

Učeničke poteškoće s elektromagnetskom indukcijom

Katarina Jeličić

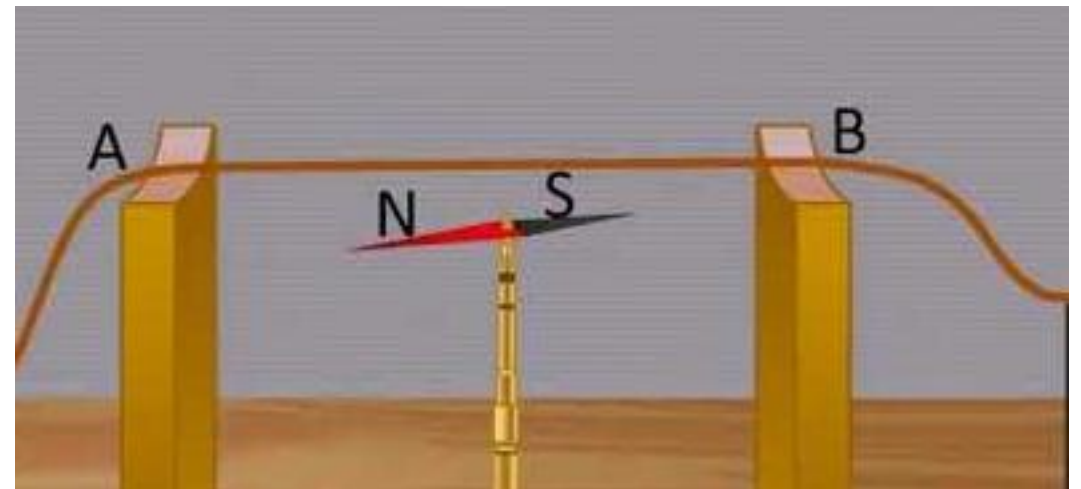
Grupa za edukacijsku fiziku

Fizički odsjek

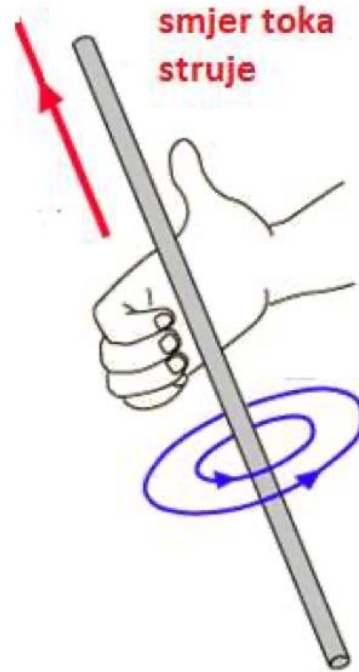
Prirodoslovno-matematički fakultet

Oerstedov pokus (1820.)

- **Ključna ideja:** u prostoru oko vodiča, kojim teče struja, javljaju se magnetske sile, tj. **električna struja stvara magnetsko polje oko sebe**
- magnetsko polje povezano je s **električnom strujom**, odnosno **nabijenim česticama u gibanju**



Jedno od pravila desne ruke: silnice magnetskog polja ravnog vodiča



Prilagođeno prema: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fastarmathsandphysics.com%2Fa-level-physics-notes%2Felectricity%2F2610-the-right-hand-grip-rule.html&psig=AOvVaw0RHw1453L0pHt099ne8MC7&ust=1652282666941000&source=images&cd=vfe&ved=0CAwQjRxqFwoTCIDR2uqe1fcCFQAAAAAdAAAAABAM>

Mogući obrat Oerstedovog pokusa?

- Kako možemo dobiti stalnu struju u vodiču pomoću magnetskog polja?
 1. Pomicanjem vodiča u stalnom magnetskom polju
 2. Stvaranjem promjenjivog magnetskog polja

Michael Faraday (1791. – 1867.)



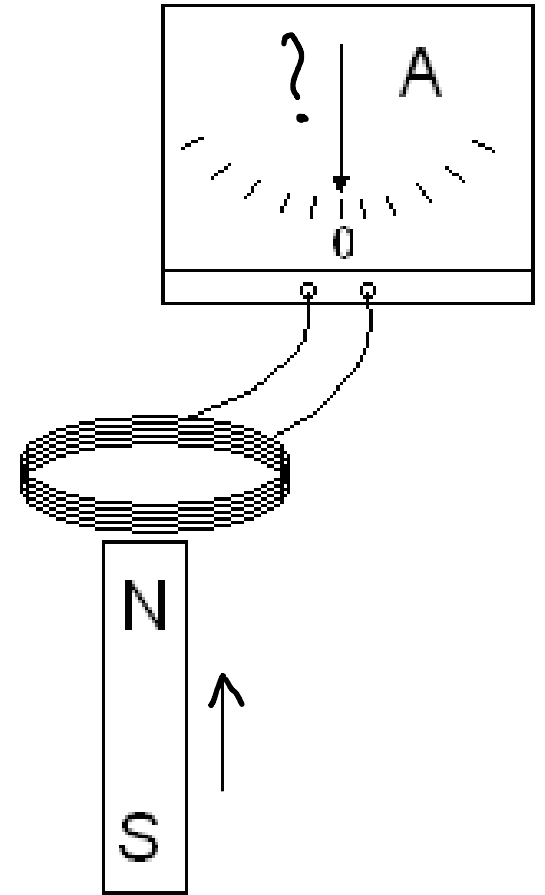
Elektromagnetska indukcija (1831.)

