraju svjetlost koja nakon razlaganja u spektrometru daje *kontinuirani* spektar - spektar koji se sastoji od svih duginih boja. Vrući, razrijeđeni plin emitira *linijski* spektar - seriju svjetlih spektralnih linija na tamnoj pozadini. Hladan plin na ispred nekog kontinuiranog izvora svjetlosti daje *apsorpcijski* linijski spektar - seriju tamnih linija među bojama duge.



Slika 2. Vrste spektara – procesi nastajanja spektara.



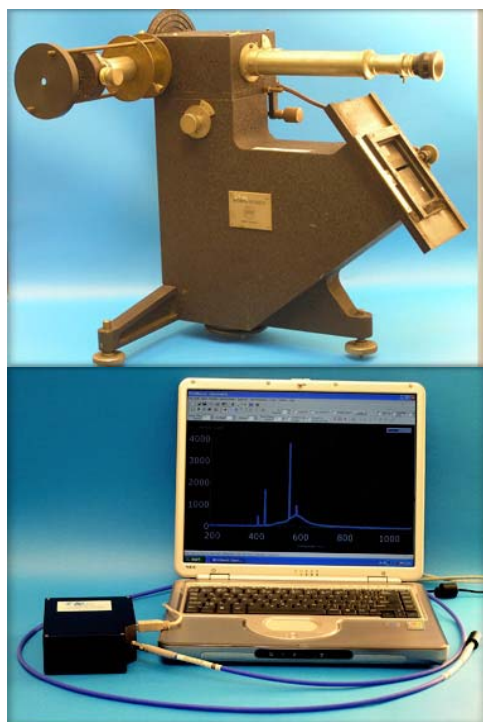
Slika 3. Svaki element ima svoj karakterističan spektar

Kako nastaje spektar? Atomi se sastoje od jezgre i elektronskog omotača. Elektroni u elektronskom omotaču nalaze se u kvantiziranim energetska stanja (ljuskama), dakle, imaju točno određenu energiju propisanu zakonima kvantne mehanike. Oni mogu primiti kvante energije (npr. fotone) pomičući se u više energetska (kvantna) stanja ili otpuštati energiju (fotone) padajući u niža kvantna stanja. Ovisno da li primaju ili otpuštaju energiju govorimo o apsorpciji ili emisiji elektromagnetskog zračenja. Svaki atom ima vlastitu konfiguraciju elektronskog omotača, a time i vlastitu raspodjelu energija u njemu. Upravo zbog toga možemo ih razlikovati na osnovi energije (frekvencije ili valne duljine) koju oni apsorbiraju ili emitiraju. Na ovaj način razlikujemo i molekule, no kod njih moramo uzeti u obzir njene vibracije i rotacije koje su također kvantizirane. Na slici 3 vide se razlike u spektrima nekih atoma- što je složenija elektronska konfiguracija (broj elektrona) to je i spektar složeniji.



