

Milan S. Kovačević  
PMF Kragujevac

## **ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA – 5 OGLEDA**

U ovom tekstu pod naslovom **Elektromagnetska indukcija – 5 ogleda**, najpre se ističe značaj demonstracionog ogleda u nastavi fizike. Potom je dat opis pet karakterističnih ogleda pomoću kojih se pojava elektromagnetne indukcije može učiniti očiglednom. Svaki ogled podrazumeva opis potrebne aparature, način demonstriranja i objašnjenje uočene fizičke pojave. Prikazane su šeme ogleda, a takođe su date fotografije ogleda koji su realizovani u laboratoriji za nastavna sredstva fizike u Institutu za fiziku Prirodno-matematičkog fakulteta u Kragujevcu. Ogledi su odabrani tako da ne zahtevaju komplikovanu aparaturu, jednostavni su i njihova priprema ne zahteva previše materijalnih izdataka.



## 1 Ogled u nastavi fizike

Fizički ogled ili eksperiment, predstavlja izazivanje pojave koja se proučava pod naročito podešenim uslovima, koji mogu da se kontrolšu i menjaju, a koji su najpodesniji za njeno posmatranje i proučavanje. Značaj ogleda u nastavi fizike je i u tome što se pri njegovom izvođenju uči i navikava da se iz posmatranih pojava izdvajaju najbitnija, suštinska obeležja. Karakter eksperimenta i metodika njegove primene moraju da sadrže u sebi i neke posebne kvalitete. Oni moraju da budu povezani sa opšte-tehničkim i svestranim razvojem interesa i aktivnosti učenika. Danas u nastavi fizike ogled ima sledeće oblike: Demonstracioni ogled; Frontalne laboratorijske vežbe i Fizički praktikum.

## 2 Demonstracioni ogled

Osnovno sredstvo očiglednosti u nastavi fizike je fizički nastavni ogled. Demonstraciju ogleda u nastavi fizike ne treba smatrati kao dopunu usmenog izlaganja gradiva već kao njegov nerazdvojni organski deo. Demonstracioni ogled uglavnom izvodi nastavnik, a jednovremeno ga posmatraju svi učenici razreda. U izvođenje demonstracionih ogleda, pored nastavnika, potrebno je da budu uključeni i učenici. Svrha demonstracionog ogleda je u tome da se formira jedan oblik formalnog mišljenja, koji se naziva eksperimentalno mišljenje, tj. mišljenje koje se sreće pri izvođenju eksperimenata kada treba da se otkrije sve ono što može da utiče na neku pojavu i što dovodi do neke pojave. Činjenica je da su učenici više zainteresovani za realne pojave i objekte nego za apstraktne opise. Oni više vole ono što mogu da vide, nego ono što treba da zamišljaju. Više vole ono što je u pokretu nego što je statično. Zato demonstracioni ogledi čine nastavu zanimljivijom i interesantnijom. Demonstracioni ogled se primenjuje u onim slučajevima kada nastavnik mora aktivno da usmerava tok misli učenika pri objašnjavanju neke pojave ili zakona fizike. Demonstracija ogleda je aktivan proces koji je uvek usmeren aktivnom cilju. Demonstrirajući pojavu nastavnik rukovodi čulima i percepcijama učenika i na osnovu njih formira pojmove i ubeđenja. Demonstriranje ogleda se uvek kombinuje sa izlaganjem, što je neophodan uslov za uspešno formiranje pojmova o fizičkoj pojavi koja se prikazuje ogledom. Demonstracioni ogled se uglavnom primenjuje pri izlaganju novog gradiva metodom pričanja, objašnjavanja ili dijaloškom metodom. Ciljevi demonstracionog ogleda mogu da budu različiti:

- Posmatranje fizičke pojave koju treba proučiti na datom času.
- „Otkrivanje” nekog zakona fizike ili ilustracija zakona do koga se došlo teorijskim putem ili na drugi način.
- Upoznavanje učenika sa praktičnom primenom neke pojave ili zakona.
- Upoznavanje učenika sa metodama izvođenja ogleda.