- Omogućila pretvaranje mehaničke energije u električnu

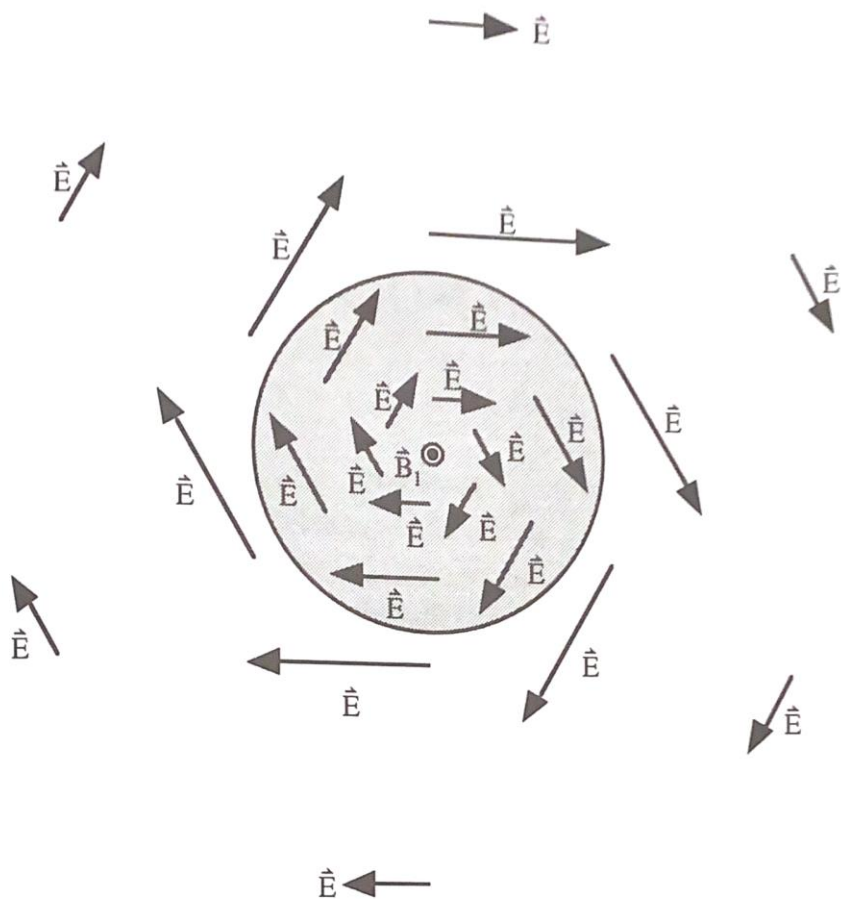
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/88/M_Faraday_Th_Phillips_oil_1842.jpg

Što će se dogoditi ako zavojnici približimo magnet?

- u zavojnici se tada **inducira** struja
- Odakle ta struja (nema baterije u krugu)?
- induciralno se **električno polje**, a time i elektromotorni napon u vodiču
- **Vremenski promjenljivo magnetsko polje inducira električno polje.**



Kako izgleda inducirano električno polje?

