

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik **21** (1993/1994)

Številka 4

Strani 226-232

Janez Strnad:

OB STOLETNICI SMRTI HEINRICHA HERTZA

Ključne besede: novice.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/21/1185-Strnad.pdf>

© 1993 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

OB STOLETNICI SMRTI HEINRICHA HERTZA

Prvi dan letošnjega leta je minilo sto let od smrti nemškega fizika Heinricha Hertza (slika 1), ki se ga spominjamo predvsem po odkritju radijskih valov.

Rojen je bil leta 1857 v Hamburgu. V gimnaziji je bil med najboljšimi učenci. Učitelj grščine ga je nagovarjal, naj študira klasične jezike, domači učitelj arabščine pa mu je svetoval, naj študira bližnje-vzhodne jezike. Toda Heinrich se je dvajsetleten odpravil študirat tehniko v München. Po dveh letih je spoznal, da ga zanima fizika. Presedlal je na berlinsko univerzo, ki je bila tedaj glede fizike med najboljšimi na svetu ali celo najboljša. Že po dveh letih je opravil doktorat pri Hermannu von Helmholtzu in postal njegov asistent.

V tedanji družbi naj bi za mladeniča, katerega družina je prešla iz judovske vere v protestantsko, ne bil dosegljiv najvišje cenjeni oficirski poklic, čeprav je njegov oče dosegel čast mestnega svetnika. Bila pa mu je odprta pot na univerzo. Leta 1883 je postal Hertz profesor na univerzi v Kielu, leta 1885 na tehniški visoki šoli v Karlsruheju in leta 1889 na univerzi v Bonnu.

Hertz je bil - kot slovenski fizik Jožef Stefan - med zadnjimi fiziki, ki so z enako vnemo izvajali poskuse in se ukvarjali s teorijami. Odkril je tudi *fotoefekt*, vendar ga ni dalje raziskal. Delal je poskuse s *katodnimi žarki*, kakor so tedaj imenovali curek elektronov v vakuumski cevi. Ni mu jih uspelo odkloniti z električnim poljem, ker najbrž v cevi ni dosegel dovolj nizkega tlaka. Ugotovil je, da predrejo aluminijev listič, in po tem zmotno sklepal, da so elektromagnetno valovanje. Zamislil si je mehaniko, v kateri ni bilo treba uporabljati pojma *sile*. Zanimal se je tudi za vprašanja, ki so pozneje pripeljala do posebne teorije relativnosti.

Pomen odkritja radijskih valov bomo razumeli, če orišemo tedanje razmere. V letih od 1865 do 1873 je škotski fizik James Clerk Maxwell postavil teorijo električnega in magnetnega polja - *Maxwellovo elektrodinamiko*. Pri



Slika 1. Heinrich Rudolf Hertz (22. februar 1857 - 1. januar 1894). Po njem imenujemo enoto *nihaj na sekundo* (s^{-1}) hertz (Hz).

tem je razvil pogled Michaela Faradaya, ki je nadvse spretno delal poskuse in si pomagal z nazornimi predstavami. Tako je opisoval delovanje magnetov in vodnikov s tokom na magnetnico s *poljem sil*, ki si ga je ponazoril s *silnicami*. Maxwell je dal polju matematično vsebino.

Dandanes se s poljem seznanijo že učenci v osnovni šoli. Okoli naelektrnega telesa si mislimo prostor, ki ima posebne lastnosti, tako da deluje na drugo naelektrno telo. To je *električno polje*. Okoli trajnega magneta ali vodnika s tokom si mislimo prostor, ki ima posebne lastnosti, tako da deluje na drug trajen magnet ali vodnik s tokom. To je *magnetno polje*. Namesto, da bi si predstavljali, da deluje telo na drugo telo s silo skozi prazen prostor, si predstavljamo okoli prvega telesa polje, ki posreduje silo na drugo telo. Prvo je *opis z delovanjem na daljavo*, a drugo *opis s poljem*.