Posebno mesto imaju ogledi na osnovu kojih se formiraju najvažniji pojmovi u fizici ili ogledi na osnovu kojih se dolazi do objašnjenja suštine nekog zakona ili neke teorije u fizici. Značajnu ulogu u nastavi fizike imaju ogledi koji imaju za cilj objašnjenje rada nekog tehničkog uređaja ili aparata kao i objašnjenje fizičke suštine nekog tehnološkog procesa. Jedan od osnovnih zadataka demonstriranja oglada je pokazivanje fizičke pojave s kvalitativne strane, ali to ne znači da treba sasvim izolovati kvantitativno određivanje ili merenje veličine karakteristične za pojavu koja se posmatra i proučava. Naprotiv, kadgod je moguće treba vršiti kvantitativnu analizu pojave. Demonstracioni ogled na časovima nastave fizike ima pedagoški značaj samo onda ako je očigledno i ubedljivo izvedem i kad kod učenika izaziva utisak na koji je nastavnik i računao. Osnovni metodološki zahtevi za demonstriranje oglada su sledeći:

- dobra vidljivost,
- sigurno izvođenje,
- besprekoran rad uređaja ili aparata,
- dostupan uzrastu učenika,
- organski povezan sa nastavnim gradivom.

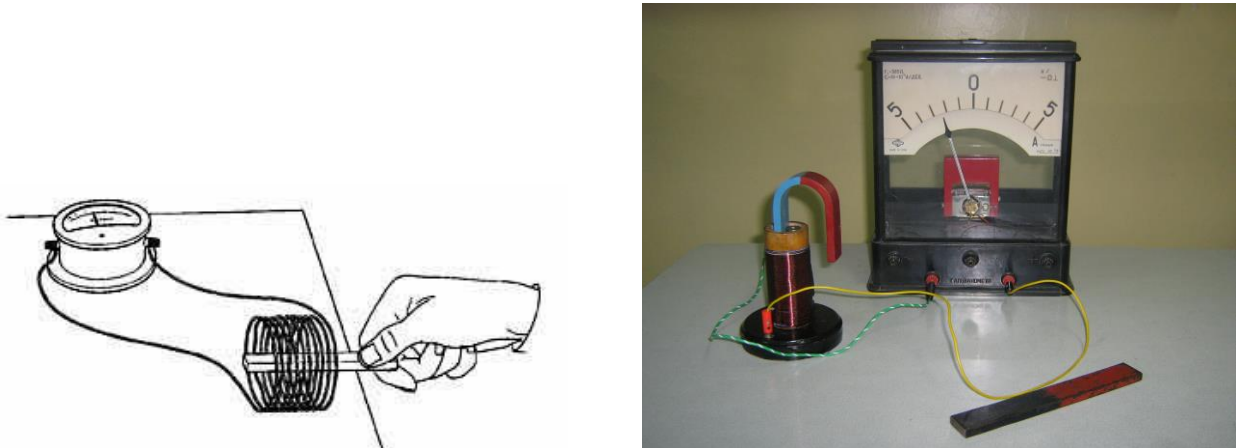
Pored toga, ogled ne treba da traje suviše dugo, mora da ima vaspitno i estetsko dejstvo, načnu tačnost i mora da bude ubedljiv. Demonstracioni ogledi treba da se izvode i na časovima utvrđivanja gradiva, a potrebno je težiti da određeni ogled izvode po mogućnosti svi učenici naročito ako je jednostavan za izvođenje i ne zahteva komplikovanu aparaturu. Na ovaj način se učenici navikavaju na samostalnost u radu i oslobađaju se straha od nepoznatog. Zbog svega navedenog ogled ima ogroman značaj u nastavi fizike. Predstavlja osnovu za usvajanje pojmova i predstavlja očiglednu metodu za sticanje novih znanja iz fizike.