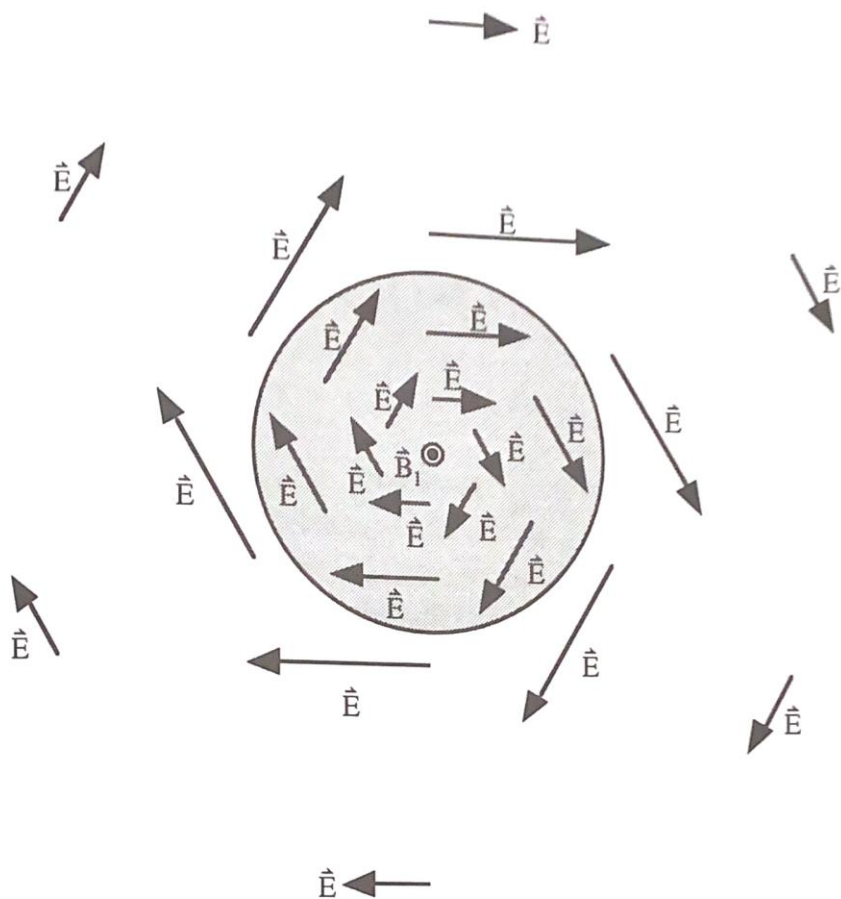


$\vec{B}_0 = 0$ izvan zavojnice i daleko od njenih rubova

\vec{B}_1 - unutar zavojnice, usmjereno iz papira, povećava se u vremenu

Izvor: Chabay&Sherwood, Electric and magnetic interactions, 1955, Wiley&Sons, Inc.

Kako izgleda inducirano električno polje?

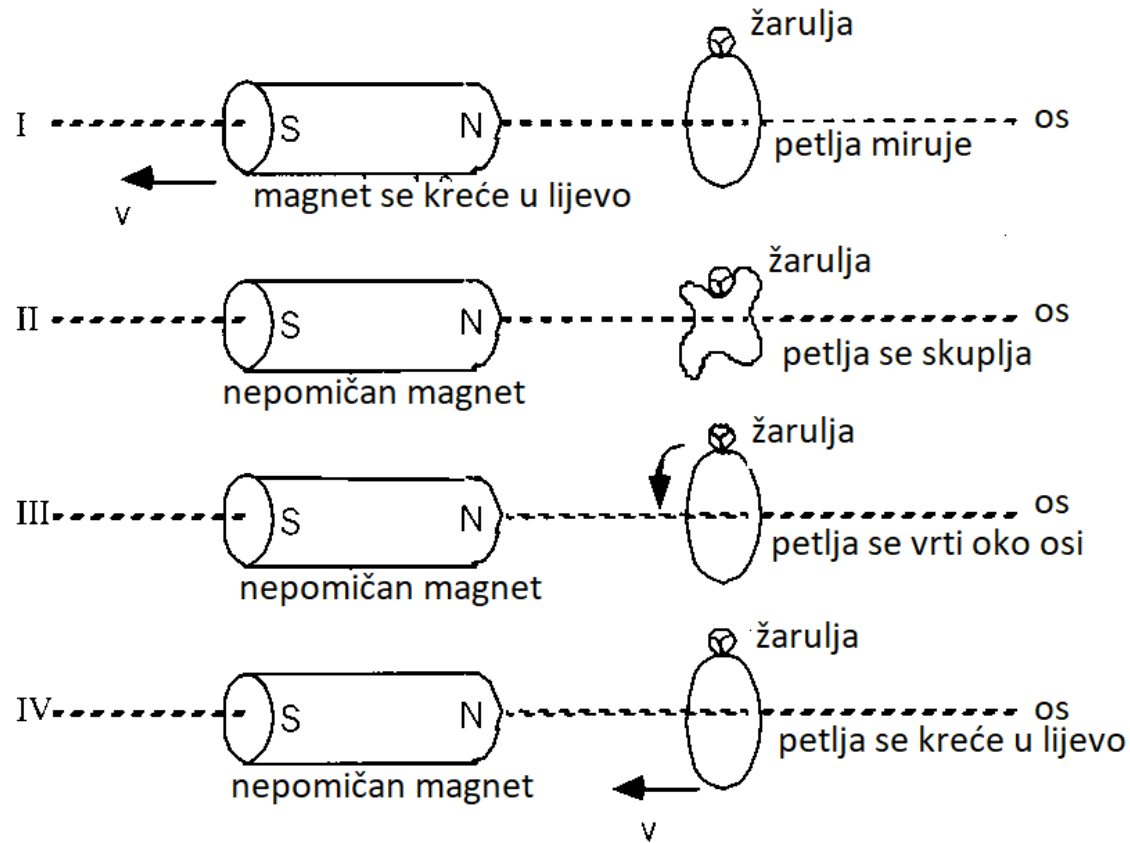


- Gdje je **početak (izvor) polja**, a gdje njegov kraj (**ponor polja**)?
- nema ga
- Vremenski promjenljivo magnetsko polje inducira **nekulonsko električno polje**.
- No, i za takvo električno polje vrijedi $\vec{F} = q\vec{E}$.