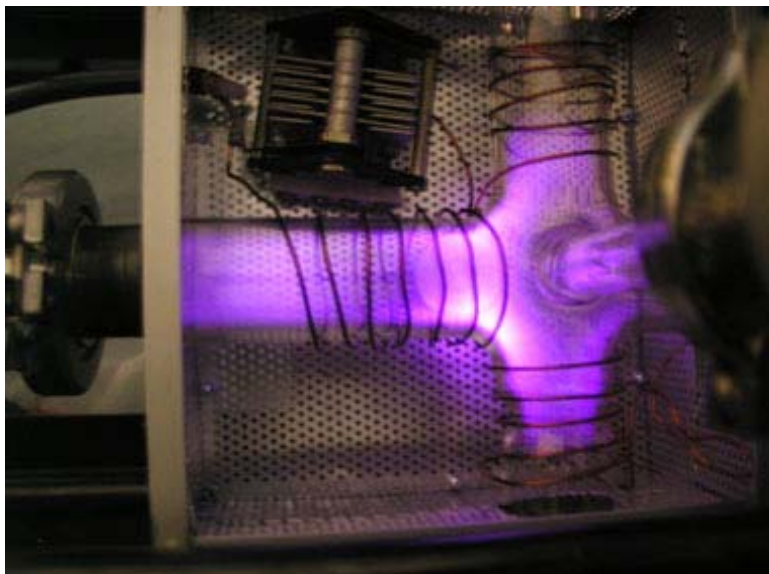
Slika 4. Modeli atoma

Spektroskopski krug počinje u izvoru svjetlosti, činom stvaranja svjetlosti, njenim usmjeravanjem u spektrometar u kojem se razlučuje na sastavne boje, detektira, zapisuje u vidu spektra, analizira i simulira pomoću atomske, kvantne teorije. To sve pruža korisne, primjenjive informacije o izvoru svjetlosti i materiji kroz koju je svjetlost putovala. Slika 5 pokazuje kako su izgledali prvi spektrometri prije otprilike 100 godina, na kojima su snimljeni prvi spektri Sunca. Na donjoj slici prikazan je CCD spektrometar pogonjen kompjuterom preko USB porta koji omogućuje vremensko praćenje procesa (*real-time monitoring*) i koristi se u znanstvene svrhe, industriji, svemirskim sondama, ali i za edukaciju.



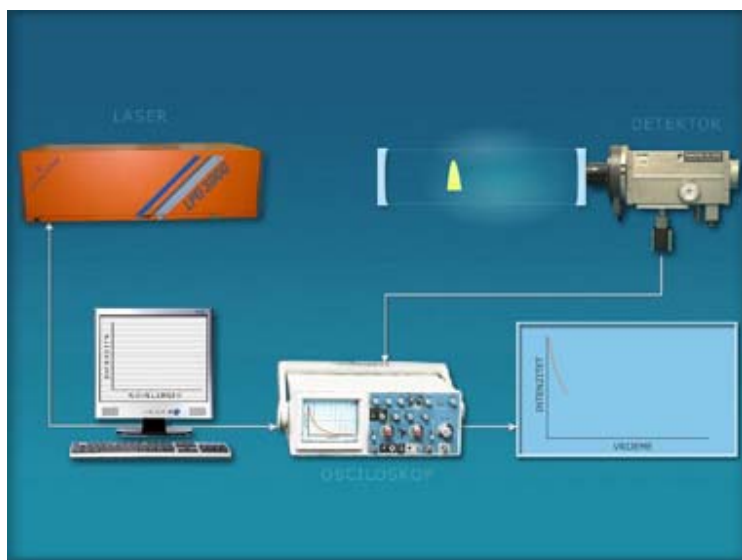
Slika 5. Spektrometri nekad i sad

Laseri, kao monokromatski izvori svjetlosti, koriste se kako za izvođenje samih spektroskopskih mjerenja, tako i za pripremu medija koji se istražuje. Modernim spektroskopskim tehnikama dobiven je bolji uvid u samu prirodu materije, te u fizikalne zakonitosti na vrlo malim skalama i u ekstremnim uvjetima.



Slika 6. Radio-frekventna plazma metana – umjetni izvor u laboratoriju

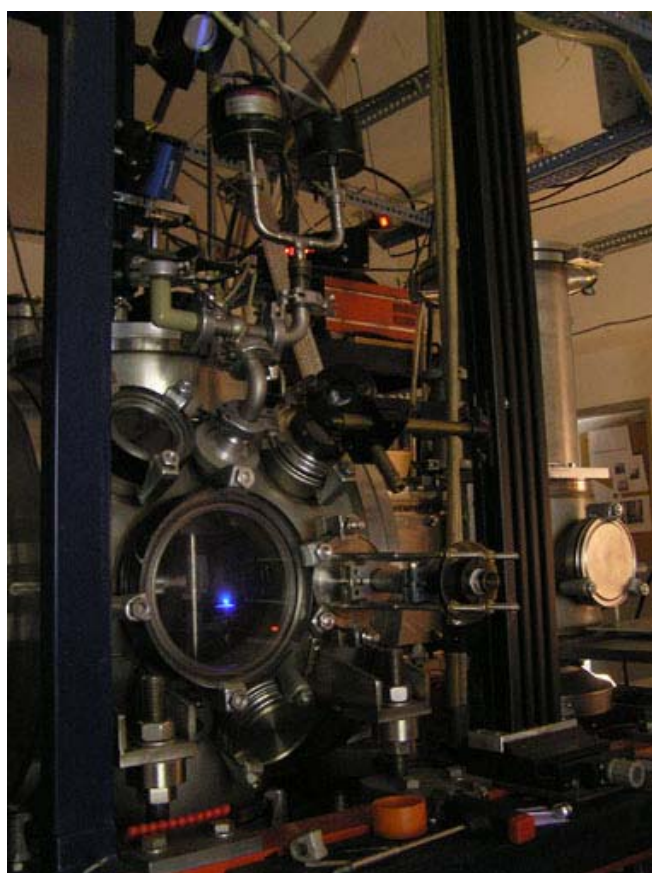
Jedna od modernih spektroskopskih metoda za detekciju elemenata u ekstremno malim koncentracijama u plinovitom stanju je tzv. Laserska apsorpcijska spektroskopija pomoću optičkog rezonatora, LASPOPR (*engl. cavity ring-down spectroscopy, CRDS*). Metoda se zasniva na optičkom rezonatoru u koji upada snop laserskog svjetla koje može mijenjati valnu duljinu. Kada je valna duljina lasera jednaka valnoj duljini nekog atomskog ili molekularnog prijelaza koji se nalaze u plinu doći će do apsorpcije te svjetlosti iz čega se dobije apsorpcijski spektar.



