

# Terenska nastava fizike

---

Podgajski, Vesna

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:722428>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

Vesna Podgajski

TERENSKA NASTAVA FIZIKE:  
ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI  
STUDIJ FIZIKA; SMJER: NASTAVNIČKI

**Vesna Podgajski**

Diplomski rad

TERENSKA NASTAVA FIZIKE:  
ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA

Voditelj diplomskog rada: Doc. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo: 1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2018.

*Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Daliboru Paaru na nesebičnoj pomoći, brojnim savjetima i strpljenju tijekom izrade rada.*

*Zahvaljujem se obitelji, prijateljima i Saši koji su bili uz mene tijekom studija pa tako i podrška prilikom pisanja ovog rada.*

*Najveća zahvala pripada mojim roditeljima i bratu Bojanu. Bez njihove podrške, u svakom smislu te riječi, bi sve ovo bila puno teža misija.*

## Sažetak

Tema ovog rada je terenska nastava fizike. U radu se diskutira o ulozi terenske nastave u suvremenom obrazovanju. Terenska nastava može pojačati vezu između onog što učenici čuju na satu i vide uživo. Učenike se može angažirati da obrade podatke ili napišu rad na temelju iskustva s terenske nastave. Terenska nastava pobuđuje znatiželju, a sjećanja im pomažu održati informacije duže dulje vremena u memoriji. U razredu je prijenos znanja učenicima većinski fokusiran na slušanje. Terenska nastava fokus stavlja na vizualno povezivanje s pojedinim temama, što se pokazuje učinkovito u sjećanju kvalitetnijih znanja. Preduvjet da bi terenska nastava bila učinkovita je edukacija nastavnika. Zato je cilj ovog rada je dati prikaz terenske nastave fizike u Tehničkom muzeju s temom elektromagnetska indukcija. Istraživanja u svijetu pokazuju da je elektromagnetska indukcija učenicima teško razumljiva, odnosno da su prisutne brojne miskoncepcije. Potrebno je razvijati metode kojima bi se unaprijedilo razumijevanje teorijskih i eksperimentalnih koncepata vezanih uz induciranu elektromotornu silu i induciranu struju, električnu energiju, magnetski tok te u konačnici Faradayev zakon elektromagnetske indukcije.

Ključne riječi: suvremeno obrazovanje, terenska nastava fizike, elektromagnetska indukcija.

# **Field education in physics: Electromagnetic induction**

Vesna Podgajski

## **Abstract**

The topic of this diploma thesis is field education in physics. The paper discusses the role of field education in modern education. Field teaching can strengthen the link between what the students hear in school classes and live experience. Students can be motivated to analyze data or write work based on on-field experience. Field teaching increases curiosity, and memories from a field trip help them keep information for a long time in memory. In the classroom, the transfer of knowledge to students is mostly focused on listening. Field teaching focuses on visual connectivity with particular topics, which is shown to be effective in getting better knowledge. Prerequisite for effective field teaching is teacher education. That is why the aim of this thesis is to provide a field education in physics teaching at the Technical Museum with the theme of electromagnetic induction. Studies in the world show that electromagnetic induction is difficult for students to understand, that is, there are numerous misconceptions. There is a need to develop methods to improve the understanding of theoretical and experimental concepts related to induced electromotive force and induced current, electricity, magnetic flux and ultimately Faraday's electromagnetic induction law.

**Key words:** modern education, field education in physics, electromagnetic induction

# Sadržaj

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 PREDNOSTI TERENSKE NASTAVE ZA UČENIKE .....	1
1.2 PREDNOSTI TERENSKE NASTAVE OPĆENITO.....	1
1.3 LOGISTIKA I PLANIRANJE TERENSKE NASTAVE.....	3
1.4 VRIJEDNOST TERENSKE NASTAVE .....	4
<b>2. ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA .....</b>	<b>6</b>
2.1 MEUDJELOVANJE PERMANENTNOG MAGNETA I ELEKTROMAGNETA .....	7
2.2 ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA .....	16
2.3 LENZOVO PRAVILO – ZAKON ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE.....	22
<b>3. INDUKCIJSKI MOTOR .....</b>	<b>26</b>
3.1 JEDNOFAZNI INDUKCIJSKI MOTOR .....	26
3.2 DVOFAZNI INDUKCIJSKI MOTOR .....	29
3.3 TERENSKA NASTAVA U TEHNIČKOM MUZEJU .....	33
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>38</b>
<b>5. LITERATURA .....</b>	<b>39</b>

## **1. Uvod**

Terenska nastava je oblik nastave koji podrazumijeva ostvarivanje i planiranje programskih sadržaja izvan školske ustanove. To može biti jedan školski sat proveden u prirodi, jednodnevni posjet muzeju ili višednevna ekskurzija. Terenska nastava idealan je način za razbijanje rutine klasičnog predavanja u učionicama, a osim toga što ima edukacijsku svrhu za učenike, ima mnogo drugih pozitivnih utjecaja, i na učenike i na profesore. Istraživanja su pokazala da terenska nastava može imati trajni utjecaj na memoriju učenika, u kognitivnom i društvenom kontekstu (Falk & Dierking, 2000).

### ***1.1 Prednosti terenske nastave za učenike***

Terenska nastava može pojačati vezu između onog što učenici uče u učionici i vide uživo. Učenike se može angažirati da obrade podatke ili napišu rad na temelju iskustva sa terenske nastave. Terenska nastava učenicima pobuđuje znatiželju da nauče više o temi, a sjećanja im pomažu održati informacije dulje vrijeme u memoriji.

Učenici za vrijeme terenske nastave imaju priliku vidjeti stvari koje ne mogu vidjeti u učionicama, npr. promatrati biljke ili životinje u zoološkom vrtu ili pak motriti zvijezde uz pomoć teleskopa u zvjezdarnici. Ovo je ležerniji oblik učenja, a ako učenici slušaju predavanje od treće osobe poput kustosa, muzejskog pedagoga, vodiča u centru za posjetitelje u nacionalnom parku ili znanstvenika u laboratoriju, njima će to biti odmak od načina predavanja koje u školi slušaju svakodnevno, a samim time i zanimljivije.

U razredu učenicima je prijenos znanja većinski fokusiran na slušanje. Terenska nastava fokus stavlja na vizualno povezivanje s pojedinim temama, što se pokazuje učinkovito u sjećanju kvalitetnijih znanja.

Unatoč svim spomenutim pogodnostima terenske nastave, mnogo učenika nije svjesno nekog specifičnog cilja terenske nastave te su samim time podsvjesno nepripremljeni za učenje (Storksdieck, 2001).

### ***1.2 Prednosti terenske nastave općenito***

Kako se učenici osjećaju opuštenije izvan učionice, vjerojatnije je da će bolje shvatiti gradivo, pogotovo ako nastavnik procijeni da je gradivo zahtjevnije od uobičajenog. Terenska nastava je dobar način da se ono pojednostavi i bude zanimljivije učenicima.



Puno zanimljivosti nije uključeno u udžbenike te se one mogu doživjeti izvan učionice. Izlaz iz učionica i posjet nekoj drugoj ustanovi ili mjestu daje učenicima mogućnost učenja kako se ponašati u drugoj okolini te ih potencijalno usmjeriti prema pojedinim interesima ili karijeri. U istraživanju provedenom na California State University (Kisiel, 2005) istraživale su se motivacije nastavnika za organiziranje terenske nastave. Identificirane su motivacije nastavnika za organiziranje terenske nastave koje su navedene u Tablici 2.1.

*Tablica 2.1. Motivacije nastavnika za organiziranje terenske nastave*

<b>Motivacija</b>	<b>Opis motivacije</b>	<b>Postotak nastavnika povezan s motivacijom (N=115)</b>
Povezivanje s kurikulumom	Nastavnici vide terensku nastavu kao mogućnost povezivanja gradiva s kurikulumom ili kao priliku za proširivanje istog	90%
Izlaganje učenika novim iskustvima	Prilika da učenici vide nešto novo i neuobičajeno, osobito oni koji to nemaju prilike inače	39%
Pružanje šireg iskustva učenja	Nastavnici smatraju da terenska nastava može biti nezaboravno iskustvo učenja	30%
Poticanje interesa i motivacije kod učenika	Nastavnici vide terensku nastavu kao događaj koji potiče znatiželju, interes i motivaciju kod učenika	18%
Pružanje promjene okoline učenicima i razbijanje rutine	Nastavnici vide terensku nastavu kao promjenu okoline i izlaz iz rutine	17%
Promicanje cjeloživotnog učenja	Nastavnici terensku nastavu vide kao priliku da učenici shvate da se proces učenja može zbivati izvan škole, među prijateljima i obitelji	13%
Omogućiti učenicima uživanje u terenskoj nastavi ili ih nagraditi istom	Nastavnici prepoznaju da terenska nastava mora biti pozitivno i ugodno iskustvo za učenike	11%
Zadovoljiti očekivanja škole	Od nastavnika se očekuje organiziranje terenske nastave zbog politike škole, pod pritiskom	3%

Najčešća motivacija bila je povezivanje s kurikulumom. Detaljnijom analizom podataka utvrđeno je kako postoje dvije glavne potkategorije te motivacije: steći iskustvo povezano s kurikulumom i steći znanje povezano kurikulumom. Te dvije kategorije se bitno razlikuju. 60% nastavnika koje je kao motivaciju iznijelo prvu kategoriju smatraju kako je terenska nastava način na koji učenici mogu bolje povezati gradivo naučeno na satu i vidjeti u praksi ono o čemu su do sada učili. 30% nastavnika se opredijelilo za drugu kategoriju te smatra kako sama terenska nastava rezultira učenjem učenika nečim novom, odnosno da je terenska nastava sama po sebi izvor

znanja. Nastavnici su se također izjasnili što za njih znači da je terenska nastava bila uspješna (Tablica 2.2). Analiza rezultata sugerira da postoji nekonzistentnost ili nejasnoća poimanja uspješne terenske nastave. Tome ide u prilog činjenica kako je 90% ispitanika navelo da je njihova glavna motivacija za organiziranje terenske nastave povezivanje s kurikulumom, dok je njih samo 23% iznijelo da je povezivanje učeničkih iskustava s terenske nastave s kurikulumom indikator uspješne terenske nastave.

*Tablica 2.2. Indikatori koji nastavnicima ukazuju na uspješno organiziranu terensku nastavu*

<b>Indikatori</b>	<b>Primjeri</b>	<b>Postotak (N=115)</b>
Pozitivno iskustvo	Učenicima je “bilo zabavno”, “bili su uzbuđeni”, “pričali su o izletu”, “nisu htjeli otići”, itd.	61%
Demonstriraju novo znanje	“Učenici su naučili nešto novo.”	41%
Povezuju sa kurikulumom	“Na nastavi se pozivaju na iskustvo stečeno na terenskoj nastavi, raspravljaju o činjenicama koje su naučili na izletu.”	23%
Povećana motivacija i interes učenika	“Svaki izlet u muzeje pokazao bi mi da učenici vole to iskustvo te da ih motivira da nauče više o temi.”	17%
Dobro ponašanje učenika	“Ako vidim da učenici aktivno sudjeluju i uživaju...”, “Učenici sudjeluju cijelo vrijeme...”	17%
Kvaliteta/kvantiteta postavljenih pitanja učenika	“Rasprava... i pitanja koja učenici postavljaju tijekom i nakon pomažu mi da vidim da li je izlet bio uspješan.”, “Učenici mogu bolje formulirati istraživačka pitanja.”	8%
Izlet bez incidenata	“Također, ako nitko od učenika ne bude ozlijeđen ili se izgubi, izlet je prošao uspješno u drugom smislu.”	5%

Također, u nekoliko drugih radova je istaknuto kako nastavnici nemaju izričit i jasan cilj prilikom organiziranja terenske nastave te su stoga bili u nemogućnosti povezati iskustvo sa školskim kurikulumom. Iako studije sugeriraju da terenski izleti imaju potencijal pružiti učenicima iskustvo terenskog učenja, mnogo nastavnika nije svjesno svoje uloge u tom procesu i ne iskoriste puni potencijal cijelog iskustva i takvog načina učenja.

### ***1.3 Logistika i planiranje terenske nastave***

Nastavnici prije realizacije terenske nastave moraju obaviti niz zadataka: tražiti suglasnost roditelja da djeca sudjeluju u terenskoj nastavi, posjetiti lokaciju unaprijed te dogovoriti sa nadležnim osobama što će učenici točno doživjeti i vidjeti, dogovoriti datum posjeta te detaljno organizirati vrijeme u danu (Narbors et al, 2009).