Električno polje možemo proizvesti na dva načina:

1. dovođenjem naboja u neki prostor – u prostoru oko naboja nastaje kulonsko polje
 - **postoji** ponor ili izvor polja
 - **Konzervativno polje**
2. promjenjivim magnetskim poljem – u prostoru nastaje nekulonsko polje
 - **ne postoji** ponor ili izvor polja
 - **Nije konzervativno polje**

Slike prikazuju petlju sa žaruljicom i magnet u različitim odnosima. Ploha petlje je okomita na referentnu os. Gibanje ili mirovanje magneta i petlje je naznačeno na slikama. U kojim će sve slučajevima žaruljica svijetliti?



A. I, III, IV

B. I, IV

C. I, II, IV

D. IV

Kada će se inducirati elektromotorni napon u vodljivoj petlji ili zavojnici?

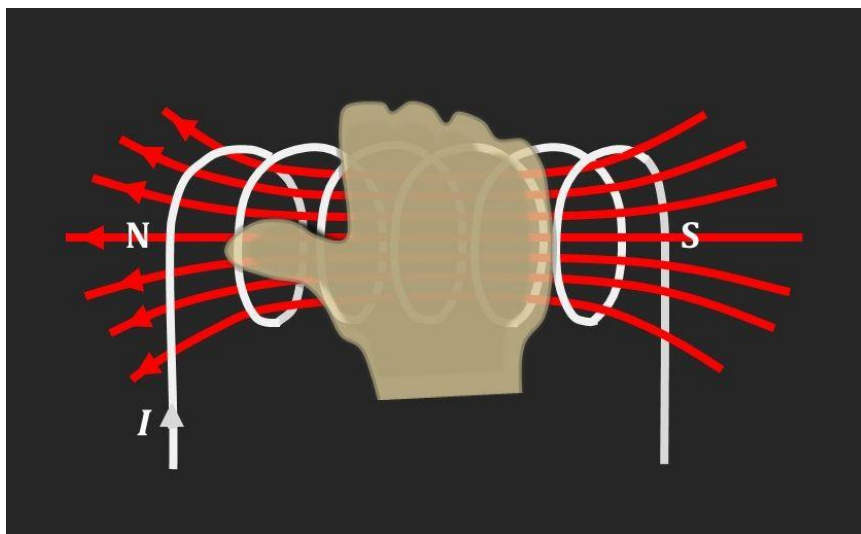
- kada se petlja/zavojnica giba u nehomogenom magnetskom polju (zavojnicu primičemo/odmičemo magnetu)
- kada petlja/zavojnica miruje u vremenski promjenljivom magnetskom polju (primičemo ili odmičemo magnet zavojnici)
- kada petlja/zavojnica mijenja površinu ili orijentaciju u magnetskom polju
- Kako sve te situacije povezati u jedan izraz?
- potreban nam je **koncept magnetskog toka** (radionica: Petra će nam pokazati kako ga i kada uvesti)

Faradayev zakon i Lenzovo pravilo

$$U_{ind} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

- Inducirani napon protivi se promjeni magnetskog toka
- Ako povećavamo tok kroz zatvorenu i vodljivu petlju inducira se takav napon i posljedično struja da svojim magnetskim poljem smanjuje tok
- Ako smanjujemo tok, inducirani napon i posljedično struja svojim magnetskim poljem povećava tok kroz petlju
- Lenzovo pravilo (posljedica ZOE)
- Učenici će to pojednostaviti na način da će smatrati da je inducirano polje uvijek suprotno onome čija ga je promjena izazvala – netočno!

Još jedno pravilo desne ruke



- Obuhvatimo petlju ili zavojnicu prstima u smjeru struje, palac pokazuje sjeverni pol polja petlje ili zavojnice

Izvor slike: https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7582_Magnetsko_polje_elektricne_struje.html

Postoji i pravilo desne ruke za određivanje smjera magnetske sile na naboj – previše različitih pravila – učenici su s pravom zbunjeni

Konceptualni test iz elektriciteta i magnetizma

- Conceptual Survey of Electricity and Magnetism (CSEM) [Maloney et al., 2001]
- Jedan od najraširenijih testova kojim su ispitivane studentske poteškoće na velikom uzorku i na mnogim sveučilištima
- Neke istaknute poteškoće:
 - neprepoznavanje pojave elektromagnetske (EM) indukcije u pokusima
 - za pojavu EM indukcije je dovoljna blizina magnetskog polja
 - nerazumijevanje koncepta magnetskog toka
 - poistovjećivanje koncepta magnetskog toka s magnetskim poljem
 - Poteškoće s primjenom Faradayevog zakona i Lenzovog pravila