Delovanje na daljavo je vpeljal kakih dvesto let pred Maxwellom Isaac Newton. Predstavljal si je, da Sonce deluje na planete z gravitacijo skozi prazen prostor. Nekateri so mu ob tem očitali, da uporablja nefizikalne prijeme. V dvesto letih so se fiziki navadili na delovanje na daljavo, tako da so se upirali Maxwellovemu opisu s poljem. Tudi Helmholtz ni sprejel Maxwellovega pogleda v celoti. Toliko pa je uvidel njegove prednosti, da si je zamislil teorijo, ki je vsebovala oboje: delovanje na daljavo in polje. Tudi Hertz je izhajal spočetka iz te teorije. V opisu z delovanjem na daljavo se sila drugega telesa na prvo spremeni v trenutku, ko drugo telo premaknemo, pri opisu s poljem pa ob premiku drugega telesa zmotimo polje in motnja s končno hitrostjo potuje do prvega telesa.

Maxwell je v svoje enačbe vpeljal člen, ki ga je imenoval *premikalni tok*. Zaradi tega okoli spreminjajočega se električnega polja nastane magnetno polje, podobno kot nastane okoli konstantnega toka nabojev. Do tega je Maxwella pripeljala predstava, da nastane električno polje zaradi mehaničnih napetosti v izolatorju ali *dielektriku*. *Dielektrični premik*, količina, ki jo danes imenujemo *gostoto električnega polja*, mu je merila deformacijo dielektrika, nastalo zaradi mehaničnih napetosti. Električno polje v vakuumu je pojasnil z deformacijo *etra*, ki so mu pripisovali lastnosti dielektrika z nemerljivo majhno gostoto. Angleški fiziki so bili tedaj in še pozneje znani po tem, da so si radi vsak pojav ponazorili z *mehaničnim modelom*.

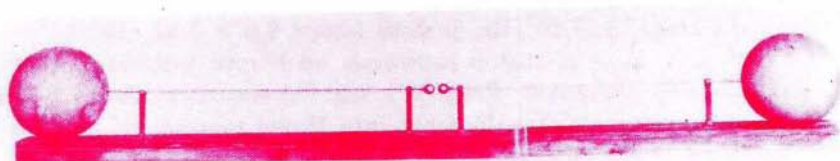
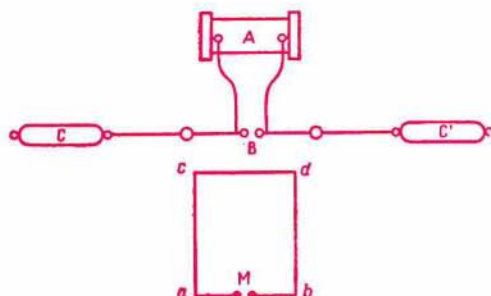
Enačbe so Maxwellu pokazale, da se spreminjajoče električno polje obda z magnetnim polje in spreminjajoče se magnetno polje z električnim. Polji drugo drugo vzdržujeta in potujeta po prostoru kot valovanje, ki nosi energijo. Enačbe so dale za hitrost tega valovanja vrednost, ki se je ujemala z izmerjeno hitrostjo svetlobe. Po tem je Maxwell sklepal, da je svetloba valovanje

električnega in magnetnega polja - *elektromagnetno valovanje*. Maxwelliova teorija je, kot smo namignili, razmeroma počasi dobivala veljavo. Kljub pomislekom ji je pomagal do nje tudi Hermann von Helmholtz.