Slika 7. Moderna spektroskopska metoda : Cavity ring-down spectroscopy

Ova metoda može se primijeniti i na uzorke koji su u čvrstom stanju tako da se oni ispare drugim laserskim pulsom koji upada na površinu mete stvarajući oblak plazme iznad nje. Taj proces tretiranja mete laserom naziva se *laserska ablacija*. Danas se postiže veliki uspjeh u ovakvoj vrsti detekcije u tzv. *dual-pulse* ablaciji. Tu se koriste dva laserska pulsa za isparavanje mete čije se međusobno vrijeme kašnjenja može kontrolirati i time postići bolji efekt ablacije – pojačan apsorpcijski ili emisijski signal i time veća osjetljivost metode.

Novi izazovi u spektroskopiji svakako su vezani uz razvoj modernih lasera kao što su femto- i ato- sekundni laseri (laseri kojima je trajanje pulsa reda veličine femto ili ato sekundu).



Slika 8. Vakuumska komora za lasersku ablaciju – vidi se laserski inducirana plazma

Literatura:

<https://susbaza.ifs.hr/onlineverzija> (free download, oko 200MB)

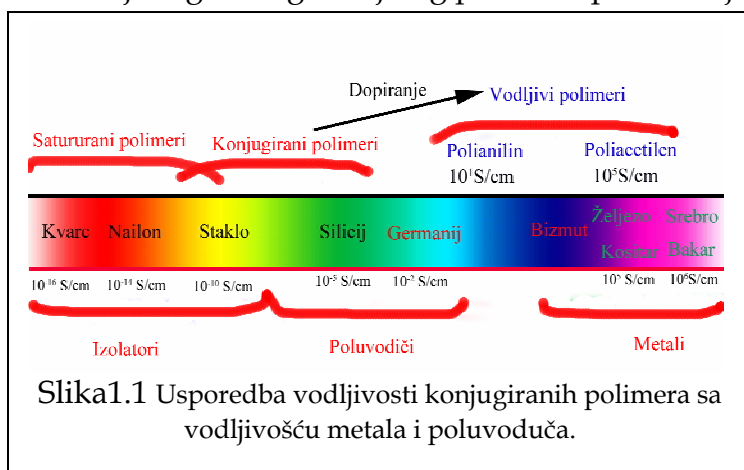
Vodljivi polimer polianilin

Mario Novak

Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1. Uvod

Prvi organski vodljivi polimer, kao i mnoga druga otkrića u fizici otkriven je uz malu pomoć sreće. Jednog dana, student u laboratoriju Prof. Shirakawe slučajno je, prilikom sintetiziranja polimera poliacetilena, stavio 1000 puta veću koncentraciju katalizatora (tvari koja ubrzava kemijsku reakciju polimerizacije). Kao rezultat dobiven je materijal srebrne boje sa izrazitim metalnim odsjajem. Metalni odsjaj polimera asocirao je prof. Shirakawu na metal, te mu je izmjerio vodljivost. No vodljivost tako dobivenog materijala iznosila je oko 10^{-5} S/cm, što je usporedivo sa vodljivošću intrinzičnog (nedopiranog) silicija (Si), odnosno dobiveni materijal nije bio dobar vodič električne struje. Prof. Shirakawa u tom trenutku nije znao da je za dobivanje organskog vodljivog polimera potreban još jedan korak – dopiranje.



