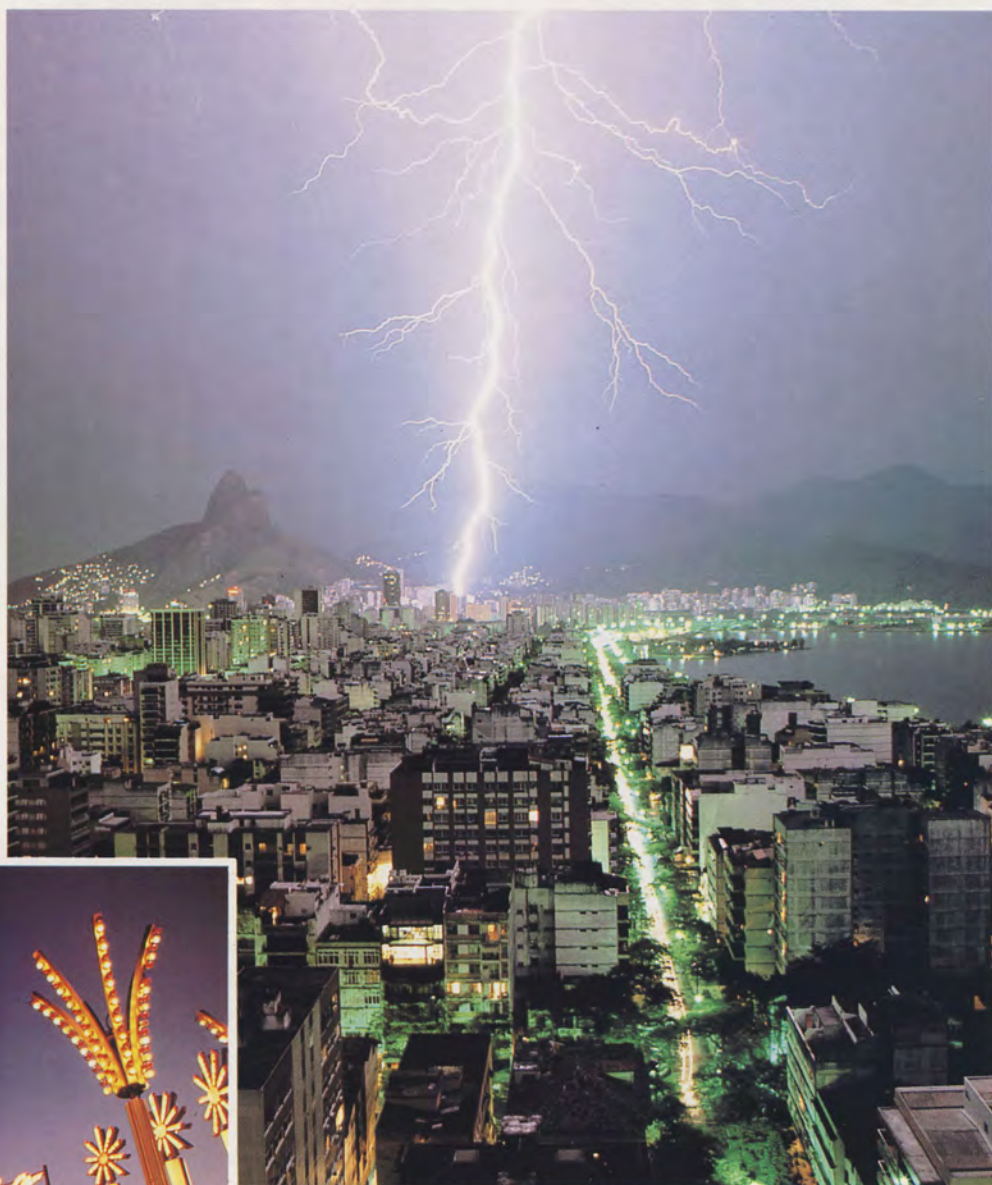


# Elektricitet i magnetizam

*Elektricitet, koji se pojavljivao u obliku munja i gromova, nekada je izazivao silan strah. U međuvremenu smo, međutim, naučili njime ovladati i iskoristiti ga za vlastito dobro. A magnetizam, koji je nekoć bio tek zabavna atrakcija, bitan je za funkcioniranje najsnažnijih generatora koji nam proizvode struju.*