Kako bi se učenici ponašali u skladu s našim očekivanjima, prije izleta potrebno je s njima organizirati raspravu gdje će svi doprinosti stvaranju pravila kojih će se držati kao npr. da nije dozvoljeno odvajanje od grupe. Ukoliko je potrebno od učenika sakupiti novčani iznos da se pokrije dio troškova, nastavnik se treba pobrinuti da to na vrijeme bude sakupljeno. Najvažnije je pobrinuti se za sigurnost djece i osim pomnog planiranja spomenutog, nastavnici su dužni skupiti potrebnu medicinsku dokumentaciju o učenicima koji imaju ikakvih zdravstvenih problema. Ključne stvari vezane uz sigurnost su (Martin & Seevers, 2003)

- ponijeti pribor za prvu pomoć (flasteri, dezinfekcijski pribor, antiseptička krema), rezervne boce vode, plastične vrećice, kabanice ili kišobrane, rezervni telefon ili bateriju za isti
- odabrati osobu koja će biti u blizini, isticati se i koju će učenici lako prepoznati ako se odvoje od grupe
- organizirati posebni angažman za djecu s posebnim potrebama
- svakom učeniku dodijeliti prijatelja s kojim je u paru.

Između ostalog, većina zemalja zakonskim propisima i aktima propisuje načine provođenja terenske nastave kojih se je potrebno pridržavati. Tako u Hrvatskoj imamo „Pravilnik o izvođenju izleta, ekskurzija i drugih odgojno obrazovnih aktivnosti izvan škole“<sup>1</sup>.

#### ***1.4 Vrijednost terenske nastave***

Organiziranje terenske nastave iziskuje puno angažmana od strane profesora: sama organizacija, detaljno planiranje dana, vrijeme pripreme s učenicima prije samog izleta, vrijeme odvojeno za diskusije, rasprave i povezivanje iskustva s kurikulumom te na kraju veliku odgovornost nastavnika koji sudjeluju na terenskoj nastavi. Iako se za terensku nastavu treba odvojiti više vremena nego za odrađivanje nastavne jedinice, treba uzeti u obzir kako učenicima iskustvo terenske nastave pruža mnogo više od obrade nastavnog sadržaja u školskim klupama.

Treba istaknuti i da organizacija terenske nastave u obližnji muzej, park ili institut nije jednako zahtjevna kao onaj koja se odvija u drugom gradu i traje cijeli dan. Prvo navedeni oblik nastave ima male troškove, odnosno može biti besplatan za djecu dok

---

<sup>1</sup> Pravilnik o izvođenju izleta, ekskurzija i drugih odgojno-obrazovnih aktivnosti MZOS (NN 67/2014), [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_06\\_67\\_1280.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_06_67_1280.html)

se troškovi ulaznica mogu pokriti od strane škole ili lokalne zajednice. Taj oblik je pogodan da se izvodi tijekom redovite nastave. Suvremeno obrazovanje ističe vanučioničku nastavu kao jedan od najučinkovitijih oblika nastave. To znači da bi se učenici mogli prošetati na 3 sata do obližnjeg muzeja gdje bi mogli odslušati npr. sat fizike, sat biologije i sat povijesti.

## 2. Elektromagnetska indukcija

1820. godine danski fizičar Hans Christian Ørsted (1777–1851) eksperimentalno je utvrdio da električna struja stvara magnetsko polje. U slavlom pokusu pokazao je da se propuštanjem struje kroz ravni vodič, igla magnetskog kompasa koji se nalazi u blizini vodiča zakreće okomito na vodič, dakle da naboj u kretanju proizvodi magnetsko polje. Ørstedovo otkriće potaknulo je razvoj područja fizike koje danas zovemo elektromagnetizam. Kako je Ørsted pokazao da struja proizvodi magnetsko polje, istraživači su se počeli pitati da li je moguće obrnuto, da se struja proizvede pomoću magnetskog polja. 1831. godine britanski fizičar i kemičar Michael Faraday (1791 – 1867) izveo je pokus u kojem je puštao struju kroz zavojnicu. Otkrio je da se u drugoj zavojnici koja se nalazi u brzini prve inducira električna struja. Zaključio je da se električna struja može proizvesti promjenom magnetskog polja. Faradayevo otkriće potaknulo je škotskog fizičara Jamesa Clerka Maxwella (1831 – 1879) na razvoj jedne od najvažnijih temeljnih teorija u fizici – elektromagnetske teorije koja je pored ostalog dovela do spoznaja da je svjetlost elektromagnetski val. Primjena elektromagnetizma dovela je do brojnih suvremenih tehnologija i uređaja koje koristimo danas.

Istraživanja pokazuju da je elektromagnetska indukcija učenicima teško razumljiva, odnosno da su prisutne brojne miskoncepcije (Gunstone, 2008). Brojni učenici ne razumiju razliku između Coulombovog električnog polja i induciranog električnog polja koja proizlazi iz neadekvatne analogije krugova istosmjerne struje i inducirane elektromotorne sile. Učenička znanja ne uključuju ključne odnose dane Maxwellovim jednadžbama, niti kvantitativno niti kvalitativno. Općenito se javlja problem povezivanja matematičkih oblika s kvalitativnim reprezentacijama. Čak i istraživanja među studentima inženjerskih i fizikalnih studija pokazuju velike probleme u razumijevanju ove tematike (Guisasola et al. 2011, Zuza et al. 2014). Stručnjaci ističu važnost vertikalnog učenja elektromagnetizma od osnovne do srednje škole (Vercellati, 2012). Pojedine intervencije u učenju nemaju učinak ako se ne radi na konstrukciji vertikalnog učenja. Ključno je da eksperimentalna istraživanja prilagođena dobi učenika budu centralni elementi u konstrukciji modela. Treba uspostavljati korelaciju između trenutnih znanja i novih iskustava uz izgradnju učenicima razumljivih modela (Tural&Tarakçı, 2017). Istraživanja u Hrvatskoj i Sloveniji potvrđuju da srednjoškolski učenici koji uče fiziku tradicionalnim pristupom imaju nedostatke u temeljnom

razumijevanju osnovnih koncepata elektromagnetizma što onemogućava razumijevanje složenog fenomena elektromagnetske indukcije (Jelicic et al., 2017).

Stoga je u školama potrebno razvijati metode kojima bi se unaprijedilo razumijevanje teorijskih i eksperimentalnih koncepata vezanih uz induciranu elektromotornu silu i induciranu struju, električnu energiju, magnetski tok te u konačnici Faradayev zakon elektromagnetske indukcije. Primjena elektromagnetske indukcije je najšire vezana uz električne generatore i transformatore.

U srednjoškolskim udžbenicima principi rada generatora i elektromotora su šturo pokriveni, no osnovni koncepti su vrlo dobro razrađeni (Andreis et al., 2003, Kulišić, 1996). U udžbenicima za 8. razrede osnovne škole također je pokrivena elektromagnetska indukcija (V. Paar, S. Martinko, 2012, V. Paar, 1999, Beštak Kadić et al., 2009). Pokusi i radni listići u nastavku rada su prilagođeni učenicima srednjih škola koji mogu samostalno donositi zaključke na temelju već stečenog znanja, no ti isti pokusi se mogu upotrijebiti u osnovnoj školi za upoznavanje učenika s pojavom elektromagnetske indukcije i razumijevanjem iste na manje kompleksnoj razini.

Za razumijevanje daljnjeg teksta podrazumijeva se da su usvojeni koncepti elektrostatike i elektrodinamike te osnovni koncepti magnetizma.

### ***2.1 Međudjelovanje permanentnog magneta i elektromagneta***

Razumijevanje makroskopskog magnetizma koji proizlazi iz mikroskopskih kretanja naboja je složena tematika koja je ključna za daljnje razumijevanje elektromagnetske indukcije. Kao i u drugim temama fizike, važno je da učenici na temelju eksperimentalnih opažanja usvajaju fizikalne koncepte. U ovom istraživački orijentiranom pokusu učenici trebaju usvojiti temeljni koncept: magnetizam može biti posljedica mikroskopskog stanja materijala (permanentni<sup>2</sup> magnetizam) ili stvoren pomoću kretanja naboja (elektromagnetizam). Učenici trebaju naučiti da obje vrste magnetizma (koje mikroskopski imaju isto porijeklo) makroskopski pokazuju ista svojstva – u svojoj okolini stvaraju magnetsko polje koje dovodi do interakcije između magneta ili interakcije s nabojima u kretanju (magnetska sila).

---

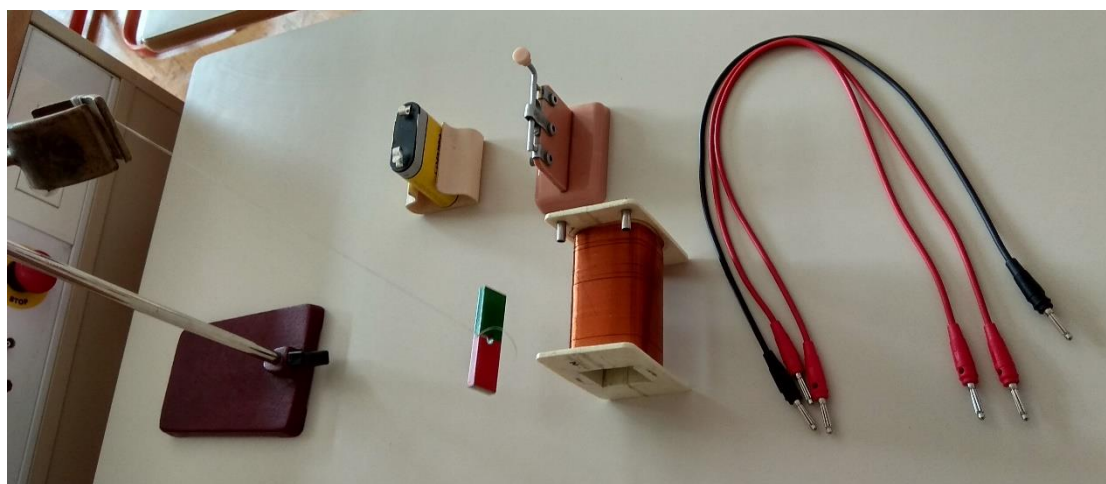
<sup>2</sup> Terminologiju koja se uvodi u fizici na različitim razinama treba maksimalno pojednostavniti. Fokus treba biti na razumijevanju koncepata i praktičnim znanjima i vještinama. Na primjer, izraz permanentni magnetizam mogao bi se zamijeniti izrazom stalni magnetizam.

Princip konstrukcije elektromagneta je vrlo jednostavan. U ovom pokusu učenici konstruiraju elektromagnet te se uvjeravaju da on ima slična svojstva kao permanentni magnet. Uz ovaj pokus učenicima se priča o primjeni elektromagneta, činjenici da se njima mogu proizvesti puno jača magnetska polja i da se oni zato često primjenjuju u praksi.

Osim same teme pokusa, u okviru njegove izvedbe učenici prolaze niz fizikalnih koncepata – pojmovi napona, električnog otpora, električne struje, Ohmov zakon te razumijevanje pojedinih elemenata strujnih krugova – baterija, otpornik, zavojnica. Uz to stječu se praktične vještine vezane uz shematski prikaz strujnih krugova i njihovu implementaciju u praksi. Iako niz tih tema učenici prolaze u drugim dijelovima kurikulumu, koncept suvremenog obrazovanja je da se bitna znanja i vještine stječu sustavnim učenjem na različitim razinama. To znači da je dobro da se važne teme i koncepti ponavljaju više puta u kurikulumu.

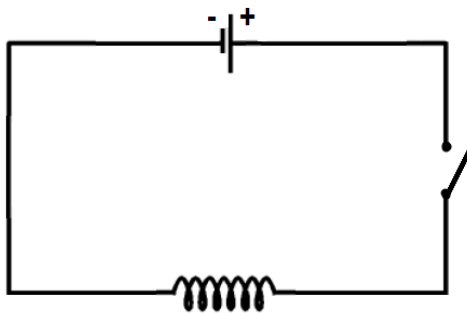
### **Upute za izvedbu pokusa**

Eksperimentalni postav: zavojnica, plosnati magnet, izvor istosmjerne struje (baterija 4.5 V), 3 vodiča, prekidač, stalak, nit.



