

## PLAZEMSKA KROGLA

Miha Čekada, Institut »Jožef Stefan«, Jamova 39, 1000 Ljubljana

### Plasma ball

#### ABSTRACT

Plasma ball is an apparatus which maintains high-frequency discharges between the central electrode and the glass sphere. As a »fun physics« product it has no practical use, nevertheless it is appropriate for teaching the electricity conduction basics. The Tesla transformer which supplies high-frequency signal is also described.

#### POVZETEK

Plazemska krogla je naprava, ki vzdržuje visokofrekvenčne razelektritve med središčno elektrodo in stekleno bučo. Čeprav spada v področje »zabavne fizike« in nima praktične uporabe, pa je primerna za pouk osnov električnega toka. Opisan je tudi Teslov transformator, s katerim napajamo plazemsko kroglo.

Če obiščemo kakšno razstavo s fizikalno tematiko (npr. Hišo eksperimentov v Ljubljani), nam bodo gotovo pokazali t. i. plazemsko kroglo. V zadnjih letih jo tudi prodajajo po internetu že za manj kot 50 dolarjev. Osrednji del naprave je steklena buča z elektrodo v sredini, ki stoji na podstavku. Značilni premer steklene buče je 10 - 30 cm. Če jo priključimo na omrežno napetost, se začnejo med središčno elektrodo in stekleno bučo naključno pojavljati razelektritve (slika 1). Posebno zanimivo postane, če se dotaknemo steklene buče, saj se razelektritve usmerijo k mestu dotika. Plazemske kroglice ne smemo zamenjati s kroglasto strelo, za katero včasih tudi uporabljajo podobno ime, s plazemsko kroglo pa nima nobene povezave. Kroglasta strela je namreč redek naravni pojav, ki je bil večkrat opažen med nevihto, ni pa še zadovoljivo pojasnjen.



Slika 1: Razelektritve v plazemski krogli

Oglejmo si malo pobliže, kako deluje plazemska krogla. V stekleni buči je grobi vakuum, navadno med 1 in 10 mbar. Na središčno elektrodo damo visoko napetost: nekaj kV do nekaj deset kV. Napajanje mora biti izmenično ali pulzno enosmerno s frekvenco nekaj deset kHz. Med elektrodo in steklom prihaja do razelektritev, kjer prehajajo molekule plina v vzbujeno stanje, ob relaksaciji pa izsevajo svetlobo značilne valovne dolžine. Pri izbiri plina se oziramo predvsem na lepo barvo in obstojnost razelektritev, da torej dobimo izrazite »strele« in ne medlega žarenja. Najprimernejša plina sta ksenon in kripton, lahko tudi v zmesi z drugimi plini, edina omejitev pa je nereaktivnost. Ker je zunanja stran steklene buče v stiku z zrakom, se na njej kondenzirajo zračna vlaga in razne nečistoče. Prevodnost te tanke plasti je relativno dobra, vsekakor pa bistveno večja od prevodnosti stekla. Naboj steče skozi steklo, nato pa po tanki plasti na površini stekla v podstavku, ki je ozemljen.

Če se kroglice dotaknemo s prstom, steče visokofrekvenčni tok skozi steklo do prsta in skozi telo v zemljo. Ker je prevodnost človeškega telesa bistveno večja od prevodnosti tanke plasti na površini stekla (le-ta pa bistveno večja od prevodnosti samega stekla), večina razelektritev ubere to pot. Tok, ki steče čez človeško telo, je visokofrekvenčen, zato zaradi kožnega pojava (*skin effect*) dejansko teče po površini telesa. Zaradi kožnega pojava in zelo nizkega toka dotikanje plazemske kroglice ni nevarno, čeprav ga - verjetno bolj iz pravnih nagibov - odsvetujejo srčnim bolnikom.

Plazemska krogla je zelo primerna za poučevanje osnov fizike. Pri tem »poenostavimo« razlago tako, da namesto teže razložljivega visokofrekvenčnega napajanja govorimo kar o enosmernem napajanju. Takšna »poenostavitev« je s fizikalnega stališča nedopustna - pri enosmernem napajanju bi bilo vedenje razelektritev precej drugačno in dotikanje smrtno nevarno - za pouk osnov pa je vseeno sprejemljiva.

Torej razložimo, da se na elektrodi nabira negativni naboj. Ker se enaki naboji odbijajo, se elektroda prazni skozi plin do buče. Z dotikanjem buče zelo jasno pokažemo, da je človeško telo dober prevodnik, saj se vse razelektritve usmerijo k mestu dotika. Še bolj nazorno je, če se z eno roko dotaknemo buče, v drugi pa držimo žarnico. Žarnica zasveti, kar je preprost »dokaz« za vsakogar o prevajanju električnega toka skozi človeško telo. (Tudi izolirana žarnica zasveti, če jo dovolj približamo buči; to je posledica indukcije, njena razlaga pa je za začetnike prezahtevna.) Poskus lahko spremenimo na različne načine, npr. da se več ljudi prime za roke, eden stopi na lesen stol (torej je izoliran od tal), drugi prime žarnico itd. Ob primernih razlagi lahko - namesto suhoparnega razlaganja pred tablo - tako rekoč med igro razložimo osnove električnega toka.

Za napajanje se uporablja Teslov transformator. Ker ga uporabljamo tudi v vakuumski tehniki, ga kaže podrobneje opisati. V osnovi je sestavljen iz šestih komponent

(slika 3): (1) navaden transformator z železnim jedrom, (2) visokonapetostni kondenzator, (3) iskrilnik (*spark gap*) - dve žici na zraku, katerih konca sta na majhni razdalji, (4) primarno navitje z 10 do 15 ovoji, (5) sekundarno navitje z nekaj sto ovoji in (6) breme (toroid).