**N**eki se dijelovi odjeće, kad ih svučemo preko glave, jako naelektriziraju. Ponekad je taj naboj tako velik da čujemo pucketanje (izbijanje) iskri, a ako je u sobi mrak, možemo ih čak i vidjeti. Te su iskre (krijesnice) zapravo sićušne munje a i nastaju poput njih – naglim izbijanjem električnog naboja. Kad

► **Grom udara kad golemi električni naboj probije izolator – u ovom slučaju zrak. Tada zagrijani zrak postaje vodljiv, pa s visoko nabijenog oblaka odvodi struju u tlo.**



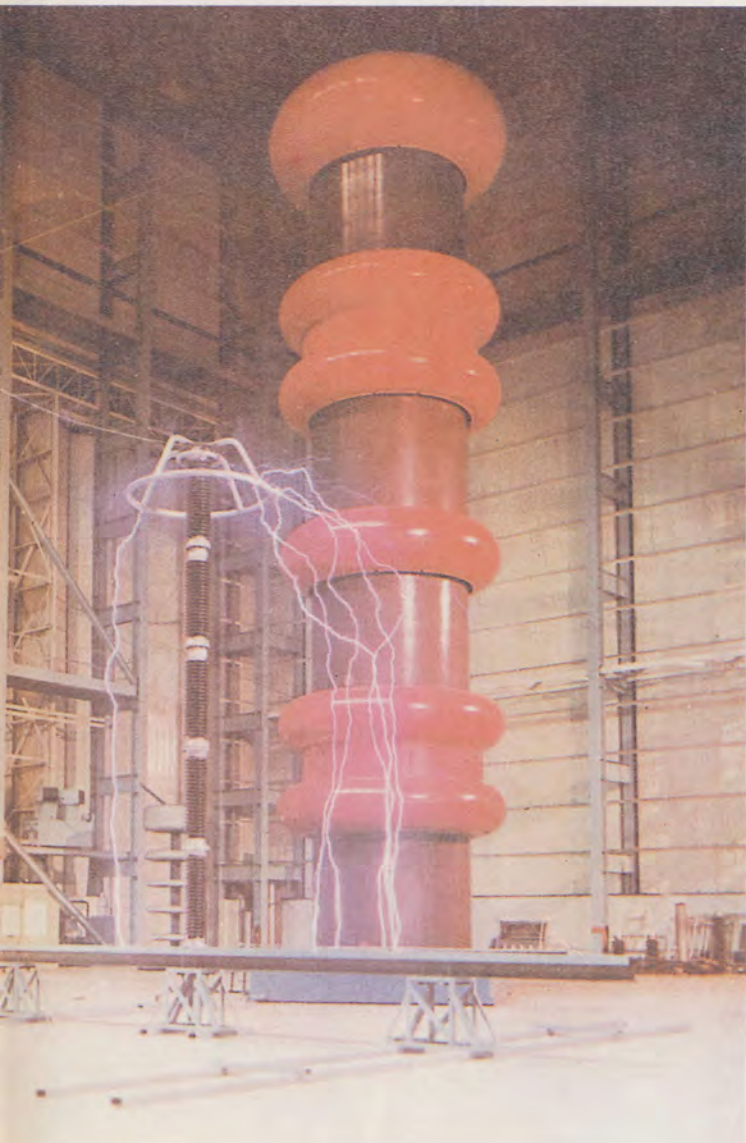
► **Moderni lunapark troši puno struje za rasvjetu i pogon vozila. Pokretni lunaparkovi obično tu struju proizvode vlastitim prenosivim agregatima.**

zagrmi, izbijanje elektriciteta iz nabijenih oblaka oslobađa silnu energiju u obliku svjetla i topline. Svjetlo opažamo kao bljesak, a toplina izaziva naglo, eksplozivno širenje okolnoga zraka, koje onda čujemo kao grmljavinu.