istraživanjem i razvojem postiglo se da vodljivost poliacetilena gotovo dosegne vodljivost bakra i srebra. Iako poliacetilen ima vrlo visoku vodljivost, njegova primjena u tehnici i industriji nije zaživjela zbog vrlo kompleksnog načina sintetiziranja i nepostojanosti (brzo degradira). No, njegovo otkriće poslužilo je kao impuls za otkriće drugih vodljivih polimera i razvoja cijele nove grane fizike i kemije koje se bave proučavanjem i primjenom tih materijala. Do danas su pronađeni i sintetizirani deseci vodljivih polimera čije moguće primjene su vrlo široke. Godine 2000., A. Heegeru, A. MacDiarmidu i H. Shirakawi dodijeljena je Nobelova nagrada iz kemije „za otkriće i razvoj vodljivih polimera“. Zanimljivo je reći da poliacetilen nije bio prvi vodljivi polimer u općenitom smislu ali je bio prvi organski vodljivi polimer. 1960-ih otkriven je anorganski polimer poli(sumpor nitrid) (SN)_n.

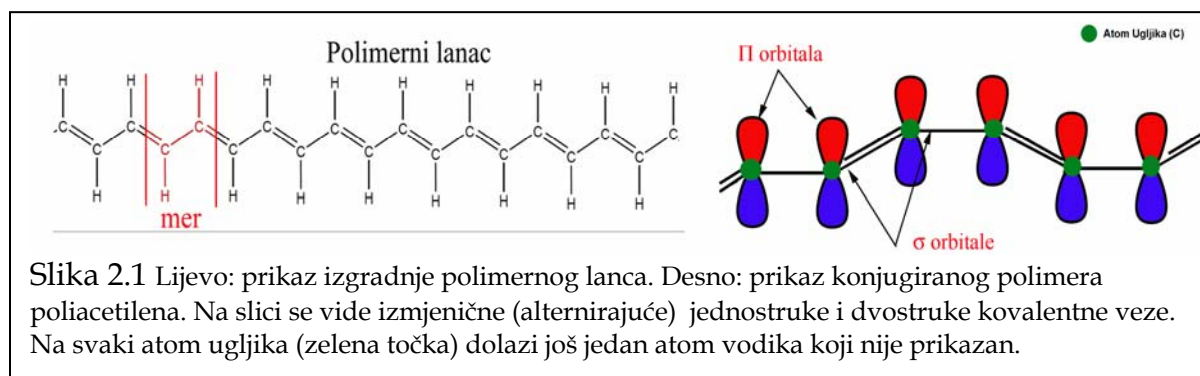
1977. godine, A. Heeger, A. MacDiarmid i H. Shirakawa sa suradnicima sintetizirali su prvi organski vodljivi polimer. Dobiven je tako da je prije spomenuti poliacetilen bio kontrolirano izložen parama broma (Br) što je dovelo do dopiranja i time do drastičnog porasta vodljivosti od devet redova veličine (od 10^{-5} S/cm do 10^4 S/cm). Daljnjim

2. Općenito o polimerima

Osnovna građevna jedinica polimera je *mer*. Polimerni lanac dobije se kovalentnim spajanjem merova u jednu cjelinu te jedan polimerni lanac može sadržavati i do nekoliko stotina tisuća merova (slika 2.1 lijevo). Polimerni lanci su međusobno isprepleteni („kao špageti“). Polimeri se dijele u dvije skupine: saturirani i konjugirani.

2.1 Saturirani polimeri

Saturirani polimeri nas okružuju u svakodnevnom životu i imaju ogromnu tehnološku primjenu. Oni su izolatori i ni na koji način se ne mogu prevesti u vodljivo stanje, odatle i naša intuitivna slika polimera je kao „tvrdih izolatora“. Izolatorsko ponašanje dolazi od toga što svi atomski valentni elektroni sudjeluju u kovalentnim vezama a to je ujedno i razlog njihove velike kemijske stabilnosti.