Konceptualni test iz elektriciteta i magnetizma

- Studenti fizike na PMF-u u Zagrebu su sudjelovali u rješavanju testa te su i kod njih uočene spomenute poteškoće [Planinić, 2006]
- Skupina pitanja o prepoznavanju EM indukcije u pokusima i razumijevanju indukcije se pokazala najtežom i najlošije riješenom skupinom pitanja cijelome testu.

Kakve šanse u razumijevanju EM indukcije imaju naši učenici ako je ovo gradivo teško i studentima fizike?

Kakve poteškoće imaju naši gimnazijalci s razumijevanjem EM indukcije?

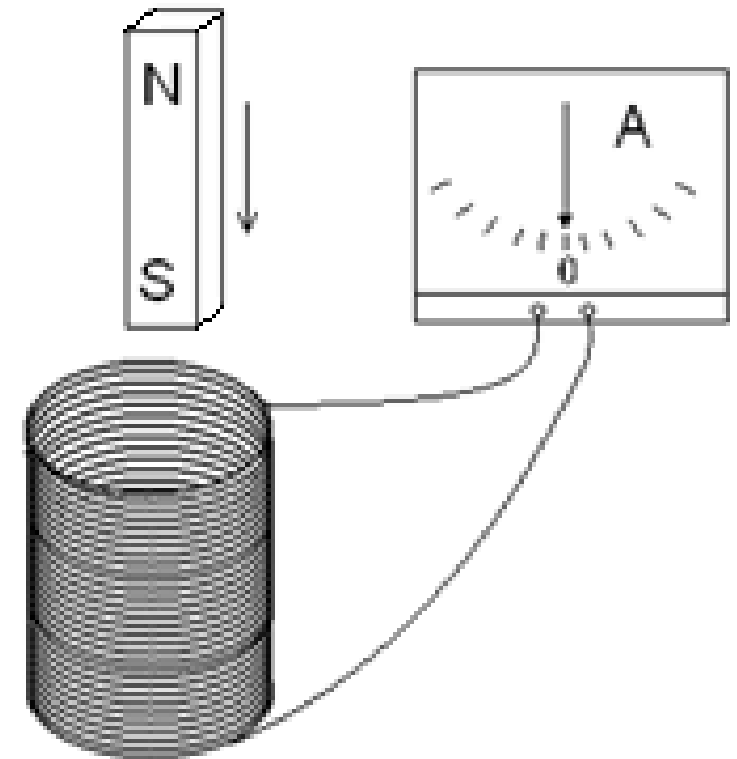
- U razdoblju od 2011. do 2014. proveli smo istraživanje na gimnazijalcima (4 godine učenja fizike)
- Prvi dio istraživanja
 - intervjui o pokusima iz EM nakon obrađene cjeline u školi
 - sudjelovalo 9 učenika
- Drugi dio istraživanja
 - konstrukcija testa iz EM, 14 pitanja otvorenog tipa
 - testiranje 541 učenika nakon obrađene cjeline u školi

Rezultati intervjua

- Neke od uočenih učeničkih poteškoća:
 - Polovi magneta imaju +/- strane
 - Magnet može privlačiti/odbijati stacionarne naboje
 - Magnetske silnice nisu zatvorene linije te počinju i završavaju na vodičima kojima teče struja
 - Nepravilno korištenje pravila desne ruke
 - Zavojnica uvijek ima magnetsko polje (neovisno o tome teče li njome struja ili ne)

Rezultati intervjua

- Prilikom intervjua su pokušavali osmisliti objašnjenje prikazane pojave
- Uočena 3 funkcionalna, ali neispravna modela EM indukcije:
 1. Preklapanje magnetskih polja
 2. Privlačenje/odbijanje magneta i naboja
 3. Interakcija magnetskih polja zavojnice i magneta



1. Preklapanje magnetskih polja - neispravn EMI model

- Magnet stvara magnetsko polje
- Zavojnica spojena na galvanometar stvara magnetsko polje
- Kada magnet uđe u zavojnicu, polja se preklapaju kako bi se stvorilo jedno zajedničko polje
- Kao rezultat preklapanja, u zavojnici se pojavljuje struja

2. Privlačenje/odbijanje magneta i naboja – neispravni EMI model

- Magnet može odbiti ili privući naboje u mirovanju
- Kada određeni pol magneta uđe u zavojnicu, on odbija (ili privlači) elektrone u zavojnici- nastaje inducirana struja
- Kada se magnet odmara unutar zavojnice, elektroni miruju- nema inducirane struje
- Kada se magnet ukloni iz zavojnice, elektroni se vraćaju u prvobitne položaje – nastaje inducirana struja u drugom smjeru