► **Wimshurstov influencijski stroj, jedan od najstarijih generatora, proizvodio je statički elektricitet trenjem između nepokretnog metalnog diska i staklenog diska s nalijepljenim metalnim listićima.**

Svi predmeti oko nas sadržavaju bezbrojne milijarde električnih naboja. Ti se naboji sastoje od atomskih čestica iz kojih su izgrađeni materijali. U središtu, ili jezgri svih atoma – osim vodikova – nalazimo dvije vrste čestica: protone i neutrone. Neutroni nemaju električni naboj, ali protoni imaju naboj koji zovemo pozitivnim. Oko jezgre se vrte čestice koje zovemo elektronima, i oni su nabijeni negativno. Atom u normalnim okolnostima ima isti broj protona i elektrona, pa se njihovi – po iznosu jednaki, a





◀ **Ispitivanje visokonaponskog izolatora. Napon se između vrha izolatora i tla neprestano povećava sve dok ne probije zrak oko izolatora, pri čemu se stvara golema izbojna iskra.**

brojem pozitivnih naboja. To možemo postići postavljanjem vodiča, primjerice komada žice, između te dvije kugle.

U 18. stoljeću mnogi su znanstvenici pravili pokuse s elektricitetom. Pritom su se služili strojevima koji su trli jednu stvar o drugu i tako stvarali jak električni naboj. Taj bi se naboj, međutim, smjesta izgubio čim bi se suprotni polovi povezali vodičem. Za mnoge je pokuse mnogo korisniji bio uređaj koji bi kroz duže vrijeme mogao proizvoditi stalnu struju. Taj je problem



▲ **Kondenzatori spremaju električni naboj na metalnim pločicama. Zakretni kondenzator (desno gore) upotrebljava se u radioprijemnicima.**

oko 1790. godine riješio talijanski znanstvenik Alessandro Volta kad je izumio galvanski članak ili bateriju.

### Galvanski članci i strujni krugovi

Galvanski članak pretvara kemijsku energiju u električnu. Članci se često povezuju da bi se na njihovim izvodima dobio veći napon ili jača struja. Takve skupine članaka zovemo baterijama, iako se tako ponekad nazivaju i pojedini članci.

po predznaku suprotni – naboji međusobno poništavaju. Posljedica je toga da u tom materijalu ne možemo izmjeriti nikakav naboj, pa velimo da je on neutralan ili nenabijen. Ako, međutim, tu ravnotežu poremetimo, onda će predmet u cjelini biti nabijen pozitivno ili negativno, ovisno o tome postoji li u njemu višak elektrona ili protona.

### Trenjem do elektriciteta

Različiti se materijali ponekad električno nabiju ako ih taremo jedan o drugi, i to zato što pritom dolazi do prelaska elektrona. Ako se, primjerice, češljamo plastičnim češljem, onda se elektroni prenose s kose na češalj. Zbog toga se češalj nabije negativno. Kosa, s druge strane, postaje pozitivno nabijena, zato što je sad u njoj više protona nego elektrona. Nabijeni predmeti privlače nenabijene, pa zbog toga češljem možemo podići komadiće papira.

### Privlačenje i odbijanje

Nabijeni se predmeti ili privlače ili odbijaju. Ako su im naboji suprotni, među njima vlada privlačna sila. Ako su im, međutim, istog predznaka, onda se odbijaju.

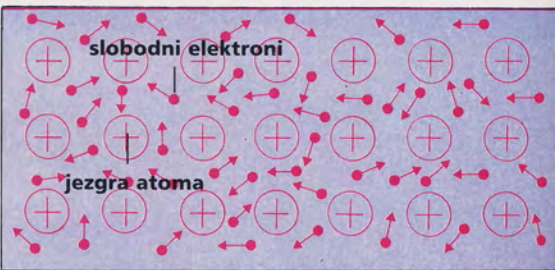
Za predmet koji smo naelektrizirali trenjem velimo da je nabijen statičkim elektricitetom.