Fizikalnim rječnikom rečeno, saturirani polimeri su izolatori zbog velikog energijskog procijepa između vodljive i valentne vrpce (>5 eV). Tipični predstavnici saturiranih polimera su polivinil-klorid (PVC), poli(metil metakrilat) (PMMA), polietilen (PE), polistiren (PES) („stiropor“), polipropilen (PP) itd.

2.2 Konjugirani polimeri

Konjugirani polimeri, za razliku od saturiranih, nisu tako često prisutni u svakodnevnom životu. Klasifikacijom po vodljivosti mogu biti u izolatorskom ili poluvodičkom području, ovisno o vrsti polimera. Neke vrste konjugiranih polimera su organski poluvodiči sa energijskim procjepom do 3 eV što ih čini zanimljivima jer takav energijski procjep odgovara energiji vidljive svjetlosti. Određene vrste konjugiranih polimera mogu se prevesti u vodljivo stanje. Kako? O tome će biti riječi kasnije.

U konjugiranim polimerima u lancu (C-atomi) međusobno su vezani σ -vezama (jednostruke kovalentne veze) koje su nastale sp^2 hibridizacijom kao kod grafita. Naravno, svaki C-atom dva svoja sp^2 hibrida „troši“ na dva susjedna C-atoma iz lanca, a treći na H-atom. Na svakom C-atomu ostala je još jedna ne hibridizirana p-orbitala. Ona je polupopunjena, tj. u njoj se nalazi samo jedan elektron. Sve ne hibridizirane p-orbitale u polimernom lancu se preklapaju te tako tvore jednu veliku molekulsku orbitalu, koja se proteže duž cijelog polimernog lanca. No, tako velika

molekulska orbitala nije ništa drugo nego li energijskim vrpca. Očito je da je ona polupopunjena (jer se u svakoj p-oritali nalazi jedan elektron), što je osobina normalnih vodiče, metala, i polimerni lanac bi trebao voditi električnu struju. No, polimernom lancu energijski je povoljnije doživjeti strukturnu distorziju, koja se očituje kao prostorna alternacija jednostrukih i dvostrukih kovalentnih veza (Slika 2.1 desno). Takvom distorzija stvara energetski procjep, zbog čega su konjugirani polimeri poluvodiči ili izolatori, ovisno o veličini energijskog procjeka.

Tipični predstavnici konjugiranih polimera su: poliacetilen, polianilin, politiofen, polifenilen-vinilen, itd.

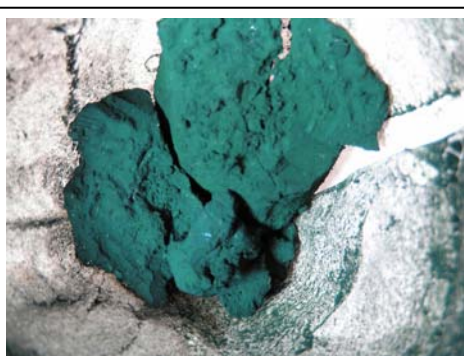
3. Dopiranje konjugiranih polimera

Ukoliko iz konjugiranog želimo proizvesti vodljivi polimer, moramo ga dopirati. Dopiranje se ne izvodi kao kod klasičnih poluvodiča (Si, Ge) dodavanjem trovalentnih (p-tip) odnosno peterovalentnih (n-tip) elemenata već pomoću kemijskih reakcija. Kemijska reakcija oksidacije daje efekt kao p-tip dopiranje dok kemijska reakcija redukcije daje efekt n-tip dopiranja. Dopiranjem vodljivost polimera može drastično porasti, kao na primjer kod polianilina kod kojeg dopiranjem vodljivost poraste ogromnih 12 redova veličine (sa 10^{-10} S/cm na 10^2 S/cm, dok kod poliacetilena vodljivost poraste sa 10^{-5} S/cm do 10^5 S/cm).