3. Interakcija magnetskih polja zavojnice i magneta – neispravni EMI model

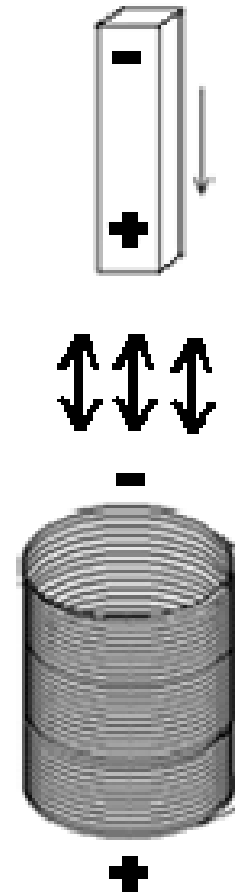
- I magnet i zavojnica imaju polove
- Ako su polovi suprotni, postoji privlačna sila između magneta i zavojnice
- Ako se magnet izvuče iz zavojnice, ta sila stvara napetost između njih
- Ova napetost proizvodi struju u zavojnici

Rezultati intervjua

- Nitko od učenika nije točno opisao što se događa u prikazanom pokusu – **poznavanje koncepta magnetskog toka nije uočeno**
- Učeničko znanje je vrlo nekoherentno i rascijepano – **„znanje u dijelovima”**

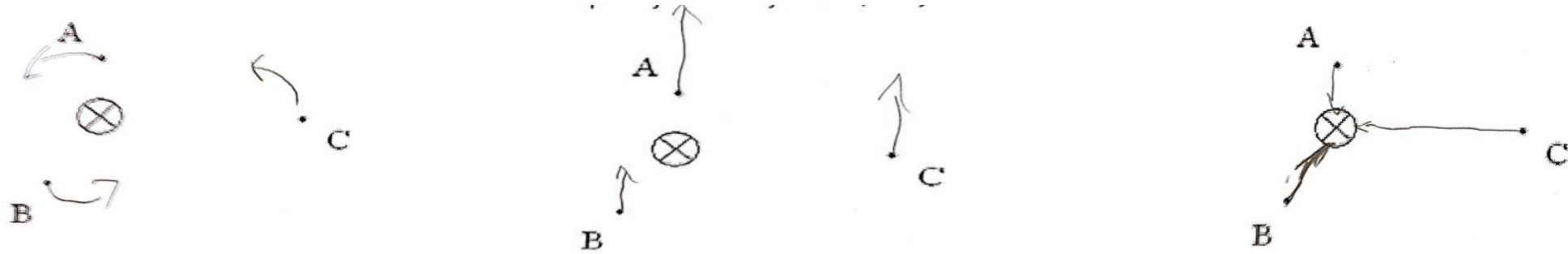
Rezultati testa

- Polovi magneta imaju +/- strane
- Magnet može privlačiti/odbijati stacionarne naboje
- Naboji se gibaju po magnetskim silnicama
- Netočne reprezentacije magnetske sile i silnica magnetskog polja
- **Pojam magnetskog toka nije iskazan (99,5%)**
- Poteškoće s prepoznavanjem svih situacija u kojima se javlja inducirana struja
- Poteškoće s razumijevanjem međuidukcije
- Poteškoće s Lenzovim pravilom i pravilom desne ruke

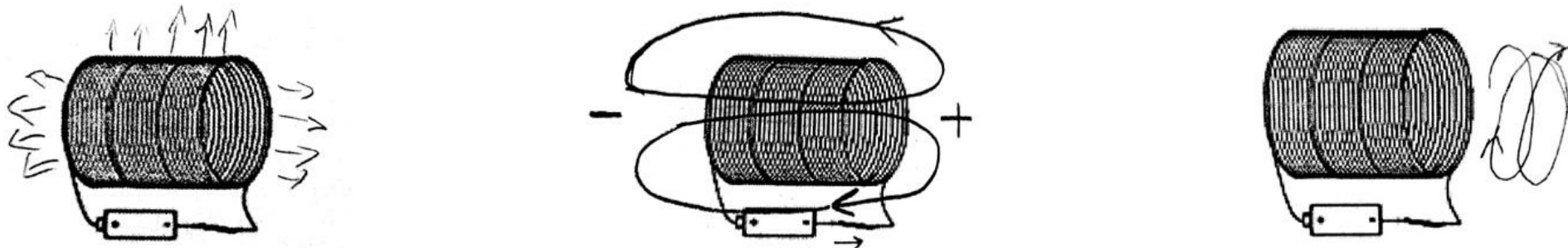


Rezultati testa

- 62 % netočnih grafičkih reprezentacija vektora magnetskog polja oko vodiča kojim teče struja

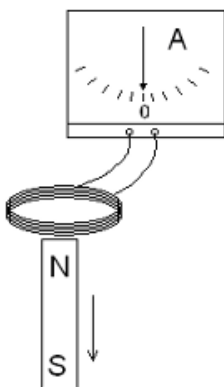


- 47 % netočnih grafičkih reprezentacija magnetskih silnica oko zavojnice kojom teče struja



U kojim od ovih primjera učenici najčešće ne prepoznaju da će se inducirati struja?