*3.1. Eksperimentalni postav za ispitivanje međudjelovanje permanentnog magneta i elektromagneta*

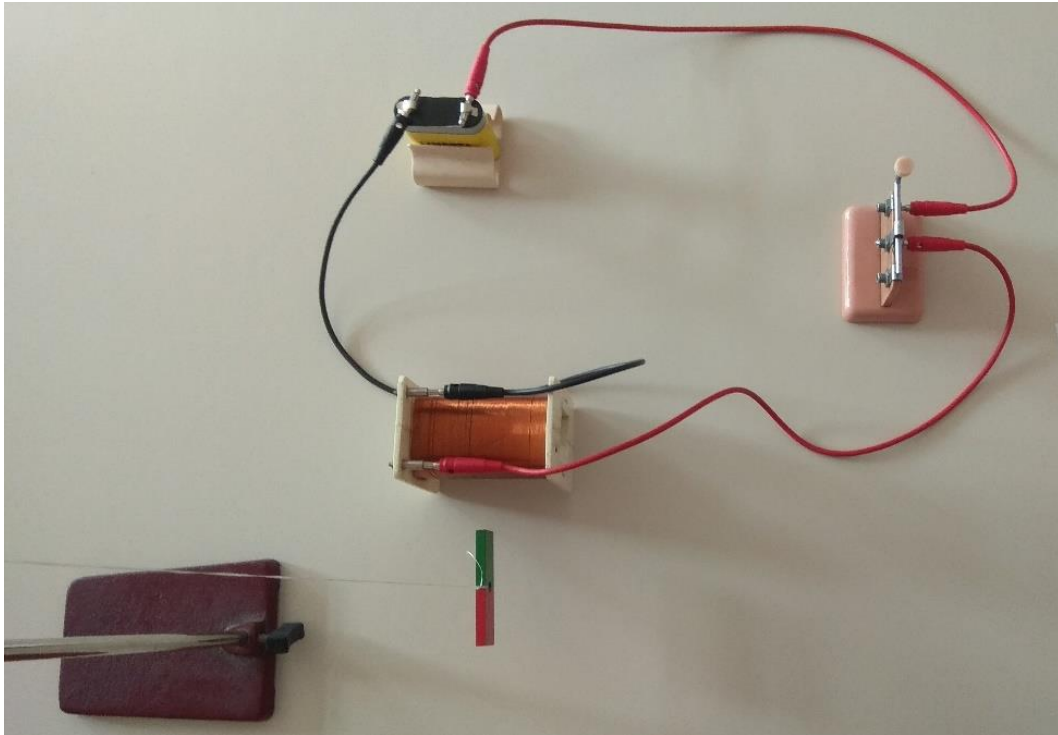
Zavojnicu, izvor i prekidač spojimo u strujni krug kako je prikazano na shemi na slici 3.2.



*Slika 3.2. Shema za spajanje eksperimentalnog postava. Oprez! Zavojnica mora imati dovoljno veliki električni otpor. U protivnom u seriju treba spojiti dodatni električni otpornik.*

Spojimo postav kao na slici i u blizinu zavojnice postavimo plosnati magnet koji slobodno visi pričvršćen s niti na stalak i stoji okomito na zavojnicu kao na slici 3.3. Prije spajanja strujnog kruga prema shemi s učenicima je potrebno diskutirati koncept električnog otpora i njegovu ulogu u strujnom krugu na slici. Iako nije naznačeno na shemi, podrazumijeva se da zavojnica ima odgovarajući električni otpor. U slučaju da zavojnica ima mali broj zavoja, odnosno ima vrlo mali električni otpor (usporediv sa električnim otporom vodiča kojima spajamo elemente u strujnom krugu) napraviti ćemo nešto što nije dopušteno – kratki spoj. Učenike treba naučiti zašto je opasno kratko spojiti polove baterije (ili npr. kontakte u utičnici kod kuće). Uslijed kratkog spoja može doći do pregrijavanja, zapaljenja ili eksplozije baterije. Iz tog razloga dobro je da ovom pokusu prethodi pokus s mjerenjem električnog otpora zavojnice ili on treba biti naveden uz samu zavojnicu. Nastavnik treba učenicima reći koji red veličine električnog otpora je prihvatljiv za spajanje u strujni krug (bez drugih otpornika). Učenici trebaju izmjeriti ili pročitati u specifikaciji električni otpor zavojnice prije spajanja u strujni krug.

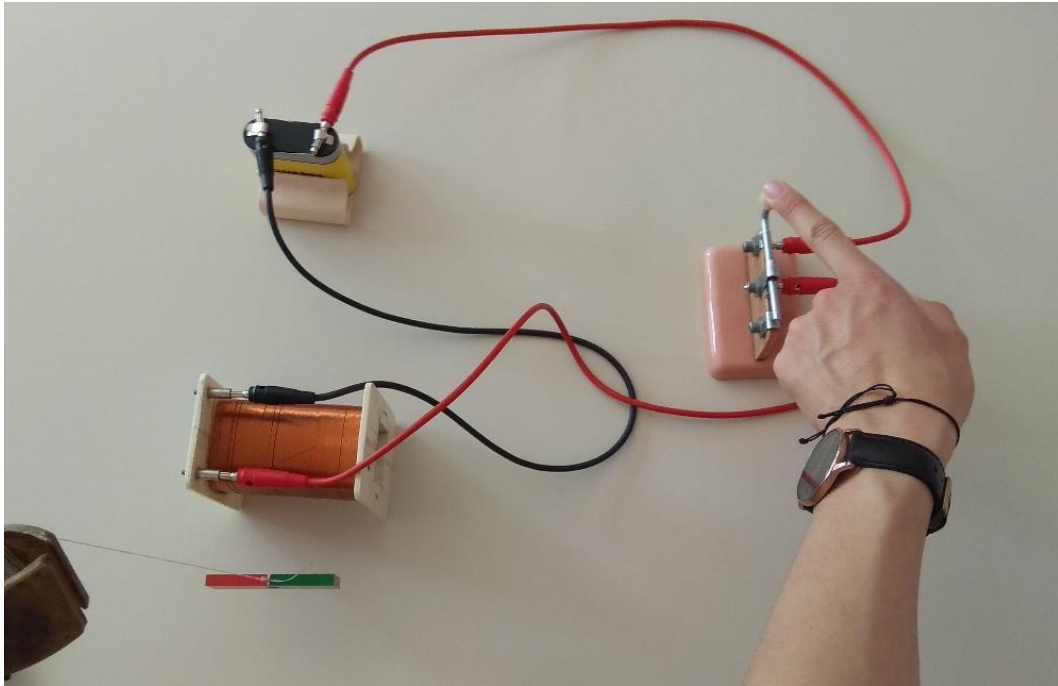




*Slika 3.3. Eksperimentalni postav prije zatvaranja strujnog kruga*

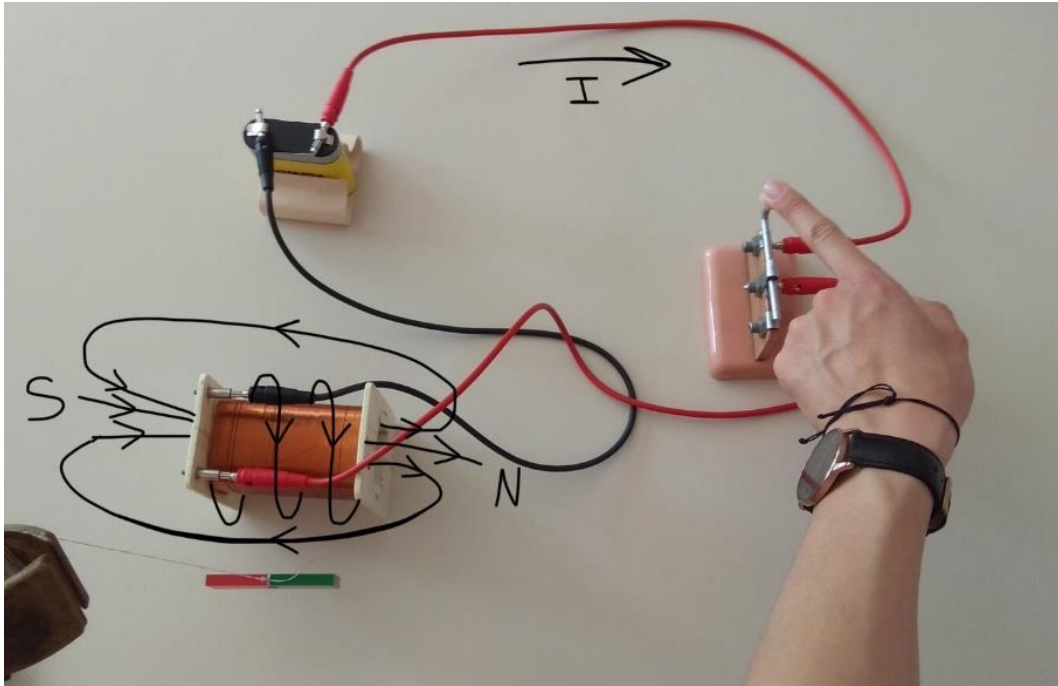
Sada zatvorimo strujni krug prekidačem i promatramo što se događa s magnetom. Učenici otkrivaju da se propuštanjem struje kroz zavojnicu javlja sila koja zakreće permanentni magnet u blizini. Učenici mogu istraživati s paljenjem i gašenjem prekidača te mijenjanjem orijentacije zavojnice u odnosu na magnet. Najvažniji koncept koji učenici trebaju usvojiti je činjenica da propuštanje struje kroz zavojnicu utječe na magnet u blizini – to treba rezultirati zaključkom da se zavojnica ponaša kao magnet isto kao i permanentni magnet. Taj koncept treba dovoljno naglasiti kako bi ostao učenicima u trajnom sjećanju.

U slučaju da je u početnom trenutku magnet postavljen okomito na zavojnicu, može se vidjeti da se poravna paralelno sa zavojnicom zakrećući se desno (3.4).



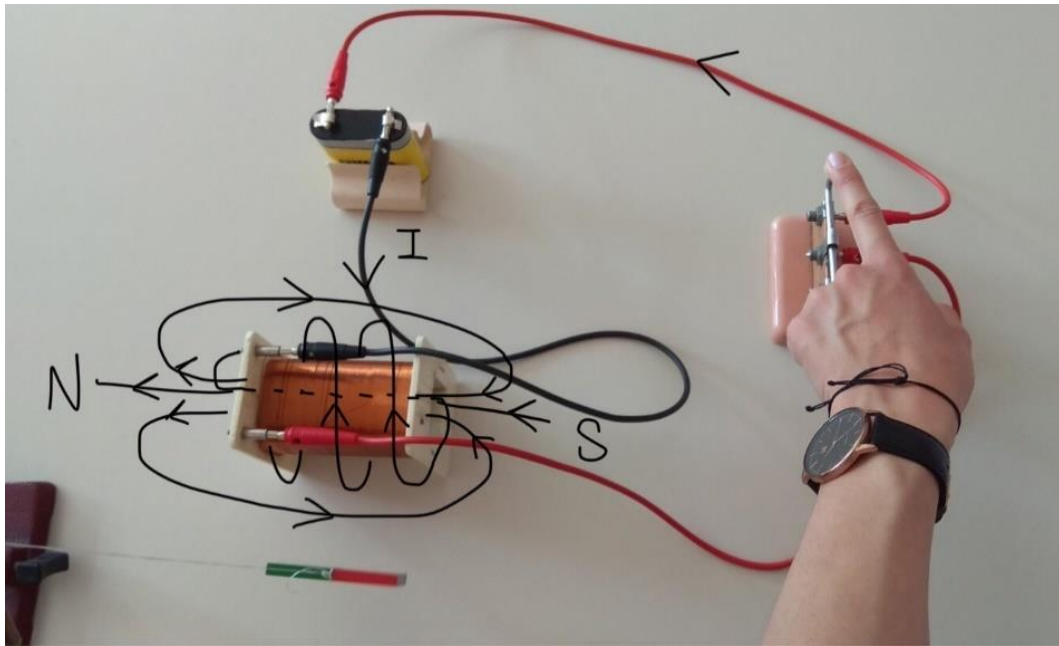
*Slika 3.4. Eksperimentalni postav nakon zatvaranja strujnog kruga*

Magnet se poravnao sa zavojnicom zato što se orijentirao u smjeru silnica magnetskog polja zavojnice. Promotrimo sada detaljnije silnice magnetskog polja koje se formiraju unutar i van zavojnice (Slika 3.5). Smjer struje i namotaji zavojnice prikazani su na slici. Smjer silnica zavojnice odredili smo pomoću pravila desne ruke: ako omotamo prste šake desne ruke tako da pokazuju smjer kruženja struje u zavojnici, ispruženi palac pokazuje smjer magnetskog polja. Učenicima pojasnimo da je magnetsko polje unutar zavojnice najjače i približno homogeno. Zato krajevi zavojnice imaju ulogu sjevernog (N) i južnog (S) magnetskog pola, ekvivalentno magnetskim polovima permanentnog magneta.