4. Vodljivi polimer polianilin

Polianilin je polimer koji je poznat više od 100 godina, ali je tek 1980. godine otkriveno da se može prevesti u vodljivo stanje (postati vodič). Polianilin je fundamentalno i tehnološki vrlo zanimljiv jer je vrlo stabilan, topiv u organskim otapalima i „lagano“ se sintetizira a fizikalni mehanizmi u njemu još nisu dovoljno istraženi. To su razlozi zašto je i naša istraživačka grupa odabrala taj polimer za istraživanje.

4.1 Sintetiziranje polianilina



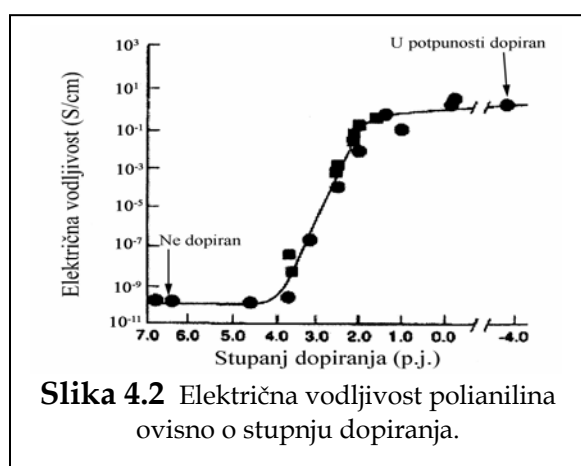
Slika 4.1 Grumen vodljivog polimera polianilina nakon sinteze na filter papiru.

Ukoliko se želi istraživati određeni materijal potrebno ga je proizvest odnosno sintetizirati. Sintetiziranje polianilina se izvodi putem direktne oksidacijske polimerizacije. Jednostavnije rečeno, u posudu sa destiliranom vodom koja se nalazi u kupki s ledom dodaje se anilin, protonska kiselina HCl te oksidacijsko sredstvo. Ioni HCl-a služe kao sredstvo dopiranja. Takva smjesa miješa se nekoliko sati te se nakon toga izvrši filtracija kroz filter papir te se ispire vodom da se uklone svi neželjeni produkti polimerizacije. Kao talog na filter papiru ostaje čisti vodljivi polimer polianilin.

Nakon sušenja materijal je spreman za proučavanje fizikalnih svojstava.

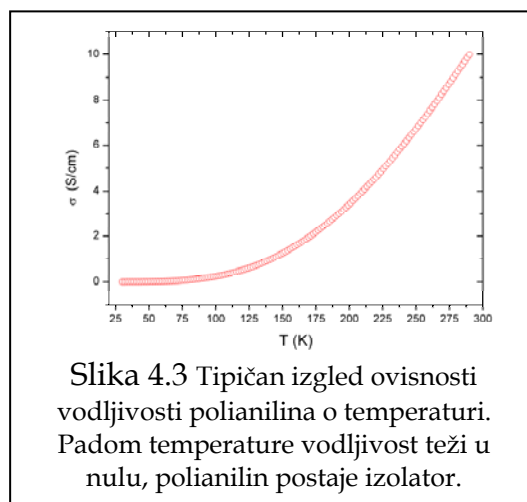
4.2 Električna vodljivost vodljivog polimera polianilina

Konjugirani polimer polianilin u nedopiranom stanju ima vodljivost oko 10^{-10} S/cm što ga čini izrazito dobrim izolatorom. Nakon dopiranja vodljivost mu poraste na oko 10 do 100 S/cm što je nevjerovatno porast od 12 redova veličine u vodljivosti. Iako se dogodi tako veliki porast u vodljivosti, vodljivost polianilina i dalje je relativno mala spram vodljivosti metala, jer je vodljivost polianilina u nedopiranom stanju izrazito mala. Kao što je već prije spomenuto dopiranje polimera polianilina može se izvršiti tako da se polimer uroni u vodenu otopinu bilo koje protonske kiseline, na primjer u vodenu otopinu kloridne kiseline (HCl). Ovisno o stupnju dopiranja električna vodljivost će se kretati od oko 10^{-10} S/cm (nedopiran) do 100 S/m (u potpunosti dopiran) Slika 4.2.