I. Magnet se giba prema dolje, petlja miruje.

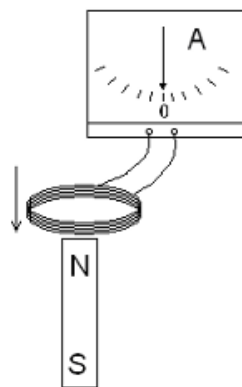


Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

A

II. Petlja se giba prema dolje, magnet miruje.

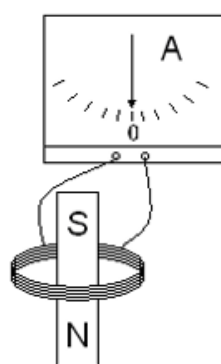


Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

B

III. Magnet i petlja miruju.

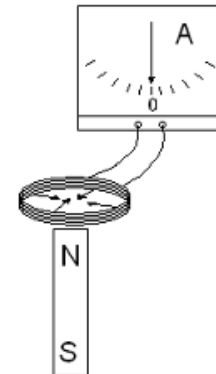


Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

C

IV. Petlja se smanjuje, magnet miruje.



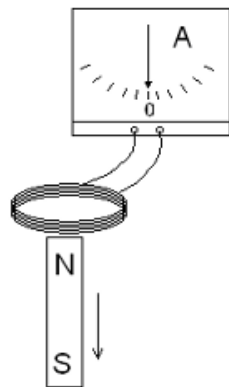
Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

D

Rezultati testa

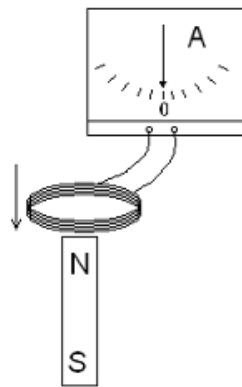
I. Magnet se giba prema dolje, petlja miruje.



Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

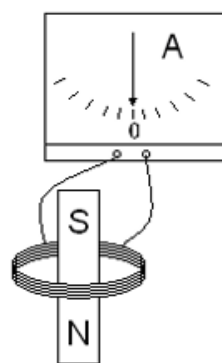
II. Petlja se giba prema dolje, magnet miruje.



Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

DA NE

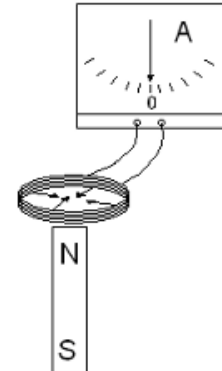
III. Magnet i petlja miruju.



Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

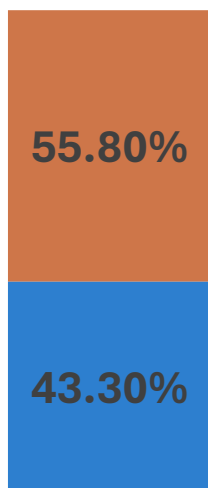
DA NE

IV. Petlja se smanjuje, magnet miruje.

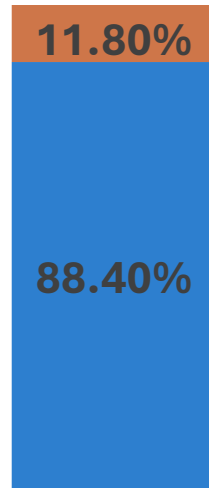


Pokazuje li ampermetar vrijednost različitu od nule?