Pomoću sledećih pet oglada demonstriraćemo kako i pod kojim uslovima se javlja elektromagnetska indukcija. Ako kabinet za fiziku nije dovoljno opremljen, ogledi iz elektromagnetske indukcije mogu se izvoditi i raznim priručnim sredstvima, koje nastavnik može da nabavi uz pomoć svojih učenika. U sledećim paragrafima biće opisani ogledi, potreban pribor i instrumenti koji su potrebni za pojedine ogleda kao i način njihovog izvođenja.

## OGLED 1

**Potreban pribor:** magnet, kalem, galvanometar i kablovi (žice).

Šema i fotografija ogleda je prikazana na Slici 3.1.



SLIKA 3.1: Magnet, kalem i galvanometar.

**Tok ogleda:** Najpre pomoću kablova spojiti kalem na galvanometar. Uzmemo jedan magnet i držmo ga iznad kalema nepomerajući ga. Očigledno je da se u ovom slučaju ništa ne dešava. Posle ovoga jedan kraj (pol) magneta uvlačimo celom dužinom u kalem sa dosta navoja izolovane žice. Primećujemo da u tom trenutku kazaljka galvanometra skrene (otkloni) na jednu stranu. Dolazimo do zaključka da se pri kretanju magneta u kalem indukuje struja. Skretanje igle galvanometra u jednu stranu pri uvlačenju magneta, odgovara jednom smeru indukovane struje u žici zavojnice. U trenutku kada prestanemo pomerati magnet, kazaljka galvanometra ponovo zauzme nulti položaj tj. jačina indukovane struje postane jednaka nuli. Kad magnet počnemo izvlačiti iz zavojnice primećujemo ponovo otklon kazaljke ali ovaj put u suprotnu stranu, što odgovara suprotnom smeru struje kroz žicu zavojnice. Kada magnet pustimo da miruje, u zavojnici struja ne teče i kazaljka galvanometra ostaje na početnom (nultom) položaju. Dakle, samo kada se magnet kreće kroz zavojnicu, u zavojnici se indukuje elektromotorna sila (napon) i kroz kalem teče indukovana struja. Ista pojava bastaje ako magnet miruje, a kalem njemu primičemo ili odmičemo. Do elektromagnetne indukcije u kalem dolazi usled promene magnetnog fluksa kroz navoje kalema. Dekle, indukovana e.m.s. biće

$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

gde je  $N$  ukupan broj navoja na kalem, a  $\Delta\Phi / \Delta t$  označava promenu magnetnog fluksa kroz jedan navoj kalema. Lako se zaključuje da u slučaju kada magnet miruje,  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$ , nema promene

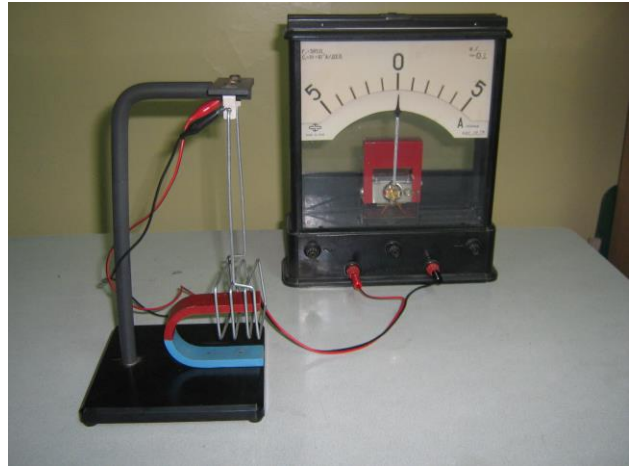
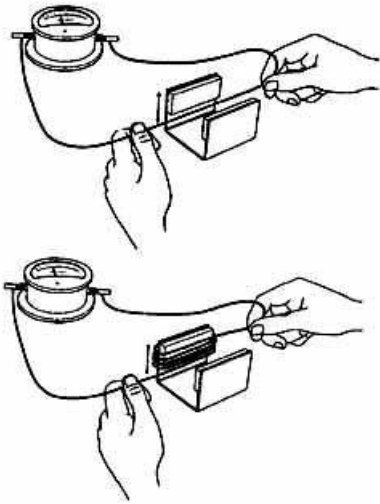
magnetnog fluksa, pa je  $\mathcal{E} = 0$ . Bitno je napomenuti, a to se lako i demonstrira, što zavojnica ima veći broj navoja i što brže pomeramo magnet to je jača indukovana struja (primećuje se veći otklon kazaljke galvanometra).