Opće je poznato da električna vodljivost metala raste s padom temperature. Uzrok tome je što titranje kristalne rešetke metala slabi s padom temperature, pa time i otpor metala pada, odnosno vodljivost raste. U poluvodičima električna vodljivost pada padom temperature jer broj nosioca naboja ovisi o temperaturi, odnosno kako temperatura pada tako i broj nosilaca naboja (elektron ili šupljina) pada. Padom temperature pada i broj naboja koji mogu prenositi električnu struju.

U polianilinu (Slika 4.3) a slično je i u drugih vodljivih polimera, vodljivost pada s padom temperature. Da bi to objasnili potrebno je malo bolje proučiti koji su sve načini vođenje struje u vodljivim polimerima. Nosioći naboja mogu se gotovo slobodno, kao u metalu, gibati unutar polimernog lanca, ali za makroskopsko vođenje struje nosioći naboja moraju „preskakati“ s jednog lanca na drugi. Takvo „preskakanje“ je temperaturno potpomognuto, odnosno nosilac naboja može preskočiti s jednog lanca na drugi samo ako dobije impuls zbog titranja polimernog lanca (fonona).



5.0 Primjena polianilina i drugih vodljivih polimera

Vodljivi polimeri u sebi objedinjuju dva vrlo poželjna tehnološka svojstva, posjeduju mehanička i kemijska svojstva klasičnih polimera a uz to mogu voditi električnu struju.

Vodljivi polimer polianilin je tehnološki vrlo zanimljiv jer je kemijski stabilan, ima nisku cijenu proizvodnje te je procesibilan, odnosno topiv u organskim otapalima. Može se primijeniti u antikorozivnoj zaštiti, antistatičkoj zaštiti, litografiji elektronskim snopom, u senzorima za detekciju kiselina i lužina, te za izradu polimernih tranzistora i čipova.

Od vodljivih polimera kao što su polipirol, poli(p-fenilen-vinilen), polidialkilfluoren mogu se izrađivati polimerne tj. organske LED, plastični i savitljivi ekrani te organske solarne ćelije.

Konjugirani polimeri i njihovi dopirani oblici, tj. vodljivi polimeri danas se nalaze na istoj razini na kojem su bili saturirani (izolatorski) polimeri prije 50 godina. Potrebno je uložiti još mnogo intelektualnog i tehnološkog napora da se postigne jednaka integracija u svakodnevnom životu kakvu danas imaju saturirani polimeri.

Literatura:

Alan Heeger, „Semiconducting and Metallic Polymers: The Fourth Generation of Polymeric Materials“, nobel lecture, 2000.

Alan G. MacDiarmid, "Synthetic Metals": A Novel Role for Organic Polymers, nobel lecture 2000.

Hideki Shirakawa, The Discovery of Polyacetylene Film: The Dawning of an Era of Conducting Polymers, nobel lecture, 2000.

<http://www.research.philips.com/>

Oscilatori

Željko Brenčić

Srednja škola Mate Blažine, Labin

Ako su u strujni krug izmjenične struje serijski uključeni svitak i kondenzator, na prolaz struje utječu omski otpor svitka (R_L), induktivni otpor svitka (X_L) i kapacitivni otpor (X_C). Tada je jakost struje

$$i = U / (R_L^2 + (X_L - X_C)^2)^{1/2}$$

Izjednačavanjem induktivnog i kapacitivnog otpora, njihovo će se djelovanje međusobno poništiti, pa će se prolazu struje suprotstavljati samo omski otpor svitka koji je gotovo uvijek vrlo mali. Stoga će u tom slučaju kroz strujni krug prolaziti vrlo jaka struja. Takva pojava naziva se **serijska ili naponska rezonancija**. Postizavanje rezonancije u strujnom krugu može se postići

- a) mijenjanjem induktiviteta svitka
- b) mijenjanjem kapaciteta kondenzatora
- c) mijenjanjem frekvencije struje

Frekvencija pri kojoj dolazi do izjednačavanja induktivnog i kapacitivnog otpora, pa time nastaje rezonancija naziva se rezonantna frekvencija i njezin izraz je

$$f_0 = 1 / 2\pi(LC)^{1/2}$$

Serijska rezonancija korisno se upotrebljava u elektronici, a štetna je u područjima jake struje zbog pojave visokih napona.