*Slika 3.5. Prikaz silnica magnetskog polja zavojnice. Da bi odredili smjer magnetskog polja učenici trebaju odrediti smjer struje u strujnom krugu odnosno kroz zavojnicu.*

Vidimo kako se zavojnica, ako kroz nju teče struja, ponaša kao magnet. Možemo zaključiti kako zeleni dio plosnatog magneta odgovara južnom magnetskom polu – pošto ga privlači sjeverni pol elektromagneta, a crveni kraj magneta odgovara sjevernom magnetskom polu jer je privučen sjevernim polom elektromagneta. Ako sada promijenimo polove baterije, odnosno promijenimo smjer struje, magnet će se zakrenuti i postaviti paralelno sa zavojnicom, ali u suprotnu stranu nego u prvom slučaju – lijevo. To i skicu silnica pri tako spojenim elementima vidimo na slici 3.6.



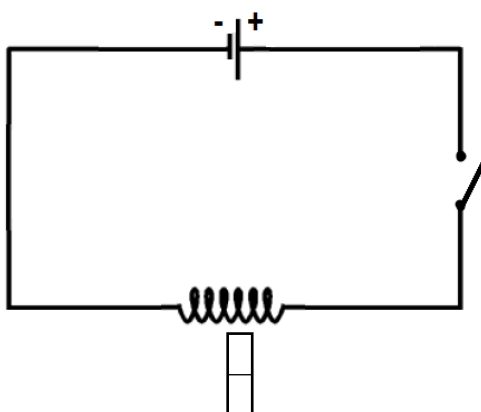
*Slika 3.6. Prikaz silnica magnetskog polja zavojnice*

U nastavku se nalazi radni listić pomoću kojeg učenici samostalno izvode pokus i bilježe svoja opažanja i zaključke ako se pokus izvodi kao dio istraživačke nastave prije posjeta Tehničkom muzeju. Učenici pokus mogu izvesti i u Tehničkom muzeju prije samog razmatranja elektromotora te u tom slučaju pitanja s radnog listića mogu poslužiti za navođenje učenika na razmišljanje i samostalno zaključivanje. Ova druga opcija je bolja u smislu da učenici tijekom terenske nastave aktivno sudjeluju u izvedbi nastave.

## MEĐUDJELOVANJE PERMANETNOG MAGNETA I ELEKTROMAGNETA

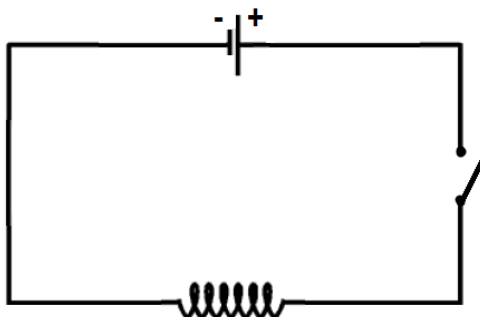
Eksperimentalni postav: zavojnica, plosnati magnet, izvor istosmjerne struje (baterija 4.5 V), 3 vodiča, prekidač, stalak, nit.

1. Spojite strujni krug kako je prikazano na shemi. Magnet objesite pomoću niti na stalak i namjestite postav tako da magnet visi pored zavojnice, okomito na zavojnicu.



Hoće li uključivanje strujnog kruga utjecati na magnet i na koji način? Proverite uključivanjem strujnog kruga.

2. Što uzrokuje zakretanje magnetu?
3. Odredite i skicirajte smjer magnetskog polja zavojnice (unutar i izvan zavojnice). Objasnite kako ste to odredili.



4. Što će se dogoditi s magnetom ako promijenimo smjer struje? Provjerite uključivanjem strujnog kruga. Objasnite.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
5. Kako se ponaša zavojnica kad kroz nju teče struja?

*Radni listić 1. Ispitivanje svojstava elektromagneta*

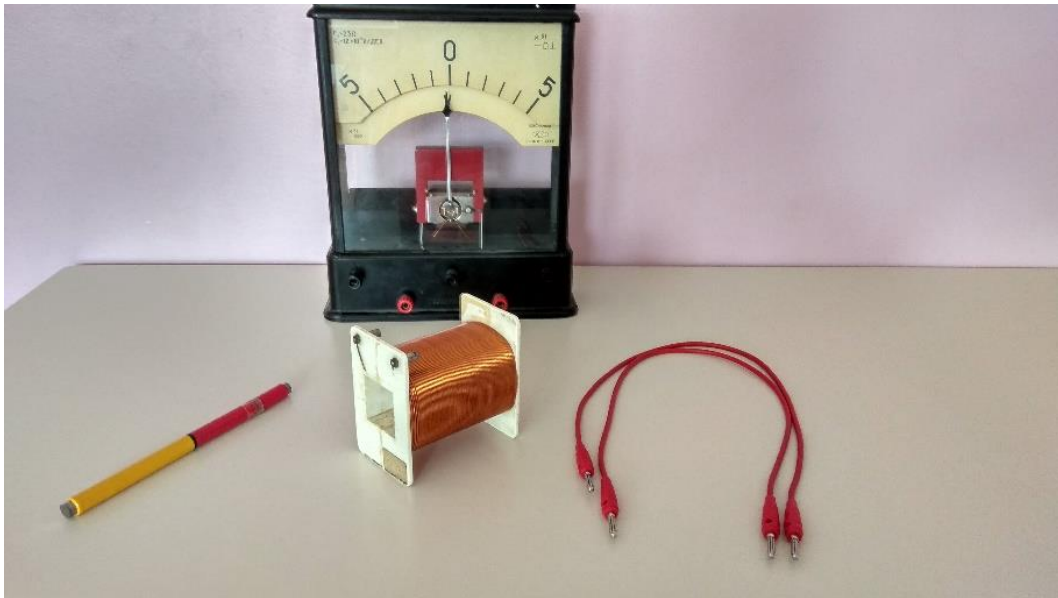
## 2.2 Elektromagnetska indukcija

Cilj ovog pokusa je rekonstruirati istraživanje Michaela Faradaya iz 1831. godine. Kako je prije navedeno, nakon Ørstedovog eksperimentalnog otkrića 1820. godine da električna struja u okolini stvara magnetsko polje, postavilo se pitanje da li je moguće obrnuto, da se struja proizvede pomoću magnetskog polja. Faraday je to demonstrirao jednostavnim pokusom, uvodeći pri tome koncepte inducirane električne struje, odnosno inducirane elektromotorne sile (Faradayev zakon).

Značaj ovog pokusa je ogroman. Njime su zaokruženi eksperimentalni okviri elektromagnetizma (struje generiraju magnetska polja, a magnetska polja u određenim uvjetima induciraju struje) koji su omogućili daljnji razvoj teorijskih okvira koji su u upotrebi i danas (Maxwellove jednačbe elektrodinamike). Iz toga je proizašlo razumijevanje jedne od temeljnih sila u prirodi – elektromagnetske sile<sup>3</sup>.

### Upute za izvedbu pokusa

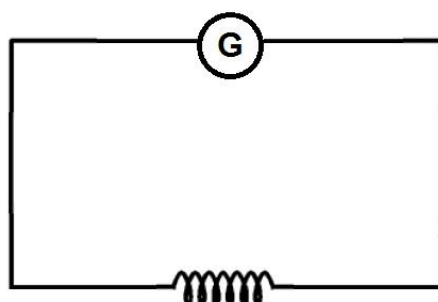
Eksperimentalni postav: galvanometar, zavojnica, štapićasti magnet, 2 vodiča.



Slika 3.7. Eksperimentalni postav za ispitivanje pojave elektromagnetske indukcije

<sup>3</sup> Elektromagnetska (Lorentzova) sila koja je teorijski opisana 1864. godine, sastoji se od električne i magnetske komponente. Ona je druga po jakosti sila u prirodi, odmah iza jake nuklearne sile (koja drži nukleone u atomskoj jezgri na okupu). 1968. godine pokazano je da je ona dio još temeljnije (fundamentalnije) sile – elektroslabe sile koja se može manifestirati u obliku elektromagnetske i slabe nuklearne sile. Elektroslaba sila danas je uz gravitacijsku i jaku nuklearnu silu jedna od 3 temeljne sile u prirodi.

Galvanometar i zavojnicu spojimo u strujni krug kako je prikazano na slici 3.8. Učenici trebaju shvatiti da u ovom krugu nema baterije, odnosno stalnog izvora elektromotorne sile, dakle očekivani otklon na galvanometru je 0. Osim toga treba im se pojasniti koncept galvanometra i veličine koju on mjeri. Ovisno o poziciji u strujnom krugu i dodatnom otporniku, galvanometar može imati ulogu voltmetra ili ampermetra. Kao što se vidi na slici, naznačena je mjerna jedinica  $V$  što sugerira da je galvanometar u ulozi voltmetra, dakle njime mjerimo pad napona (elektromotornu silu) na krajevima zavojnice<sup>4</sup>.



Slika 3.8. Shema za spajanje eksperimentalnog postava

Pokus izvodimo tako da duž osi zavojnice, u samu zavojnicu uvlačimo magnet, a potom ga izvlačimo iz zavojnice. Učenici mogu ustanoviti da kada magnet uvlačimo u zavojnicu, kazaljka galvanometra se otklanja u jednu stranu, što znači da zavojnica predstavlja izvor elektromotorne sile s pozitivnim predznakom (3.9.a)). Pri izvlačenju magnetu kazaljka galvanometra se otklanja u suprotnu stranu pa zaključujemo da zavojnica predstavlja izvor elektromotorne sile suprotnog, negativnog predznaka (3.9. b)).

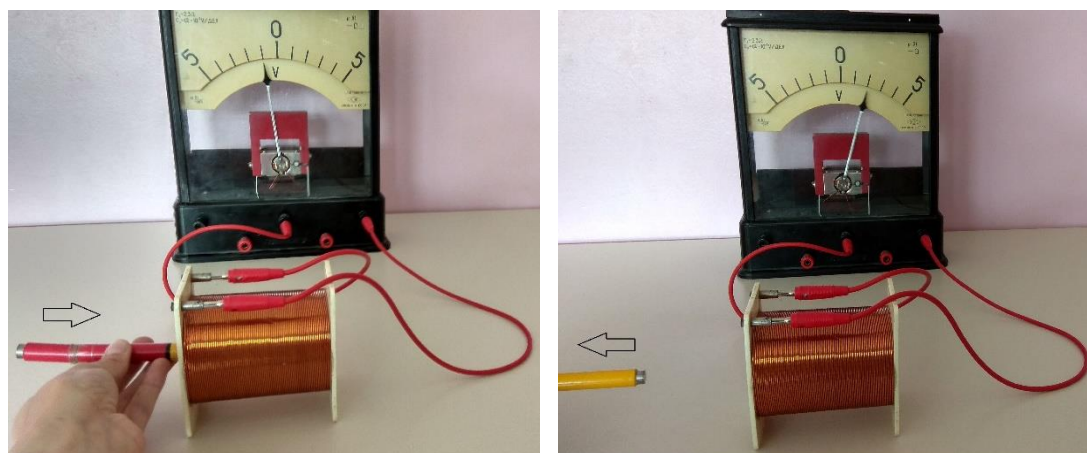
U ovom trenutku s učenicima treba prodiskutirati važnost ovog pokusa. Bez ulaska u daljnje detalje ovaj pokus predstavlja ključni dokaz da magnetsko polje, odnosno njegova promjena može inducirati elektromotornu silu, odnosno inducirati struju. Pojednostavljeno rečeno, učenici trebaju shvatiti da je Ørsted pokazao da naboj u kretanju (električna struja koja se sastoji od elektrona u kretanju) stvara u okolini magnetsko polje, dok je ovim pokusom Faraday pokazao obrnuto: promjena

---

<sup>4</sup> Istraživanja u svijetu pokazuju da je razumijevanje strujnih krugova, Ohmovog zakona, elektromotorne sile i drugih vezanih pojmova vrlo teško i da većina učenika to ne uspije u potpunosti savladati. Učenici na pamet nauče osnovne relacije, ali pojave konceptualno ne razumiju. Zbog toga je istu tematiku potrebno više puta diskutirati u okviru različitih fizikalnih tema, pa tako i u ovom slučaju. Sa učenicima treba ponoviti što je to električna struja, kako funkcionira strujni krug i što je električni otpor.



magnetskog polja inducira kretanje električnih naboja (kretanje elektrona – električnu struju).