Ovaj ogled pokazuje osnove pojave elektromagnetne indukcije, i na ovom principu se može proizvoditi električna struja. Nakon izvođenja ogleda, možemo zadati za domaći učenima da razmišljaju kako bi izračunali količinu naelektrisanja koje protekne kroz kalem, ako jačinu indukovane struje izmerimo pomoću mikrompermetra.

## OGLED 2

**Potreban pribor:** magnet, bakarna žica i galvanometar.

Šema i fotografija ogleda je prikazana na Slici 3.2.



**SLIKA 3.2:** Kretanje provodnika u magnetskom polju

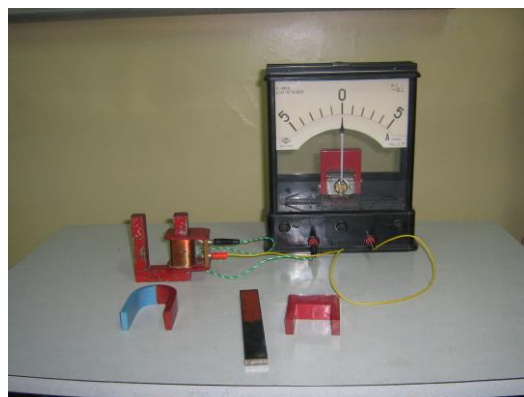
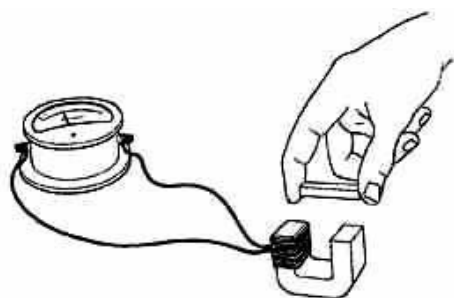
**Tok ogleda:** Najpre bakarnu žicu spojimo sa osetljivim galvanometrom. U prvom slučaju u magnetnom polju između polova magneta pomičemo bakarnu žicu. U drugom slučaju od žice pravimo zavojnicu i nju tada pomeramo u magnetnom polju potkovičastog magneta (Slika 3.2).

Šta zapažamo? Otklon kazaljke galvanometra nastaje samo u slučaju kada se provodnik kreće u magnetnom polju. Što brže pomeramo provodnik u odnosu na magnet, to je otklon igle galvanometra veći. Otklon kazaljke galvanometra menja smer; kada provodnik pomeramo na dole kazaljka skreće u jednom smeru, a kada provodnik izvlačimo na gore, kazaljka skreće u suprotnom smeru. Zapažamo da je efekat skretanja puno veći u slučaju kada smo od žice napravili zavojnicu. Razlog leži u tome što zavojnica većom površinom seče magnetne linije sile, pa je elektromagnetska indukcija izraženija, a samim tim i otklon igle veći. Pojavu indukovane struje u provodniku koji se kreće u magnetnom polju možemo objasniti elektronskom teorijom (videti paragraf 2.1).

### OGLED 3

**Potreban pribor:** Magnet, jezgro od gvožđa u obliku slova C, žica, i galvanometar.

Šema i fotografija ogleda je prikazana na Slici 3.3.