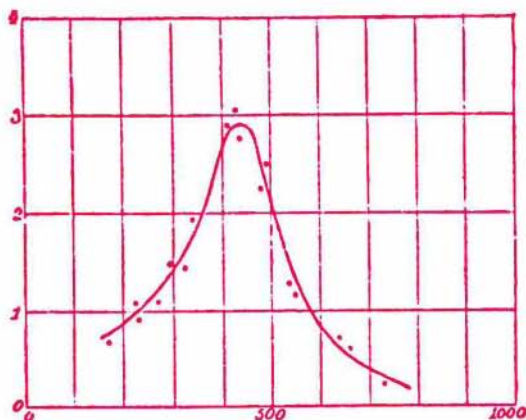
Pri opisovanju razvoja fizike izhajamo iz današnjega znanja, uporabljamo današnje izraze in si ne prizadevamo pretirano, da bi se vživeli v nekdanje razmere. Tako nam uide marsikatera podrobnost in spregledamo tudi precej neuspešnih korakov. Toda za zvestejši opis dogajanja bi potrebovali precej več prostora. Tako nekoliko poenostavljeno recimo, da se je zgodba začela leta 1879. Tedaj je pruska akademija znanosti razpisala nagrado za rešitev naloge, po kateri je bilo treba - z današnjimi besedami - izmeriti magnetno polje premikalnega toka. Hertz je tedaj ugotovil, da naloge naravnost ni mogoče rešiti. Toda poslej je o njej veliko razmišljal in iskal možnosti za posredno rešitev. To ga je prepeljalo do *električnega nihanja*.

Ameriški fizik Joseph Henry je leta 1842 opazil, da je zanihala magnetnica ob vodniku, skozi katerega je spraznil naelektren kondenzator. Pet let pozneje je Helmholtz pribil, da nastane pri praznjenju kondenzatorja nihajoč tok, ki postopno oslabi. Leta 1853 je William Thomson - lord Kelvin - izpeljal enačbo za frekvenco toka v *nihajnem krogu*, ki ga sestavljata kondenzator in tuljava, in ki ga smemo primerjati z mehaničnim nihalom. Enačbo, po kateri je frekvenca tem višja, čim večji sta kapaciteta kondenzatorja in induktivnost tuljave, poznajo današnji srednješolci. Nekaj let pozneje je enačbo preskusil Behrend Wilhelm Federsen, ki je opazoval iskre ob praznjenju naelektrenega kondenzatorja. Z "osciloskopom" na vrteče se zrcalo je zasledoval časovni potek isker, ki so preskakovale v *iskrišču* po več stotisočkrat v sekundi. Danes je časovni potek napetosti v nihajnem krogu mnogo preprosteje raziskati s katodnim oscilografom. Tedaj pa so si pomagali z iskriščem. Vodnik v nihajnem krogu so prekinili, krajišči oblikovali v konici in ju razmaknili do določene razdalje.

Hertz je po prihodu v Karlsruhe leta 1885 začel delati poskuse z nihajnim krogom. Sestavljal ga je iz tuljave z veliko induktivnostjo in iskrišča z zelo majhno kapaciteto. Nihajoči tok v takem krogu je hitro zamrl. Zato ga je zbujal z indukcijo: prekinjalo je na tuljavo priklapljal baterijo in jo izklapljal. Električno nihanje v nihajnem krogu je opazoval tako, da je približal drug nihajni krog v obliki ovoja z iskriščem. Razmik med konicama v iskrišču je spreminjal z mikrometrskim vijakom. Čim večji je bil razmik, pri katerem so še preskakovale iskre, tem izdatnejše je bilo nihanje v krogu. Hertz je ugotovil, da so v "sprejemnem" krogu bile iskre močnejše, če je "oddajnemu krogu" s tuljavo dodal ravno žico s kovinskima telesoma (slika 2). Tako je