To je zato što taj naboj u njemu može ostati, barem teoretski, neograničeno dugo. Predmet će ostati naelektriziran sve dok se broj negativnih i pozitivnih čestica u njemu ponovno ne izjednači. To postižemo dovođenjem ili odvođenjem nabijenih čestica. Ako je predmet, recimo, naelektriziran zato što ima višak elektrona, kad se ti elektroni odvedu, predmet će ponovno postati neutralan. Ako je predmet, međutim, nabijen pozitivno, možemo ga ponovno učiniti neutralnim tako da mu dovedemo elektrone. Svako takvo gibanje naboja zovemo električnom strujom.

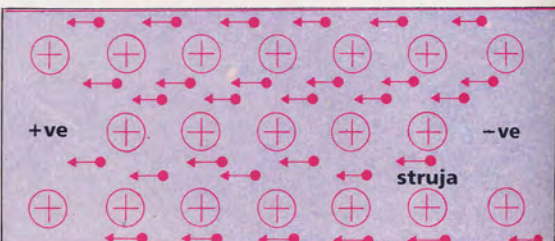
### Vodiči

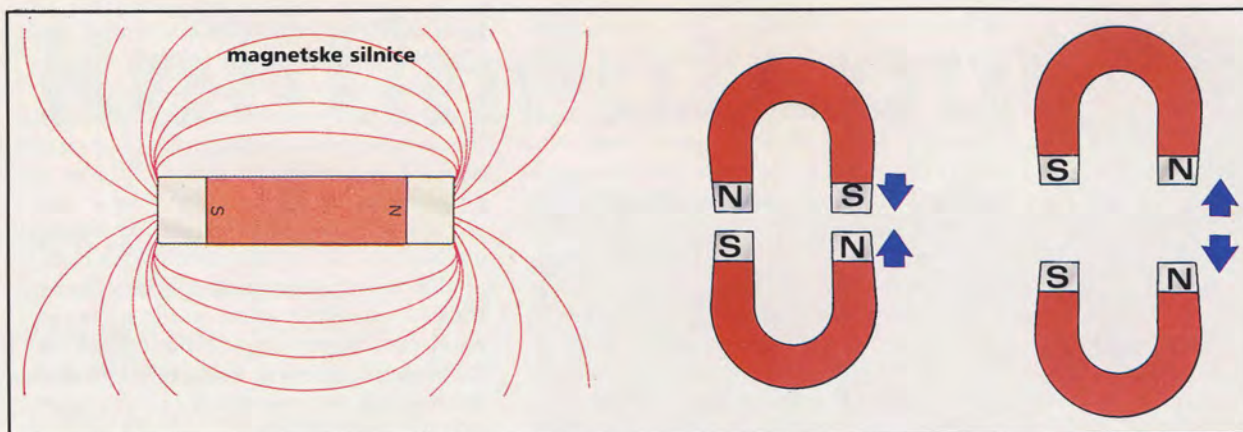
Materijale, kroz koje može protjecati električna struja zovemo vodičima. Kovine i grafit (najčešći oblik ugljika) dobri su vodiči elektriciteta. Među tvari koje u pravilu ne provode struju ubrajamo jantar, ulje, vosak, staklo, papir i plastiku. Takve tvari zovemo izolatorima.

Pretpostavimo, primjerice, da imamo dvije metalne kugle, od kojih je jedna nabijena pozitivnim, a druga negativnim nabojem, ali iste veličine. Ako se među njima uspostavi vodljiva veza, onda će elektroni s negativno nabijene kugle poteći na pozitivno nabijenu kuglu sve dok se na obje kugle broj negativnih ne izjednači s



▲ ▼ **Metali su dobri vodiči struje zato što se njihovi elektroni slobodno gibaju. Kad metal nije priključen ni na kakav napon, njegovi elektroni se slučajno (kaotično) gibaju (gore). Ako ga, međutim, priključimo na napon (dolje), pozitivno će nabijeni kraj privlačiti negativno nabijene elektrone. To protjecanje zovemo električnom strujom.**