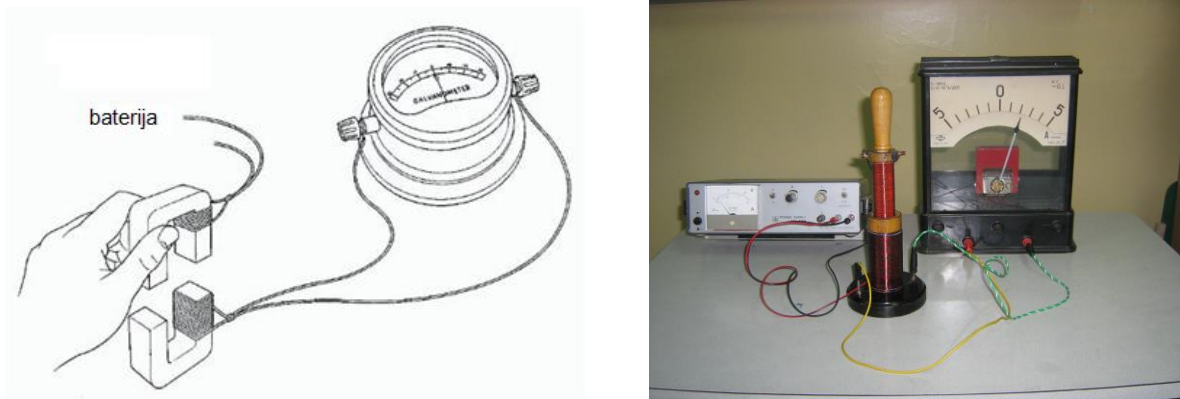
**SLIKA 3.3:** Pokretan magnet u blizini navojaka na gvozdenom jezgru.

**Tok ogleda:** Ogled je vrlo jednostavan. Najpre je potrebno namotati oko 50 navoja žice na gvozdeno jezgro. Krajeve žice spojiti sa osetljivim galvanometrom. Uzmemo jedan magnet i približavamo ga gvozdenom jezgru sa namotajima žice i posmatrajmo šta se dešava. Zapažamo da igla galvanometra skreće u jednu stranu. Kada magnet udaljavamo dešava se da igla galvanometra skreće u suprotnu stranu. Dakle, u žici se indukuje struja usled promene magnetskog fluksa kroz navoje. Skretanje igle u jednu stranu dok približavamo magnet, a u suprotnu stranu kada magnet udaljavamo je u skladu sa Lencovim zakonom. Prilikom izvođenja ovog ogleda treba naglasiti učenicima da se struja indukuje samo u slučaju kada se magnet kreće u odnosu na gvozdeno jezgro sa namotajima. Takođe ukoliko se magnet brže kreće otklon igle galvanometra je veći. Gvozdeno jezgro ima ulogu da pojača magnetsko polje kroz navoje žice.



## OGLED 4

**Potreban pribor:** Dva jezgra od gvožđa u obliku slova C, provodnici (žica), galvanometar i baterija. Šema i fotografija eksperimenta je prikazana na Slici 3.4.



**SLIKA 3.4:** Elektromagnet

**Tok ogleda:** Namotamo žicu oko jedne strane jezgra od gvožđa i spojimo je na galvanometar (prvi namotaj). Na drugo jezgro, takođe, od žice napravimo namotaje i krajeve žice spojimo sa baterijom. Drugo jezgro od gvožđa u ovom slučaju postaje elektromagnet.

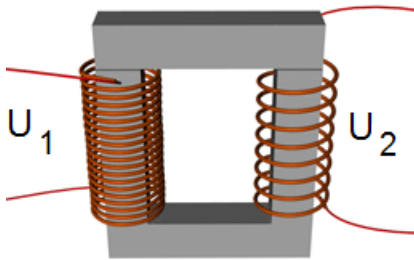
Približavajući prvo jezgro drugom, i obratno, na galvanometru zapažamo skretanje kazaljke. Razlog za ovo je indukovanje napona na prvom namotaju žice. Sada na drugom namotaju koje je spojeno sa baterijom promenimo polove baterije, (odnosno smer struje) i kao rezultat toga dobija se otklon kazaljke galvanometra ali u drugu stranu. Što brže primičemo ili odmičemo elektromagnet, skretanje kazaljke je veće.