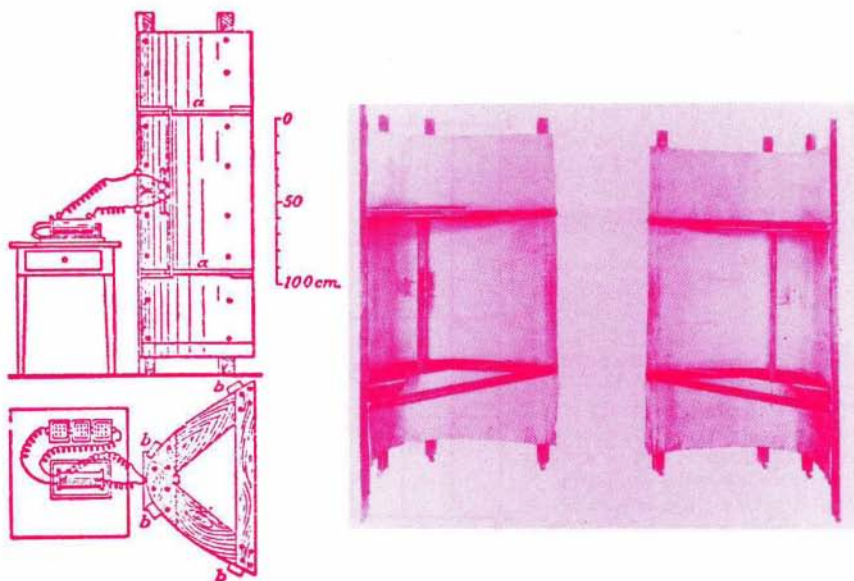
Slika 2. Risba oddajnega nihajnega kroga s tuljavo in oddajno anteno (zgoraj) in sprejemnega nihajnega kroga (spodaj) iz članka H. Hertzja *O vplivu premočrtnega električnega nihanja na bližnji ovoj* iz novembra 1887. Del Hertzove naprave so razstavili leta 1988 na univerzi v Karlsruheju na razstavi *Sto let radijskih valov*.



Slika 3. Hertzova risba odvisnosti največje razdalje konic v iskrišču sprejemnega kroga (v milimetrih), pri kateri so še preskakovale iskre, od dolžine vodnika (v centimetrih) v sprejemnem krogu. Krivulja ima za resonanco značilno obliko.

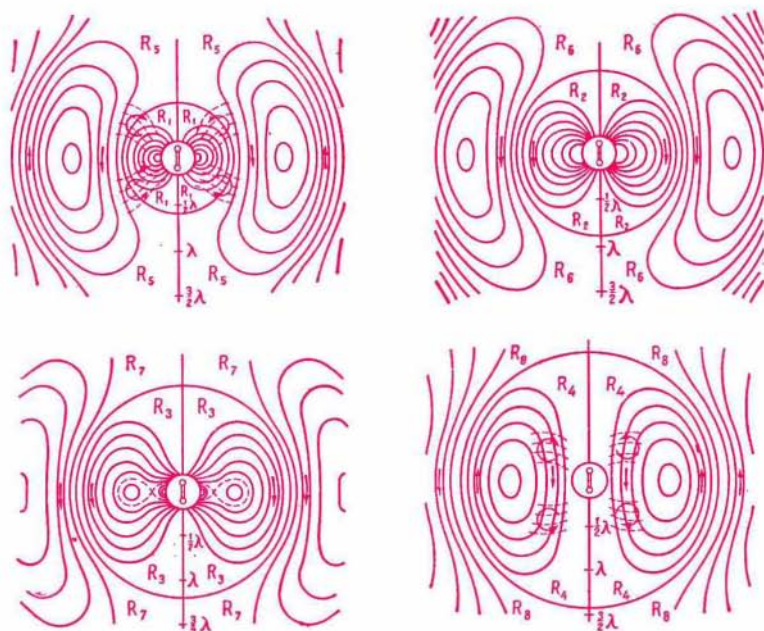
naredil *oddajno anteno*. Največja dolžina isker v iskrišču se je spreminjala, ko je spreminjal dolžino sprejemnega nihajnega kroga. Opazoval je resonanco električnega nihanja v sprejemnem krogu z nihanjem v oddajnem krogu (slika 3).