◀ **Magnetsko polje je područje u kojem opažamo učinke magnetskih sila. To se polje može predočiti silnicama koje spajaju njegove polove. Postavimo li suprotne polove dva ju magnetska jedan sučelice drugom, magneti će se privlačiti. Ako to isto učinimo s istoimenim polovima, magneti će se odbijati.**

Strujni se krug sastoji od izvora struje, primjerice baterije, i vodljivoga puta kojim struja teče s jednoga pola baterije na drugi. Električna je struja tok elektrona i mogli bismo je usporediti sa strujanjem vode kroz cijevi. Kao što vodu, da bi potekla kroz cijev, moramo na jednom kraju tlačiti, tako moramo tlačiti i elektrone da bi potekli kroz žicu. Ta elektromotorna sila, koju proizvodi primjerice baterija, izražava se u voltima, a jakost (protok) struje koja prolazi kroz žicu izražava se u amperima. Protok vode izazvan nekim tlakom ovisi i o samoj cijevi. Tako će se uska i dugačka cijev više opirati protjecanju vode od kratke i široke cijevi. Isto je i sa strujom: otpor će u dugoj i tankoj žici biti veći nego u kratkoj i debeloj, izrađenoj od istog materijala.

### Otpor

Električni se otpor izražava jedinicom koja se zove ohm. Bakar ima srazmjerno nizak otpor i stoga je dobar vodič elektriciteta, pa se široko primjenjuje za izradu kablova. Još je bolji vodič srebro, ali je ono preskupo za masovnu upotrebu. U strujnim krugovima nalazimo i kom-

Pritom  $V$  u pravilu izražavamo u voltima,  $I$  u amperima i  $R$  u ohmima. Ako, primjerice, bateriju od 12 volta spojimo s otpornikom od 6 ohma, onda će kroz taj strujni krug protjecati struja od  $I = V/R = 12/6 = 2$  ampera.

### Magnetizam

Grčki filozof Tales iz Mileta prvi je, koliko nam je poznato, pručavao neobično privlačenje između željeza i željezne rude magnetita. To se dogodilo negdje oko 600. pr. Kr., ali su prošle stotine godina dok je ta pojava našla svoju prvu praktičnu primjenu u magnetskom kompasu. Već su vjerojatno i Kinezi oko 200. godine poznavali primitivni kompas, ali se on u Europi pojavio tek negdje oko 1200. godine.

Pojava da se prirodni magnet, željezna ruda magnetit, kad je slobodno ovisjen uvijek postavlja u isti smjer, stoljećima je ostala zagonetnom. Mi danas znamo da su i željezo i drugi

magnetski materijali sazdana od sićušnih magnetiziranih područja koja zovemo domenama. One su u normalnim okolnostima magnetizirane u različitim smjerovima, pa materijal u cjelini ne pokazuje magnetska svojstva. Ako se, međutim, domene orijentiraju tako da su sve okrenute u istom smjeru, tijelo će biti magnetizirano i početi privlačiti komade željeza.

### Dva pola

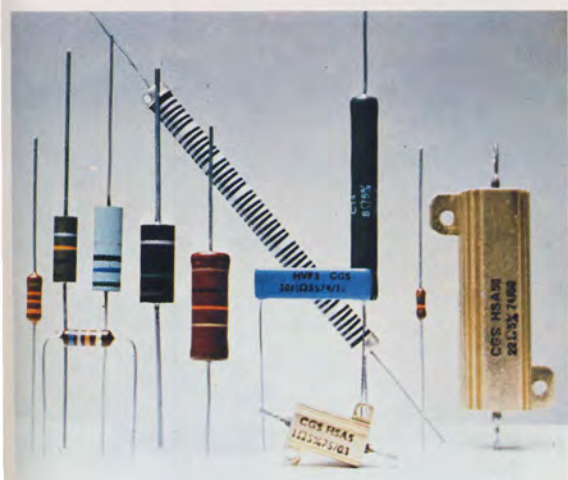
Svi ti magneti imaju nešto zajedničko. Njihov je magnetizam prividno koncentriran u dva područja koja zovemo sjevernim i južnim magnetskim polom, već prema tome okreću li se prema sjevernom ili južnom Zemljinom polu. To se događa zato što je i sama Zemlja jedan golemi magnet. To je bit magnetskog kompasa. Oba magnetska pola privlače nemagnetizirano željezo. Ako, međutim, približimo dva magnetna, sjeverni će se pol jednoga privlačiti s