Kada se unutar zavojnice kojom teče struja stavimo gvozdeno jezgro, magnetno polje postaje jače, mnogo jače nego magnetno polje zavojnice u kojoj je vazduh. Gvožđe znatno pojačava magnetno polje unutar zavojnice. Zbog tog svojstva zavojnica sa gvozdenim jezgrom se upotrebljava za stvaranje magnetnih polja. Takav uređaj se zove *elektromagnet*. Gvožđe i slične vrste materijala koji imaju svojstvo da pojačavaju magnetsko polje zovu se *feromagnetni*. Sve dok elektromagnetom teče struja, on djeluje kao magnet, a kad isključimo struju, magnetno polje nestaje. Što je struja kroz elektromagnet jača to je jače i magnetno polje. To znači da magnetno polje elektromagneta možemo po volji mijenjati tako da mijenjamo jačinu struje kroz zavojnicu. Elektromagneti se upotrebljavaju mnogim električnim uređajima. Na primjer u telefonskoj slušalici ugrađen je mali elektromagnet koji izaziva vibracije čelične membrane i time proizvodi zvuk. Primer su takođe i velike magnetne dizalice koje služe za dizanje i prienos teških metalnih predmeta.

## OGLED 5

**Potreban pribor:** Transformator, izvor naizmjeničnog napona, voltmetar i žice.

Šema i fotografija ogleda je prikazana na Slici 3.5.



SLIKA 3.5: Transformator

Transformator je uređaj za povećanje ili smanjenje naizmjeničnog napona. Do principa na kojem se zasniva rad transformatora došao je Faradej 1831. godine svojim otkrićem elektromagnetne indukcije. Transformator se sastoji od dva kalema žice, primarnog i sekundarnog, i gvoždenog jezgra na kome su oni namotani. Primarni kalem se priključuje na napon koji treba sniziti ili povisiti, dok se na sekundarni priključuje potrošač. Magnetni fluks kojeg proizvodi struja primarnog kalema obuhvaćen je sekundarnim kalemom. Jezgro transformatora je zatvoreno tako da praktično sav fluks, koji proizvodi struja u primarnom kalemu prolazi kroz sekundarni kalem.

Kada se primar priključi na napon koji treba promeniti, kroz njega protiče naizmjenična struja i u jezgru nastaje magnetski fluks koji se menja u skladu sa promjenama te struje. Usled ovog promenljivog fluksa indukuje se u sekundaru elektromotorna sila iste frekvencije kao što je frekvencija struje u primaru. Ako u sekundarnom kalemu ima  $n_s$  navojaka, onda se u njemu indukuje e.m.s. shodno Faradejevom zakonu elektromagnetne indukcije:

$$E_s = n_s \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

gde je  $\Delta\Phi$  promena fluksa kojeg obuhvata jedan navojak sekundara. Napon na primaru, odnosno e.m.s. samoindukcije indukovana u primaru zavisi od iste promene fluksa

$$E_p = n_p \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

gde je  $n_p$  broj navojaka u primarnom kalemu. Ova e.m.s. je jednaka naponu  $U_p$  na primarnom kalemu u slučaju kada je aktivni otpor primarnog kalema  $r_p$  zanemarljivo mali, pošto je

$U_p = \sqrt{E_p^2 + (r_p I_p)^2}$ . Kada je kolo sekundara otvoreno, napon na sekundarnom kalemu je  $U_s = E_s$ .

Ako su oba uslova ispunjena, iz poslednje dve relacije sledi

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{n_s}{n_p}.$$

Ova relacija se naziva jednačina transformatora. Ona ukazuje kako napon na sekundaru zavisi od napona na primaru u odnosu na efektivne ili maksimalne vrednosti tih napona. Iz jednačine transformatora vidi se da transformator ponišava napon ako je  $n_s$  veće od  $n_p$ , odnosno snižava ga ako je  $n_s < n_p$ . Promena napona transformatorom postiže se, dakle, menjanjanjem broja navojaka sekundara (tačnije menjanjem odnosa  $n_s / n_p$ ).