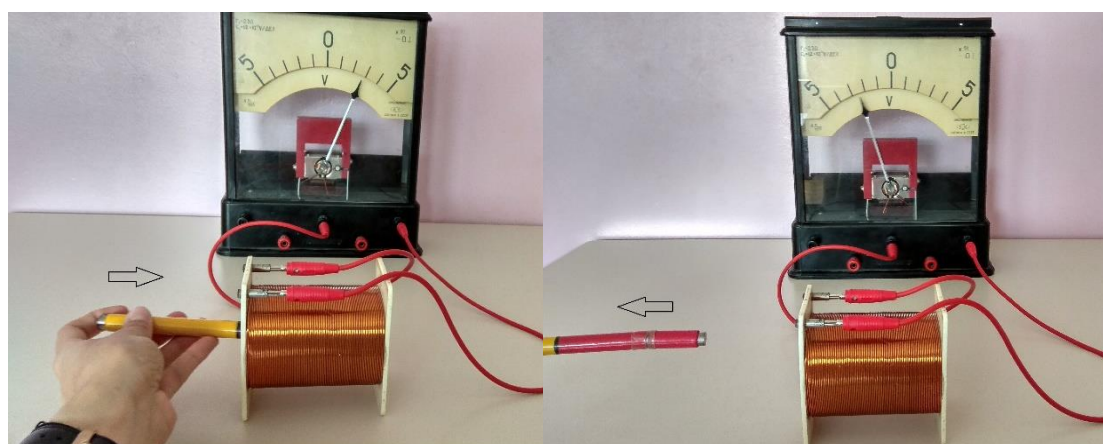


a)

b)

*Slika 3.9. Otklanjanje kazaljke galvanometra pri a) ulasku magneta u zavojnicu b) izvlačenjem magneta iz zavojnice*

Ako okrenemo štapičasti magnet, također ćemo uočiti otklanjanje kazaljke galvanometra, ali u suprotnom smjeru ( slika 3.10 a i b ).



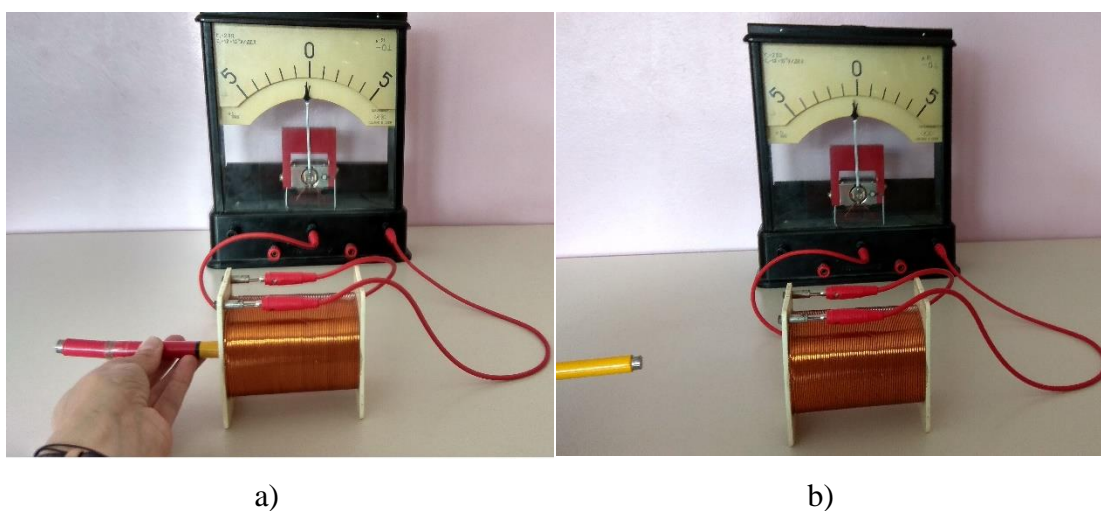
a)

b)

*Slika 3.10. Otklanjanje kazaljke galvanometra pri a) ulasku magneta u zavojnicu b) izvlačenjem magneta iz zavojnice*

Isti učinak se postiže ako magnet miruje, a pomičemo zavojnicu. Ovo je važan pokus uz koji možemo diskutirati o relativnosti gibanja, što je jedan od važnih koncepata u fizici. Za usporedbu, kao primjeri relativnosti mogu se navesti primjeri iz drugih područja fizike, npr. iz mehanike.

Ako magnet miruje unutar (slika 3.11. a) ili izvan zavojnice (slika 3.11. b), kazaljka galvanometra se ne otklanja, odnosno ne inducira se napon na krajevima zavojnice. To vodi do važnog zaključka, da bi imali interakciju između magnetskog polja i naboja, nešto se mora gibati (mijenjati). U Ørstedovom pokusu gibaju se naboji (teče električna struja) što uzrokuje pojavu magnetskog polja, a u Faradayevom pokusu mijenja se magnetsko polje što uzrokuje kretanje naboja (električnu struju).



Slika 3.11. Kazaljka galvanometra se ne otklanja ako a) magnet miruje unutar zavojnice b) magnet miruje izvan zavojnice

Zaključak ovih pokusa je da se gibanjem magneta ili zavojnice inducira razlika potencijala (inducirani napon) na krajevima zavojnice, koju nazivamo elektromotorna sila. Struju u strujnom krugu koja teče zbog induciranja elektromotorne sile zovemo induciranom strujom.

Pojavu induciranja elektromotorne sile nazivamo elektromagnetska indukcija. Istraživanja su pokazala da na iznos inducirane elektromotorne sile utječe promjena veličine koja se naziva tok magnetskog polja  $\phi$ , a koja je definirana kao produkt površine presjeka strujne petlje unutar koje se inducira struja  $S$  i komponente magnetskog polja  $B$  okomite na tu površinu,  $\phi = S \cdot B$ . U slučaju zavojnice površina odgovara površini presjeka zavojnice i ona se ne mijenja. Tada je inducirana elektromotorna sila ovisna o promjeni magnetskog polja do koje dolazi zbog kretanja štapićastog magneta u odnosu na zavojnicu. Kako kod zavojnice, svaki zavoj doprinosi istim iznosom, ukupni iznos inducirane elektromotorne sile u zavojnici proporcionalan je brzini promjene magnetskog toka  $B$  u zavojnici i broja zavoja  $N$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -NS \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Ovo je Faradayev zakon elektromagnetske indukcije, primijenjen na zavojnicu površine presjeka  $S$  kroz koju prolazi magnetsko polje  $B$ . Jedinica za induciranu elektromotornu silu (zvanu i elektromotorni napon) je Volt ( $V$ ). O predznaku ćemo diskutirati u poglavlju o Lenzovom pravilu.

Proporcionalnost s brojem zavoja možemo ilustrirati tako da gore opisani pokus ponovimo s nekoliko zavojnica različitog broja namotaja: kazaljka galvanometra će se više otkloniti kod zavojnica s više namotaja. Učenici mogu pokusom utvrditi da se bržim gibanjem magneta u ili iz zavojnice kazaljka galvanometra jače otklanja.

U nastavku se nalazi radni listić koji, isto kao i u prethodnom pokusu, može biti pomoć učenicima u samostalnom istraživanju.

#### POJAVA ELEKTROMAGNETSKE INDUKCIJE

Eksperimentalni postav: galvanometar, zavojnica I ( $N$  zavoja), zavojnica II ( $M$  navoja ( $M > N$ )), 2 plosnata magneta, 2 vodiča.

1. Spojite zavojnicu I i galvanometar u strujni krug. Pomoću jednog plosnatog magneta istražite što će se dogoditi uvlačenjem magneta u zavojnicu. Zapišite svoja opažanja.
2. Istražite kako ovisi inducirani elektromotorni napon o jakosti magnetskog polja, prvo koristite jedan plosnati magnet, potom dva magneta kojima spojite dva istoimena pola zajedno.

3. Istražite kako ovisi inducirani elektromotorni napon o brzini pomicanja magneta. Zapišite opažanja.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
4. Što se događa s otklonom kazaljke ako zavojnicu I zamijenimo sa zavojnicom II s većim brojem zavoja. Kako ovisi inducirani napon o broju zavoja na zavojnici?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
5. Na temelju izvedenih pokusa, možete li zaključiti o čemu ovisi inducirani elektromotorni napon?

*Radni listić 2. Istraživanje elektromagnetske indukcije*

### *2.3 Lenzovo pravilo – zakon elektromagnetske indukcije*

Uključivanje predznaka minus u fizikalne jednačbe je često prepreka učeničkom razumijevanju, posebice u slučaju Faradayevog zakona elektromagnetske indukcije (Jones, 2003). Zato je ovom problemu potrebno pristupiti s više strana, posebice kroz pokuse.

Lenzovo pravilo dodaje minus (-) u izraz za elektromagnetsku indukciju (1.1). On nam govori da inducirana elektromotorna sila, odnosno inducirana struja imaju smjer takav da stvaraju magnetsko polje koje nastoji spriječiti promjenu magnetskog toka zbog kojeg je i nastala. Lenzovo pravilo možemo jednostavno demonstrirati pokusom koji je opisan u nastavku.



*Slika 3.12. Eksperimentalni postav za demonstraciju Lenzovog pravila*

## Upute za izvedbu pokusa

Eksperimentalni postav: aluminijski prsten, plosnati magnet, stalak, nit o koju je ovješena aluminijski prsten. Na slikama se još nalazi vodič crvene boje koji je ovješena na stalak kao i prsten te služi isključivo tome da se pomak prstena na slikama bolje uoči.

U ovom pokusu moramo imati prsten od relativno dobrog vodiča (kao što je aluminij) i odgovarajućih dimenzija.

Za izradu aluminijskog prstena korištena je lučica kojoj je izvađen vosak i uklonjeno dno, dok su razne konstrukcije s aluminijskom folijom, aluminijskom žicom i bakrenom žicom bile neuspješne. Te činjenice sugeriraju zanimljiv istraživački pokus za učenike gdje oni mogu utvrditi koji materijali i kojih dimenzija su pogodni za vidljivi efekt. Istraživanjem trebaju utvrditi da materijal treba biti dobar vodič, a da na jačinu efekta utječe jakost magnetskog polja samog magneta, električni otpor<sup>5</sup> prstena i njegove dimenzije.

Aluminijski prsten objesimo o nit i pričekamo da se prsten umiri. Gurajući magnet duž osi prstena primjećujemo kako se prsten lagano odmiče od magneta, kao da ne želi da magnet uđe u njega (slika 3.14. a). Ako izvlačimo magnet iz prstena vidimo kako prsten slijedi magnet pri izlasku kao da se opire izlasku magneta (slika 3.14 b).

U oba slučaja u prstenu se inducira elektromotorna sila koja s obzirom da je prsten zatvoren rezultira induciranom kružnom strujom. Lenzovo pravilo nam govori o smjeru tih struja. U slučaju uvlačenja magneta, smjer inducirane struje je takav da ona stvara magnetsko polje koje se suprotstavlja povećanju magnetskog polja unutar petlje na način da je smjer polja suprotan polju magneta (slika 3.15 a). Izvlačenjem magneta smjer inducirane struje, a time i magnetskog polja petlje je suprotan, i ono je orijentirano tako da se suprotstavlja izvlačenju magneta iz petlje (slika 3.15 b).

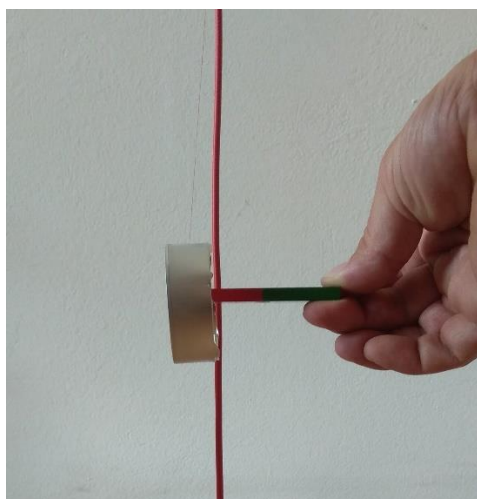
---

<sup>5</sup> Ovo je dobro mjesto za ponavljanje koncepta električne vodljivosti. Manji električni otpor znači veću električnu vodljivost materijala. Elektromagnetska indukcija će imati veći efekt u materijalu koji ima pokretnije elektrone – a to je materijal s većom električnom vodljivošću.