► **Tanjurasti stakleni izolatori na ovom 400-kilovoltnom dalekovodu razdvajaju vodove od nosivih stupova. Oviješene žice povezuju glavne grane dalekovoda.**

◀ **Neki od velikog mnoštva različitih otpornika kakvi se upotrebljavaju u elektroničkim krugovima. Otpor je na nekima označen obojenim prstenovima, postavljenim u skladu s točno određenim pravilima. Dva su od njih za velike snage, pa imaju stezaljke da se mogu pričvrstiti vijcima za metalno postolje. To postolje odvodi toplinu, da otpornici ne bi pregoreli zbog prevelikog zagrijavanja.**



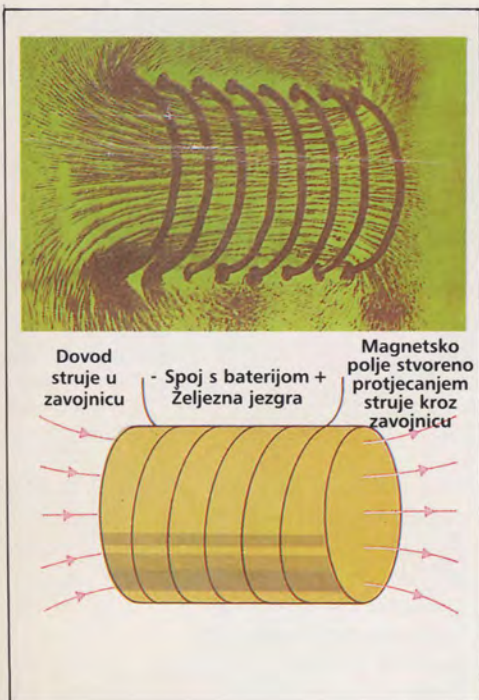
David Taylor/Science Photo Library



ponente koje imaju velik električni otpor. Takve komponente, zvane otpornici, ograničavaju protjecanje struje kroz pojedine grane strujnih krugova.

### Ohmov zakon

Godine 1827. njemački je znanstvenik Georg Ohm postavio zakon koji povezuje napon ( $V$ ), struju ( $I$ ) i otpor ( $R$ ). Ohmov se zakon može izraziti na više načina:  $V=IR$ ,  $I=V/R$  ili  $R=V/I$ .



▲ **Željezna piljevina pokazuje magnetske silnice u vodljivoj zavojnici i oko nje (gore). U elektromagnetima kakvi se primjenjuju u praksi (gore) zavojnica je namotana oko željezne jezgre kako bi se povećala jakost magnetskog polja.**

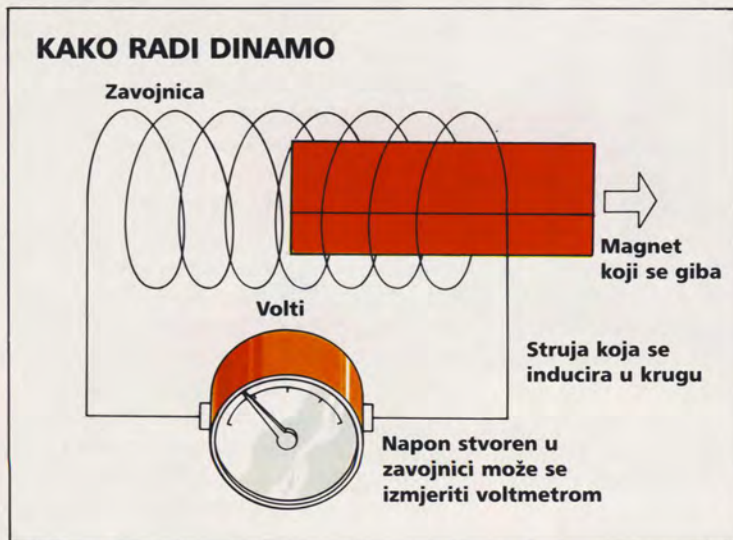
južnim polom drugoga. Dakle, suprotni se polovi privlače. Dosljedno tome, sjeverni će se polovi međusobno odbijati, baš kao i južni. Možemo, dakle, reći i da se isti polovi odbijaju. Zbog toga možda zvuči čudno da se sjeverni pol magneta okreće prema sjevernom polu Zemlje. To je, međutim, zato što je Zemljin magnetski pol, smješten u blizini njezina sjevernog zemljopisnog pola, zapravo njen južni magnetski pol.