S prilagajanjem naprav in okoliščin pri poskusih je dosegel, da so nastale iskre v sprejemnem krogu v oddaljenosti 12 metrov od oddajnega. Pri tem se je učinek zmanjševal obratno sorazmerno z oddaljenostjo in ne obratno sorazmerno s kvadratom razdalje, kar je značilno za statično polje točkastega naboja. Zamisel o elektromagnetnem valovanju bi podprla ugotovitev, da potuje valovanje z določeno hitrostjo. Proti koncu leta 1887 je Hertz naredil poskus v 15 metrov dolgi dvorani. Oddajni nihajni krog je postavil 2 metra pred steno, na drugo steno pa je namestil pločevino. Valovanje se je na njej odbilo in dalo z vpadnim valovanjem stoječe valovanje. Med sosednjima vozla, v katerih iskre sploh niso preskakovale, je izmeril razdaljo 4,8 metra. Dvojna razdalja, 9,6 metra, je dala valovno dolžino. Z izračunano frekvenco nihajnega kroga, $3,57 \cdot 10^7$ Hz, je dobil hitrost $9,6 \text{ m} \cdot 3,57 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1} = 3,4 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, ki se ni znatno razlikovala od hitrosti svetlobe. Potem je naprave še dalje izpopolnil. Prešel je k višji frekvenci in pločevino zvil v parabolčni valj (slika 4). Tako je lahko med štirimi zaporednimi vozli določil razmik po 33 centimetrov. Valovna dolžina 66 centimetrov je dala ob



Slika 4. Risba izpopolnjenega oddajnega kroga z navpično anteno v gorišču parabolčnega zrcala (s strani in od zgoraj) iz Hertzevega članka *O curkih električne sile* iz leta 1889 in pločevinasti zrcali oddajne in sprejemne antene.

izračunani frekvenci $4,55 \cdot 10^8$ Hz hitrost $0,66 \text{ m} \cdot 4,55 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1} = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Z odbojem na ravni pločevini je pokazal, da velja za valovanje odbojni zakon, in z lomom na več kot tono težki asfaltni prizmi, da velja lomni zakon. Tako je Heinrich Hertz v letih 1887 in 1888 odkril radijske valove. Z valovanjem z milijonkrat večjo valovno dolžino od vidne svetlobe je sijajno podprl Maxwellovo teorijo. Naposled si je prislužil nagrado pruske akademije, saj je posredno potrdil premikalni tok. Brez njega ne bi bilo elektromagnetnega valovanja. Nazadnje je Hertz še preračunal spremenljivo polje ravne antene, ki je precej manjša od valovne dolžine (slika 5).



Slika 5. Risba električnih silnic v elektromagnetnem valovanju drobne ravne antene za trenutke, ki si sledijo v razmikih po eno osmino nihajnega časa. Hertz je moral za to kar precej računati (desno spodaj je zagrešil manjšo napako).

Učinke radijskih valov so opazovali že pred Hertzem, vendar so pojav odpravili kot nepomemben. Hertz sam je trdil, da njegovega odkritja ne bo mogoče uporabiti. Njegove poskuse so v kratkem ponovili Oliver Lodge v Angliji, Augusto Righi v Italiji, Aleksander Popov v Rusiji, Eduard Braly

v Franciji. William Crookes je leta 1892 prvi opozoril na možnost, da bi lahko s Hertzevimi valovi prenašali sporočila. Kmalu zatem se je zadeve lotil Guglielmo Marconi in leta 1898 "brežžično" prenesel sporočilo iz Anglije v Francijo. Tri leta pozneje so sporočila z Morsovo abecedo segla že preko tritisoč kilometrov. Preden je radio spregovoril in zapel, televizija pa pokazala sliko, je bilo treba še marsikaj odkriti. Toda v osnovi teh neizogibnih sestavin sodobnega življenja je Hertzevo odkritje.

Janez Strnad