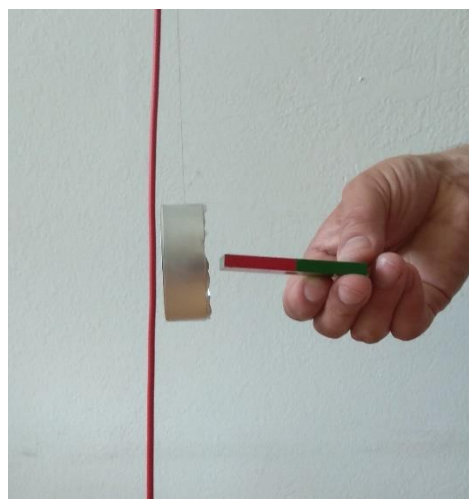




*Slika 3.13. Složeni eksperimentalni postav za demonstraciju Lenzovog pravila*

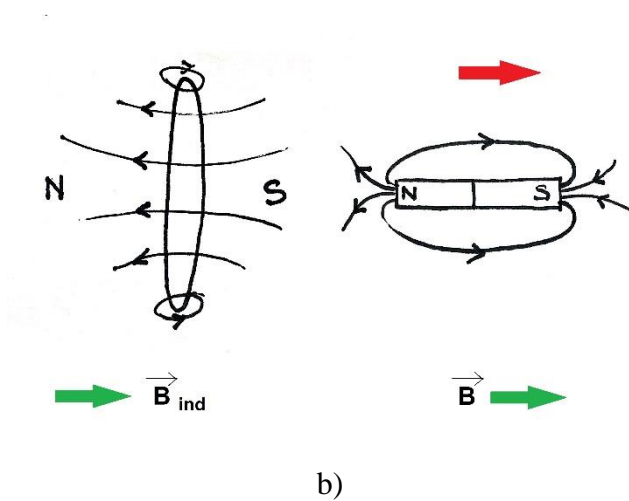
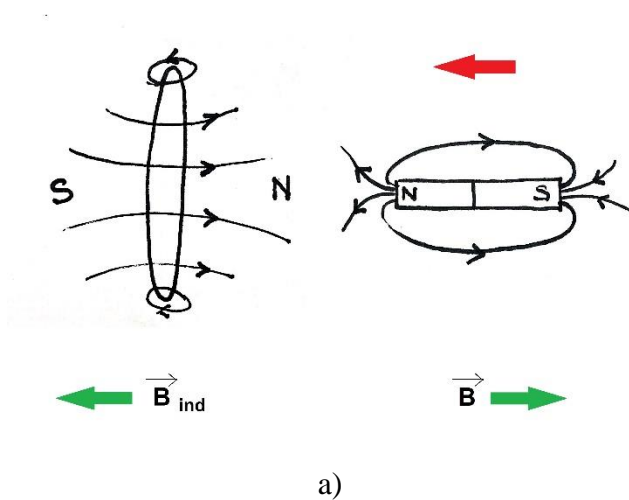


a)



b)

Slika 3.14. Pomicanje prstena prilikom pomicanja magnet.  
 a) magnet uvlačimo u prsten b) magnet izvlačimo iz prstena



Slika 3.15. Skica magnetskog polja i kretanja permanentnog magneta i prstena pri a) ulasku magneta u prsten b) izvlačenju magneta iz prstena



### 3. Indukcijski motor

#### 3.1 Jednofazni indukcijski motor

Tema upoznavanja s indukcijskim motorom predstavlja izazov za nastavnika. Ovisno o razini obrazovnog sustava u kojoj se o temi govori, može se zadržati na fizikalnim osnovama funkcioniranja motora ili ući dublje u detalje funkcioniranja uz kvantitativno razmatranje magnetskih polja i induciranih struja. Terenska nastava, odnosno doticaj sa stvarnim indukcijskim motorom učenicima olakšava savladavanje ove njima vrlo kompleksne tematike.

Istraživanja kognitivnog razvoja djece od rane dobi dovela su početkom ovog tisućljeća do zaključaka da se djecu od rane dobi treba izložiti složeniji temama i konceptima. Ustanovljeno je da djeca od rane dobi mogu razumjeti znanstvene modele. Svaki fizikalni koncept, odnosno uređaj, može se prilagoditi određenoj razini u obrazovnom sustavu. Pokazuje se da nema nikakvih zapreka da se djeci od rane dobi prezentiraju i najsloženiji modeli poput onih iz kvantne fizike. Stoga je tema indukcijskim motora, zbog svoje praktične primjene, pogodna za temu terenske nastave. Pri tome se neovisno o razini, učenicima nastoje kvalitetno prenijeti osnovni fizikalni koncepti, dok razina detalja ovisi o njihovom predznanju i mogućnostima.

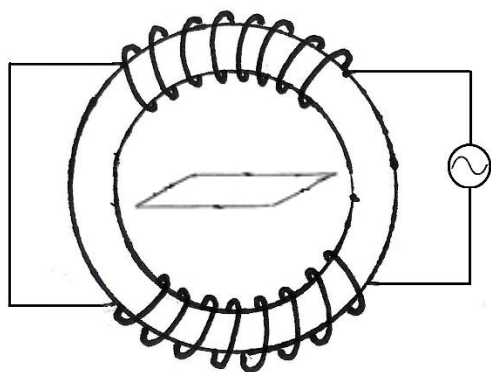
Elektromotor je uređaj koji pretvara električnu energiju u mehaničku. Na koji način se to događa u indukcijskom dvofaznom motoru? Specifičnost indukcijskog motora u odnosu na obični elektromotor je što se električna energija pretvara u mehaničku bezkontaktno na principu elektromagnetske indukcije. Stoga je i sama konstrukcija indukcijskog motora jednostavnija jer možemo izbaciti neke elemente kao što su četkice i komutator.

Indukcijski motor ima dva glavna dijela, stator i rotor kako je prikazano na slici 4.1.



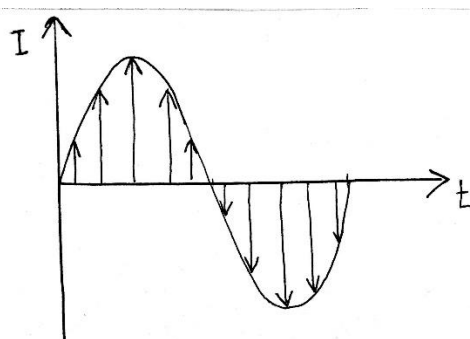
Slika 4.1. Indukcijski jednofazni motor. Preuzeto s (URL1, 2018).

Radi jednostavnosti i lakšeg povezivanja s Teslinim dvofaznim indukcijskim elektromotorom objašnjenim u nastavku, promatramo pojednostavljeni model prikazan na slici 4.2. Dva seta zavojnica namotana su oko željezne kružne jezgre, a u sredini konstrukcije nalazi se petlja načinjena od vodiča. Kroz zavojnice teče izmjenična struja.



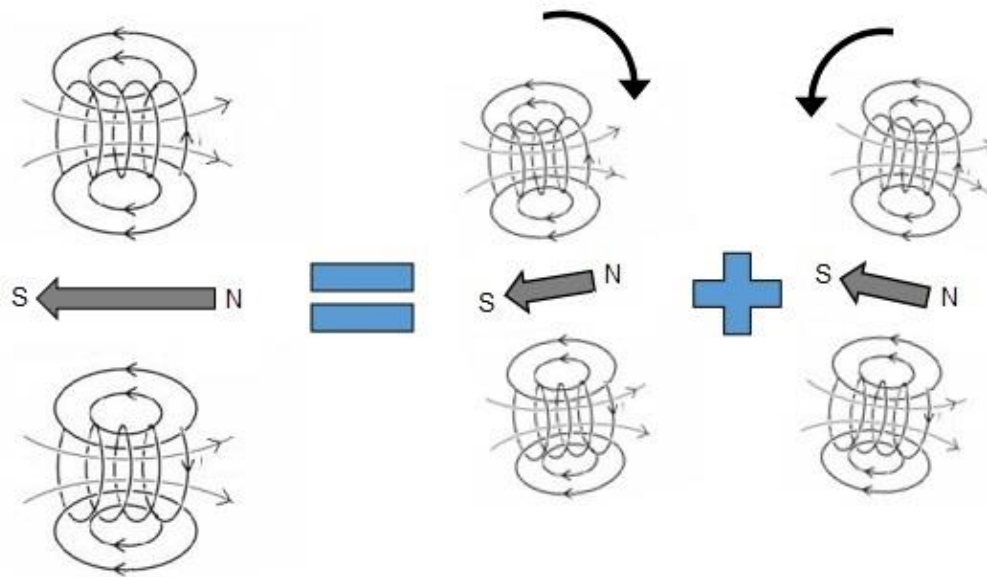
*Slika 4.2. Model jednofaznog motora*

Ako kroz zavojnice prolazi izmjenična električna struja rezultat će biti pulsirajuće/fluktuirajuće magnetsko polje koje je ilustrirano strelicama na grafu ovisnosti izmjenične struje o vremenu (slika 4.3).

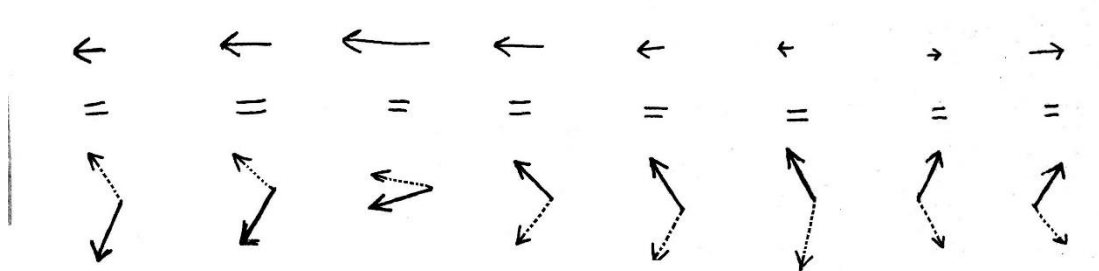


*Slika 4.3. Ilustracija magnetskog polja u zavojnici prilikom prolaska izmjenične struje*

Ako u takvo magnetsko polje postavimo rotor, odnosno petlju od vodiča, koji se već rotira, on nastavlja sa svojom rotacijom u istom smjeru (slika 4.4). Razlog tome je to što pulsirajuće magnetsko polje je ekvivalentno sumi rotacije dva magnetska polja suprotnih polova i upola manje maksimalne magnitude (URL1, 2018).



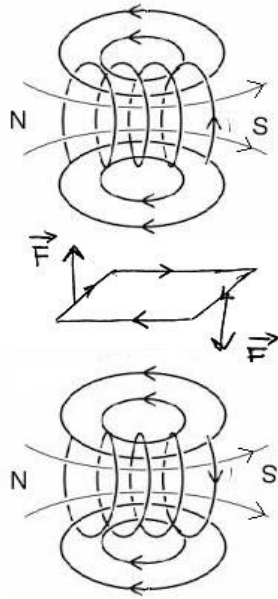
Slika 4.4. Pulsirajuće magnetsko polje je ekvivalentno sumi rotacije dva magnetska polja suprotnih polova i upola manje maksimalne magnitude



Slika 4.5. Pulsirajuće magnetsko polje i ekvivalent – prikazano vektorima

Magnetsko polje je kod rotacijskog (jednog) magnetskog polja promjenjivo pa se stoga inducira struja u petlji (rotoru) zbog elektromagnetske indukcije. U petlji se javlja Lorenzova sila zbog koje se petlja rotira (slika 4.5).

Ako sada pogledamo naš slučaj gdje imamo pulsirajuće magnetsko polje, odnosno dva koja rotiraju u suprotnim smjerovima, ukupni moment sile koji djeluje na petlju rotora je nula i ne dolazi do vrtnje rotora (4.6.). No, ako pokrenemo ručno rotor u jednu stranu, rotor se nastavlja gibati u tu stranu zbog momenta sile koji se javio uslijed ručnog zakretanja rotora.