Elektricitet i magnetizam blisko su povezani, ali se to nije znalo sve do 1819. Te je, naime, godine danski profesor fizike Hans Christian

Ørsted svojim studentima pokazivao neke električne pokuse.

### Ørstedovo otkriće

Ørsted je izvode baterije spojio žicom. Namjera mu je bila pokazati da će se ona zagrijati kad kroz nju propustimo jaku električnu struju. Tada se, međutim, dogodilo nešto sasvim neočekivano. Kad je spojio žicu s baterijom, igla se obližnjeg kompasa otklonila i više nije pokazivala prema sjeveru. Ørsted je shvatio da struja koja prolazi kroz žicu stvara magnetsko polje i da ono djeluje na kompas. Tako je otkrio jednu od najvažnijih pojava u znanosti – elektromagnetizam.



◀ **Pomičemo li magnet kroz zavojnicu, u njoj se stvara (inducira) napon. Ako su njezini krajevi vodljivo spojeni, kroz krug će poteći struja. U ovom su primjeru krajevi zavojnice spojeni s voltmetrom. Kroz njega protječe struja i zakreće iglu, pa ona pokazuje koliko je napon na stezaljkama instrumenta.**

### Elektromagnetizam

Magnetsko polje što ga proizvodi protjecanje struje kroz žicu razmjerno je slabo. Znanstvenici su, međutim, ubrzo pronašli način kako da pojačaju taj efekt. Mnogo se jače polje može dobiti ako se žica namota u zavojnicu, a još jače ako se u takvu zavojnicu stavi željezna jezgra. Takvu napravu zovemo elektromagnetom.

### Elektromotori i generatori

Kad žicu slobodno postavljenu kraj permanentnog magneta povežemo s baterijom, ona će se zbog stvorene elektromagnetske sile pomaknuti u novi položaj. Godine 1821. engleski je znanstvenik Michael Faraday napravio jednostavan stroj u kojem se vodljiva žica (vodič) okretala oko permanentnog magneta. Iako je taj stroj bio krajnje nedjelotvoran i neupotrebljiv za ikakav koristan rad, on je ipak dokazao valjanost načela na temelju kojeg rade svi današnji elektromotori – električna se struja, kad teče vodičima koji se nalaze u magnetskom polju, može upotrijebiti za stalno pokretanje. U današnjim elektromotorima ne nalazimo pojedinačne žice, nego snažne elektromagnete, i oni su mno-

◀ ▶ **Michael Faraday (lijevo) napravio je velika otkrića o odnosu elektricитета i magnetizma. U njegovu "unipolarnom" generatoru (desno) između polova elektromagneta se okretao jednostavan bakreni disk i pritom se – između osovine i oboda – inducirao napon, jer je to zapravo vodič koji se giba u magnetskom polju.**

go djelotvorniji u proizvodnji kontrolirane i korisne električne snage.

Ørsted je pokazao da elektricitet može proizvesti magnetsko polje, no Faraday je pomislio da bi se možda i magnetsko polje moglo iskoristiti za proizvodnju struje. On je to prvi put demonstrirao godine 1831. kad je proizveo napon pomicanjem štapićastog magneta u svitku žice. On je, osim toga, pokazao i da je rezultat isti bez obzira na to pomičemo li magnet ili svitak. To je važno otkriće našlo svoju primjenu u modernim generatorima: od dinam na biciklu pa sve do velikih električnih generatora koji proizvode struju za naše domove, trgovine, urede i tvornice.