Iz omrežne napetosti dobimo z navadnim transformatorjem napetost okrog 10 kV. V osrednjem delu Teslovega transformatorja imamo zaporedno vezano

sekundarno navitje navadnega transformatorja (deluje kot izvir visoke napetosti), primarno navitje drugega transformatorja (Teslov transformator v ožjem pomenu besede) in kondenzator. Preko tega kroga je kot most vezan iskrilnik. Po vklopu se začne polniti kondenzator in ko napetost dovolj naraste, pride na iskrilniku do preboja in kondenzator se izprazni skozi primarno navitje druge tuljave. Napetost pade, zato se preboj

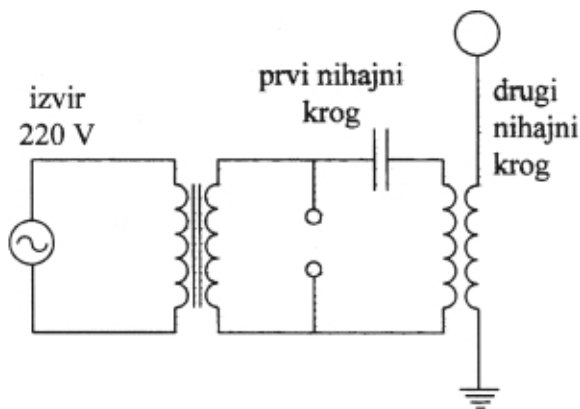


Slika 2: Plazemska krogla, ki jo je izdelal Peter Šolar z Bleda

Dober eksperimentator, poznavalec vakuumske, visokonapetostne in visokofrekvenčne tehnike **Peter Šolar** z Bleda je poleg drugih tehničnih zanimivosti (npr. Teslovi transformatorji različnih velikosti) izdelal tudi prvo domačo plazemsko kroglo. Zamisli in osnutki segajo v leto 1998. Steklena posoda premera okrog 25 cm ima v središču na steklenem nosilcu majhno kroglico (2-3 cm), ki je prevlečena s prevodno pasto. Spojeni sta tako, da je prostor med obema neprodušno zaprt in ga je možno izčrpati ter napolniti s poljubnim plinom. S pomočjo strokovnjakov z bivšega IEVT ter s svojimi izkušnjami in vero v uspeh si je izdelal svoj vakuumski sistem in generator visoke napetosti za vzbujanje razredčenih plinov v krogli. Nato so se pričeli poskusi izčrpanja, izboljšave elektronskega napajalnika, študij polnilnih plinskih zmesi itd. Prva krogla, ki je omogočala omenjene eksperimente, je bila razstavljiva in zato tehnološko izredno zahtevna (spoji steklo-kovina, kovinske tesnilke). Prvi uspešni prikaz delovanja je bil na IEVT poletu 1999; svetlobni prameni so v zatemnjenem prostoru vzbudili občudovanje ter razvneli razlaganje in pravo strokovno razpravo o tem zanimivem pojavu. Opisani prvenec je sedaj razstavljen v Tehniškem muzeju Slovenije v gradu Bistra pri Vrhniki. Naslednji dve krogli je Peter Šolar izdelal za tovarno Iskra Zaščite (slika 2) in za Hišo eksperimentov v Ljubljani.

Andrej Pregelj

prekine in s tem tudi iskrilnik preneha prevajati. Kondenzator se začne ponovno polniti in cikel se ponovi. Na sekundo se zvrsti nekaj sto ciklov. Ob preboju se na sekundarnem navitju drugega transformatorja inducira sunek visoke napetosti nekaj sto kilovoltov.



Slika 3: Električna shema Teslovega transformatorja

Sekundarno navitje je na eni strani ozemljeno, na drugi pa dobimo visok potencial (od nekaj deset kV do preko MV). Pri plazemski krogli je ta potencial vir razelektritev.

Drugi transformator nima železnega jedra, sekundarno navitje je vstavljeno v primarno, vmes pa je zrak. Nasprotno od klasičnega transformatorja, kjer je razmerje napetosti enako razmerju števila ovojev, pa pri Teslovem transformatorju ni tako enostavne zveze. Dejansko imamo sklopljena dva nihajna kroga. Prvega sestavljata primarno navitje in kondenzator, drugega pa sekundarno navitje in breme, ki z zemljo tvori šibak kondenzator. Kapaciteta tega »kondenzatorja« je močno odvisna od velikosti in oblike bremena. Za učinkovito delovanje je potrebna pravilna sklopitev obeh nihajnih krogov, torej  $L_1C_1 = L_2C_2$ . To je pogoj za enakost lastnih frekvenc obeh nihajnih krogov.

Teslov transformator uporabljamo v vakuumski tehniki za iskanje netesnosti v steklenih posodah. Za ta namen se uporabljajo koničaste elektrode, iz katerih na zraku izhajajo razelektritve. Ko se približamo stekleni posodi, se zaradi prevelikega upora razelektritev ustavi na steni posode. Pač pa se širi skozi razpoke. Netesnost ugotovljamo tako, da elektrodo premikamo po površini posode in opazujemo, ali se kje pojavi razelektritev znotraj posode - znak za netesnost.

Teslov transformator je tudi priljubljena »igrača« amaterjev, saj lahko z njim brez večjih težav dosežejo nekaj sto kilovoltov v domači delavnici. Ni treba posebej poudariti, da je takšna »igra« smrtno nevarna. Dodati je še treba, da Teslov transformator povzroča radiofrekvenčne motnje.