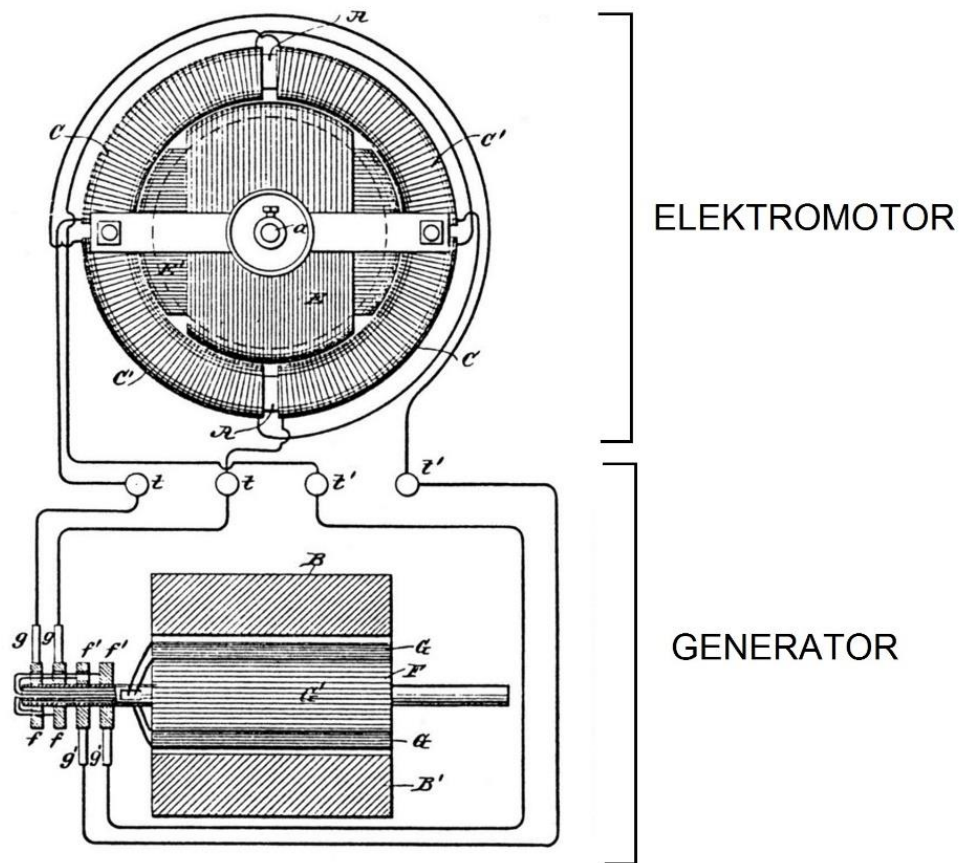
4.6. Sile na mirujuću petlju u rezultatnom magnetskom polju dvije zavojnice kroz koje teče električna struja.

I dalje ostaje problem kako inicijalno pokrenuti rotor, te postoji nekoliko načina na koji to možemo učiniti koje nećemo ovdje diskutirati. Inicijalno pokretanje motora moglo bi se izbjeći ako bih imali samo jedno rotacijsko magnetsko polje i to je upravo postignuto u dvofaznom elektromotoru.

### 3.2 Dvofazni indukcijski motor

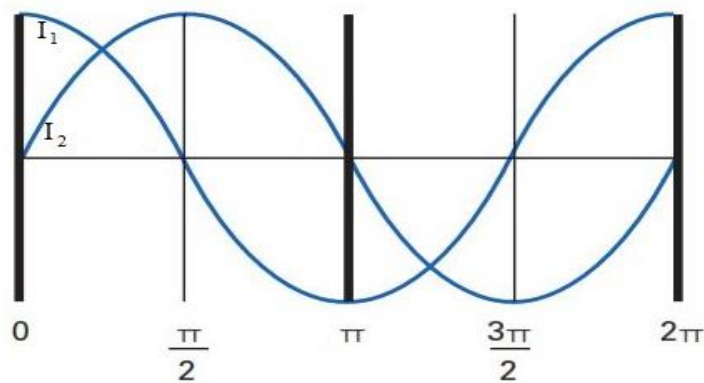
#### Okretno magnetsko polje

Da bi rotor se rotirao unutar konstrukcije statora potrebno je osmisliti konstrukciju koja bi omogućavala okretno magnetsko polje. Za to je zaslužan Nikola Tesla (1856 – 1943) koji je osmislio konstrukciju kao na slici 7. Na slici vidimo shemu indukcijskog elektromotora, no mi ćemo se, za sad, fokusirati samo na stator elektromotora kako bih objasnili okretno magnetsko polje (Tesla, 1888).



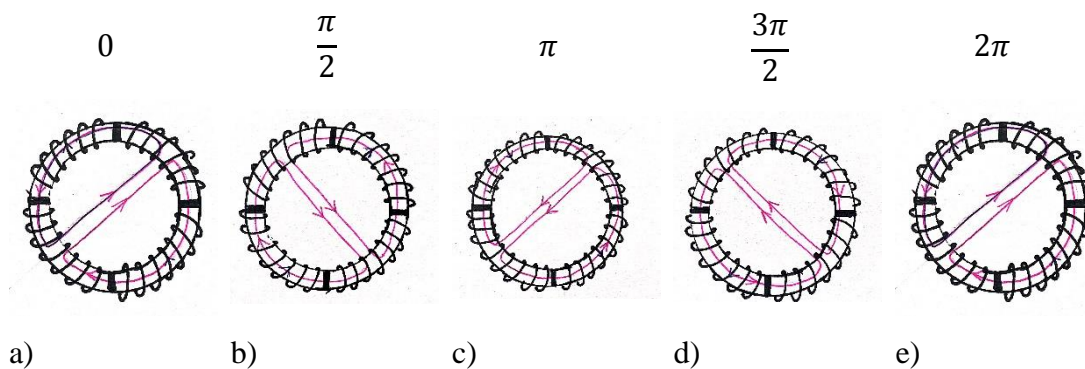
Slika 5.1. Shema Teslinog dvofaznog indukcijskog elektromotora. Preuzeto s (Tesla, 1888).

Na slici 5.1 vidimo elektromotor i dvofazni generator izmjenične struje. Generator generira struju  $I_1$  i  $I_2$  koje su međusobno pomaknute u fazi za  $90^\circ$  kako je prikazano na grafu (slika 5.2).



Slika 5.2. Izmjenične struje  $I_1$  i  $I_2$  u ovisnosti o vremenu generirane u generatoru elektromotora

Elektromotor se sastoji od željeznog prstena na kojem se nalaze dva para zavojnica (četiri zavojnice)  $CCC'C'$  na slici. Jedan par zavojnica spojen je na jednu fazu izmjenične struje  $I_1$  dok je drugi par spojen na drugu fazu  $I_2$ . Kroz zavojnice  $CC$  prolazi struja  $I_1$ , a kroz zavojnice  $C'C'$  struja  $I_2$ . U trenutku 0 vidimo kako je vrijednost struje  $I_1$  maksimalna dok je  $I_2$  jednaka nuli. Tome odgovara skica a) na slici 5.3. Crvenom bojom su označene silnice magnetskog polja. U točki  $\frac{\pi}{2}$  je maksimalna, a  $I_1$  jednaka je nuli te se odgovarajuća skica magnetskog polja na slici 5.3. b). Na slici su prikazani silnice magnetskog polja za ostale točke.



Slika 5.3. Silnice okretnog magnetskog polja

Vidimo kako se ukupno magnetsko polje s vremenom rotira u smjeru kazaljke na satu kako je prikazano na slici iznad. Takvo magnetsko polje nazivamo okretno magnetsko polje. Okretno magnetsko polje je osnovni princip na kojem se zasniva rad indukcijskih motora.

### Teslin indukcijski dvofazni elektromotor

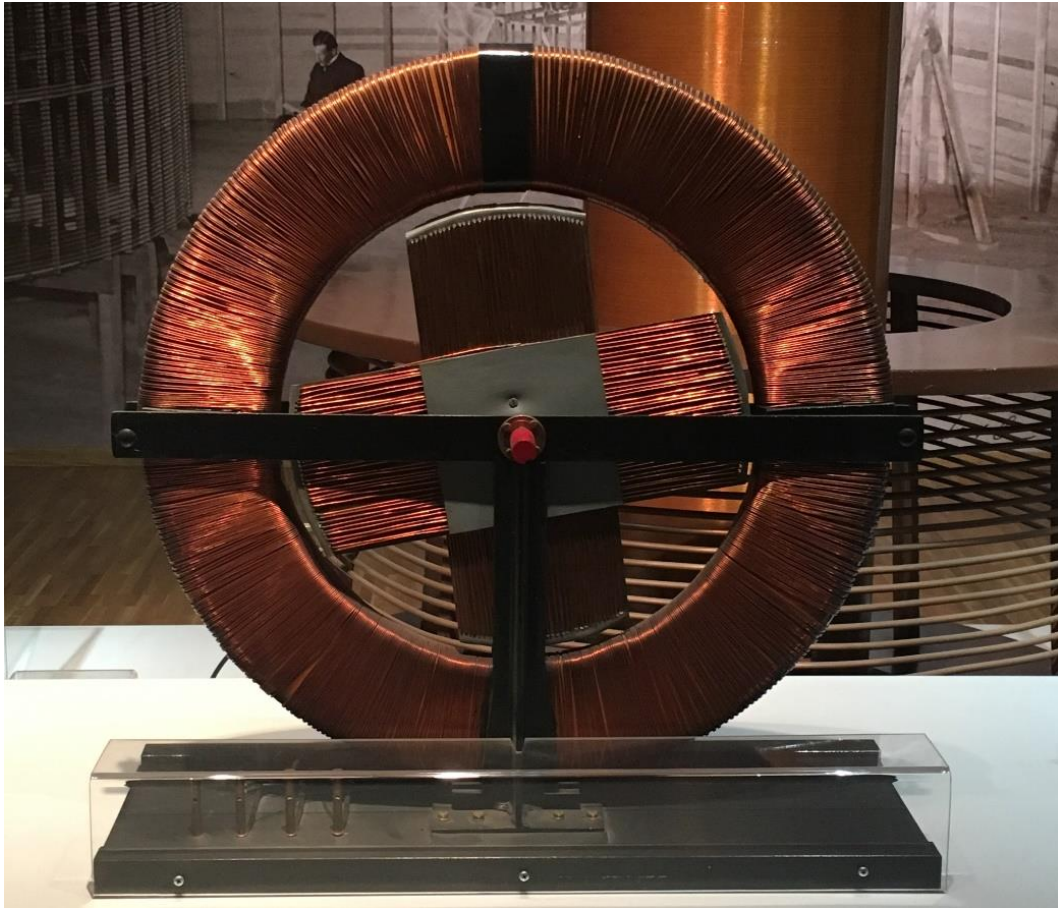
U nastavku ćemo detaljnije objasniti konstrukciju i način rada Teslinog dvofaznog indukcijskog elektromotora čija se shema nalazi na slici 7. Na skici  $M$  predstavlja motor, dok  $G$  predstavlja generator koji pokreće motor. Motor je sastavljen od prstena načinjenog od željeza (točnije, od naslaganih tankih željeznih prstenova kako bi se smanjile vrtložne struje)  $A$  na kojem se nalaze četiri zavojnice od izolirane žice, na skici  $CCC'C'$ . Dijametralno suprotne zavojnice su međusobno povezane tako da u paru sudjeluju u stvaranju magnetskih polova na dijametralno suprotnim stranama.

Generator  $G$  sastavljen je od dva pola magneta  $N$  i  $S$  i cilindričnog tijela  $G$  omotanog sa dvije zavojnice  $B$  i  $B'$ . Zavojnice su povezane osovinom  $a$  sa kontaktnim prstenovima  $gg'g'$  kako je prikazano na slici. Terminali  $ttt't'$  su povezani s motorom žicama na način da se formiraju dva strujna kruga; na primjer jedan koji povezuje zavojnicu  $B$  generatora i  $C'C'$  zavojnice motora. Okretanje armature generatara između magnetskog polja  $NS$  proizvodi u zavojnicama  $B$  i  $B'$  izmjeničnu struju. Zavojnica generatora  $B'$  povezana je s zavojnicama  $CC$  na statoru, a zavojnica  $B$  je povezana s zavojnicama  $C'C$ . Rezultat te povezanosti je magnetizacija prstena  $A$  i nastajanje okretnog magnetskog polja kako je opisano u prethodnom poglavlju.

Unutar statora motora nalazi se rotor koji se sastoji željeznog cilindričnog diska koji je na skici naznačen isprekidanom linijom unutar rotora. Preko diska nalaze se dva seta navoja koji su na krajevima povezani aluminijem, a fizički su postavljeni okomito jedan na drugi:  $E E'$ . U statoru nastaje okretno magnetsko polje koje uzrokuje promjenu toka unutar navoja u rotoru motora. Promjena toka izaziva induciranje elektromotornog napona u navojima i njima teče struja. U navojima se inducira magnetsko polje te navoji postaju elektromagneti. Pozitivni pol elektromagneta privlači negativni pol okretnog magnetskog polja statora i obrnuto te zbog toga dolazi do rotacije  $E$  i  $E'$  seta navoja.

Replika Teslinog dvofaznog indukcijskog motora se nalazi u Tehničkom muzeju „Nikola Tesla“ u Zagrebu (slika 5.4).





*Slika 5.4. Replika Teslinog dvofaznog indukcijskog motora izloženog u Tehničkom muzeju „Nikola Tesla“ u Zagrebu.*

### ***3.3 Terenska nastava u Tehničkom muzeju***

Terenska nastava u Tehničkom muzeju može sadržavati više komponenti koje se mogu prilagođavati ovisno o razini na kojoj se nastava odvija (osnovna ili srednja škola). Optimalno vrijeme za izvedbu nastave bilo bi 2 – 3 školska sata. Nastava treba biti koncipirana na način da se zadrži pažnja učenika, da ih se zainteresira i motivira za temu te da sa sobom kući osim dojmova ponesu i neka nova znanja i vještine. Tehnički muzej kao lokacija terenske nastave otvara nastavniku niz kreativnih mogućnosti izvedbe.

Mogući koncept nastave mogao bi biti sljedeći:

- 1) U prvom dijelu obišao bi se niz atraktivnih točaka u postavu muzeja. Nastavnik bi stvorio opuštenu atmosferu u kojoj bi učenici istraživali što je neobično u



pojedininim izloščima. Nastavnik bi pri tome mogao postaviti nekoliko neobičnih pitanja vezanih uz početke razvoja današnjih tehnologija. Uz pojedine izložke moglo bi se dotaknuti temeljnih fizikalnih principa kako oni funkcioniraju, poput kako roni podmornica ili leti avion.

- 2) U drugom dijelu učenici bi se kroz nekoliko pokusa upoznali sa središnjom temom – elektromagnetskom indukcijom. Dobili bi zadatak koji bi rješavali istraživanjem, eksperimentiranjem i iznošenjem zaključaka na radnim listićima, na način kako je to prikazano u 3. poglavlju.
- 3) Sada učenicima prezentiramo kompleksniji uređaj, Teslin dvofazni induksijski motor (4. poglavlje). Objašnjenje funkcioniranja motora temelji se na učeničkim istraživanjima iz prethodnog koraka, koja se proširuju tehničkim detaljima izvedbe. Kako tehnički detalji ponekad budu dosadni, posebna pažnja u prezentaciji posvećuje se zanimljivim detaljima izvedbe, pričama kako je Tesla do njih došao. Posebnost priči daje genijalnost Teslinog uma, koja se može djeci prezentirati na uzbudljiv i motivirajući način. Tesla je u svoje vrijeme genijalnim idejama riješio važne probleme svog vremena. Djeci treba prenijeti dio te atmosfere i naglasiti činjenicu da i danas postoje važna pitanja koja moraju riješiti iduće generacije istraživača.

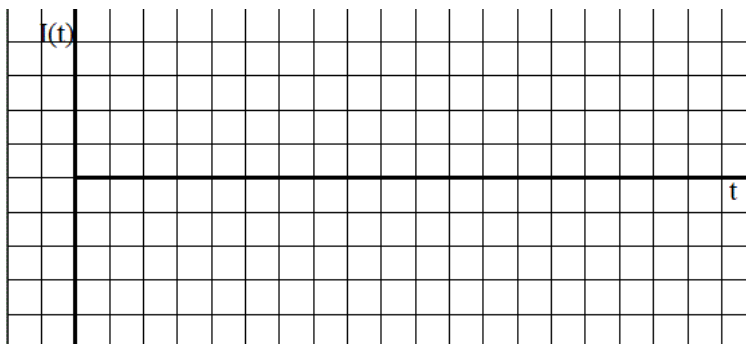
Učinkovitost terenske nastave može se pojačati diskutiranjem doživljenog u idućem terminu u učionici. Pri tome se mogu dodatno utvrditi razumijevanje osnovnih fizikalnih koncepata povezanih s primjerima koji su viđeni uživo.

## DVOFAZNI INDUKCIJSKI ELEKTROMOTOR

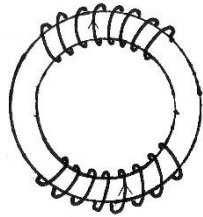
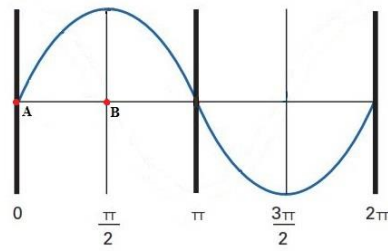
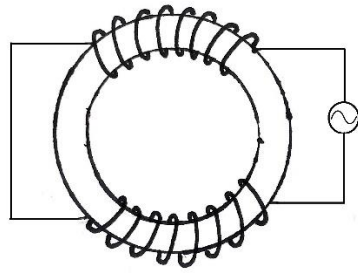
1. Što je elektromotor?
2. Nacrtajte silnice magneta i zavojnice na slici.



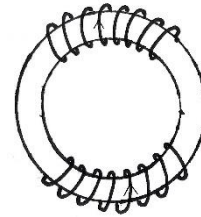
3. Na koji se način mijenja izmjenična struja u vodiču tijekom vremena? Skicirajte na grafu.



4. Ako kroz zavojnice spojene kao na slici prolazi izmjenična struja skicirajte silnice sustava na slici u trenutku A i trenutku B.



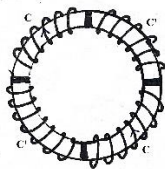
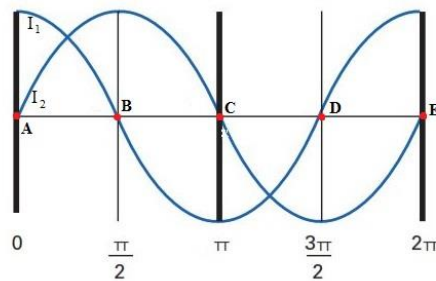
A



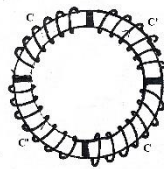
B

5. 4 zavojnice su posložene i spojene tako da struja  $I_1$  prolazi kroz zavojnice  $CC$ , a struja  $I_2$  prolazi kroz zavojnice  $C'C'$ .

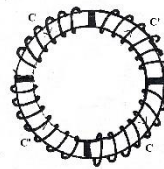
Nacrtajte silnice magnetskog polja u točkama A, B, C, D i E.



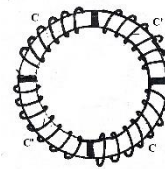
A



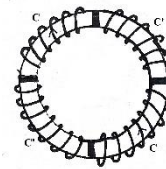
B



C



D



E

6. Što možete zaključiti o magnetskom polju koje nastaje u sredini konstrukcije? Da li se mijenja? Na koji način?

7. Što će se dogoditi ako postavimo štapićasti magnet unutar zavojnica iz zadatka 5?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
8. Da li možemo magnet zamijeniti nečim što bi se ponašalo kao magnet? Opišite na koji način.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
9. Objasnite ukratko princip rada indukcijskog elektromotora.

*Radni listić 3. Dvofazni indukcijski elektromotor*

#### 4. Zaključak

Vanučionička, odnosno terenska nastava središnje je obilježje suvremenog obrazovanja. Mjera kvalitete obrazovnog sustava je broj sati terenske nastave. Dokazana je učinkovitost terenske nastave u usvajanju znanja i vještina te što je izuzetno važno – njena uloga u motivaciji učenika. U ovom radu odabrana je uža tema iz fizike – elektromagnetska indukcija. Istaknuto je da je da ta tema ima globalni značaj budući da je implementirana u aktualne tehnologije. Tema je obrađena u dva dijela. Prvi dio sadrži učeničko istraživanje i pokuse, upoznavanje s temeljnim konceptima elektromagnetske indukcije. Pri tome je naglasak stavljen na razumijevanje fizikalnih koncepata za koje istraživanja u području edukacije pokazuju da ih učenici slabo razumiju – strujni krugovi, elektromotorna sila, električna struja, električni otpor. Da bi učenici usvojili pojedine koncepte i vještine, potrebno ih je višestruko ponavljati na različitim razinama obrazovnog sustava, sve dok ih učenici potpuno ne usvoje. Drugi dio je upoznavanje s primjenom koncepta elektromagnetske indukcije – Teslinim dvofaznim indukcijskim elektromotorom. U ovom slučaju radi se o složenijoj temi. U suvremenom obrazovanju ističe se da se i najsloženije teme, kao što je na primjer kvantna fizika, mogu djeci prezentirati od rane dobi. Uz to, samu prezentaciju tema treba raditi kroz ljude koji su doprinijeli njenom razumijevanju i napretku. U tom pogledu u ovom radu su posebno istaknuta dva znanstvenika, Michael Faraday i Nikola Tesla. Pri tome je dobro da se učenici malo detaljnije upoznaju s kontekstom u kome su znanstvenici radili i shvati koliko su njihove ideje bile inventivne, iznenađujuće i napredne kontekstu znanosti i tehnologije tog vremena. Ovo zadnje je jako bitno za motivaciju učenika. Ključno je prenijeti informaciju da danas postoje brojni uzbudljivi znanstveni i tehnološki problemi koji čekaju nove generacije istraživača.

## 5. Literatura

- [1] Andreis, T. i sur.. 2003, Fizika 2, udžbenik za 2. Razred gimnazije (“varijanta B”), Profil, Zagreb.
- [2] Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2000). Learning from museums: Visitor experiences and the making of meaning. Walnut Creek, CA: Altamira.
- [3] Guisasola, J., Almudi, J.M., Zuza, K., 2013, University Students’ Understanding of Electromagnetic Induction. Int.Jour. Sci.Edu. 35(16), 2692-2717.
- [4] Jelacic, K., Planinic, M., Planinsic, G., 2017, Analyzing high school students’ reasoning about electromagnetic induction. Phys.Rev. Phys.Edu.Res. 13, 010112.
- [5] Jones, C., 2003, Understanding and using the minus sign in Faraday’s law. Phys. Edu. 38(6), 526-530.
- [6] Kisiel, J. Understanding Elementary Teacher Motivations for Science Fieldtrips, Wiley InterScience, 2005, 936-955.
- [7] Kulišić, P., 1996, Fizika 2, priručnik fizike za srednje strukovne škole s četverogodišnjim učenjem fizike, Školska Knjiga, Zagreb.
- [8] Martin, S.S. & Seevers R.L., 2003, A field trip planning for early childhood classes. Preventing School Failure 47(3) 177-180.
- [9] Nabors M. L., Edwards, L.C., Murray, R.K., 2009, Making the case for field trips: what research tells us and what site coordinators have to say. Education Vol. 129 (4) 661-667.
- [10] Storksdieck, M. (2001). Differences in teachers’ and students’ museum field-trip experiences. Visitor Studies Today, 4(1), 8 – 12.
- [11] Tesla N., 1887. Tesla patent 381,968 electro-magnetic motor. [Internet], <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/patents/us-patent-381968-electro-magnetic-motor>, [21.3.2018.].
- [12] Tesla N., 1894. Tesla patent 524,426 electromagnetic motor. [Internet], <raspoloživo na: <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/patents/us-patent-524426-electromagnetic-motor>>, [21.3.2018.].
- [13] Tesla N., 1888. Tesla patent 382,279 electro-magnetic motor. [Internet], <https://teslauniverse.com/nikola-tesla/patents/us-patent-382279-electro-magnetic-motor>, [21.3.2018.].

- [14] Tong, W.M., Gunstone, R., 2008, Some Student Conceptions of Electromagnetic Induction. *Res Sci Educ* (2008) 38:31–44.
- [15] Tural, G., Tarakçı, D., 2017, Effects of physical models and simulations to understand daily life applications of electromagnetic induction. *Research in Science & Technological Education*, 35:3, 292-307.
- [16] URL1, Working of single phase induction motors. [Internet], <http://www.learnengineering.org/2013/08/single-phase-induction-motor.html> [9. 4. 2018.]
- [17] URL2, Why school should have education trips? [Internet], <http://www.educationaltourism.org/why-us.html> [21.3.2018.]
- [18] Vercellati, S., 2012, Electromagnetic Induction: a vertical path for conceptual learning. Tesi di dottorato di Stefano Vercellati, discussa presso l'Università degli Studi di Udine. 226 pp.
- [19] Zuza, K., Almudi, J.M., Leniz, A., Guisasola, J., 2014, Addressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach. *Phys.Rev.Spec. Topics-Phys.Edu.Res.* 10, 010122.
- [20] Paar, V., Martinko, S., 2012, Fizika 8, udžbenik za 8. razred osnovne škole, Školska knjiga, Zagreb.
- [21] Paar, V., 1999, udžbenik za VIII. razred, Školska Knjiga, Zagreb.
- [22] Beštak Kadić, Z., Brković, N., Pećina, P., 2009, udžbenik za 8. razred osnovne škole, Alfa, Zagreb.