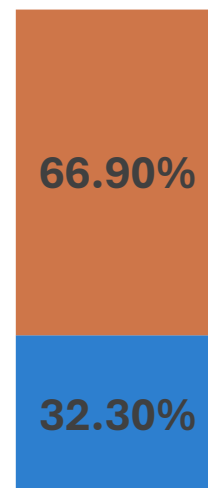
DA NE



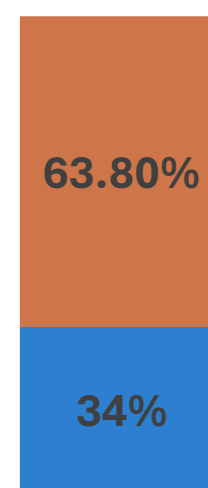
Q5_1



Q5_2



Q5_3



Q5_4

■ YES
■ NO

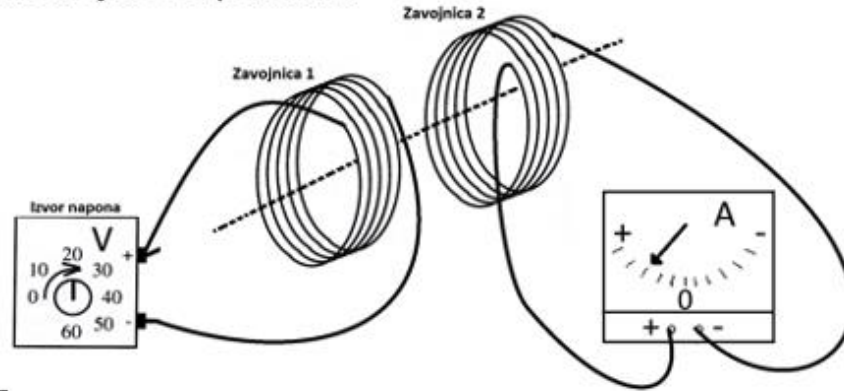
Skup učitelja i nastavnika fizike, PMF, Zagreb, 5.9.2024.

Grupa za edukacijsku fiziku i metodiku nastave fizike – sva prava pridržana

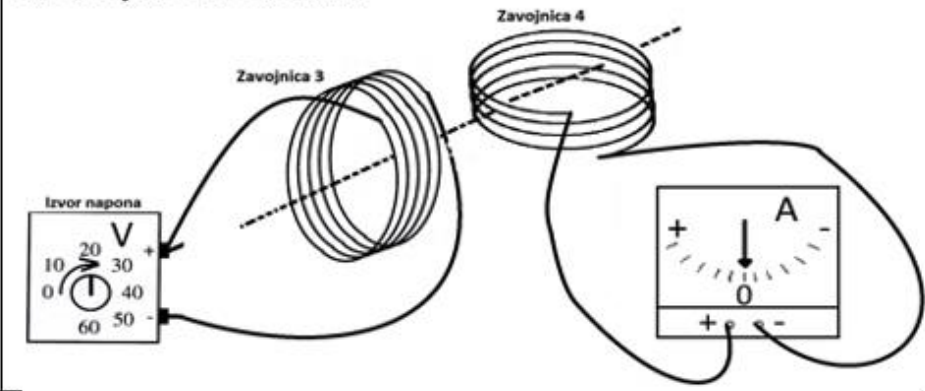
Rezultati testa

Zašto
ampermetri
pokazuju ovakve
vrijednosti?

I. Zavojnice su paralelne.



II. Zavojnice su okomite.



- Učenik: "U prvoj situaciji magnetsko polje prolazi kroz obje zavojnice, u drugoj situaciji se međusobno poništavaju."
- Učenička objašnjenja prve situacije (43%): "zbog $I=U/R$, a napon i otpor se ne mijenjaju tijekom vremena"

Skup učitelja i nastavnika fizike, PMF, Zagreb, 5.9.2024.

Grupa za edukacijsku fiziku i metodiku nastave fizike – sva prava pridržana

Problem magnetskog toka

- Koncept magnetskog toka kroz plohu ne postoji kod ispitanih gimnazijalaca (3 od 550 učenika su ga spomenula)
- Za naše srednjoškolce zadaci koji u testu ispituju poznavanje magnetskog toka ne čine skup znanja potrebnih za razumijevanje EM indukcije

Važno je da učenici razviju koncept magnetskog toka i njegovu vezu s eksperimentalnim primjerima!

Kakve poteškoće imaju naši gimnazijalci s razumijevanjem EM indukcije?

Utvrđeno je da učenici imaju poteškoće s:

- grafičkim prikazom magnetskih polja žica i zavojnica
- primjenom pravila desne ruke
- prepoznavanjem EM indukcije u situacijama kada magnet miruje
- objašnjenjem i obrazloženjem EM indukcije
- poznavanjem koncepta magnetskog toka
- ispravnom primjena Lenzovog zakona

Osim toga, pokazuju tendenciju da:

- miješaju električne i magnetske pojave
- pripisuju magnetsko polje zavojnicama kada kroz njih ne teče struja

Kako pomoći učenicima?

- Učenicima dati priliku više crtati grafičkih reprezentacija magnetskih polja i silnica
- Uspoređivati i raspravljati o vezama, ali i razlikama između elektrostatičkih pojava, magnetskih pojava te pojava nastalih EM indukcijom
- Više naglaska treba staviti na **koncept magnetskog toka!**
- Poticati formiranje mentalnih modela u kontroliranom okruženju

Hvala na pažnji!

Reference:

- D. P. Maloney, T.L. O’Kuma, C. J. Hieggelke, and A. Van Heuvelen, Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism, *Am. J. Phys. Suppl.* **69**(7), pp. S12 – S23 (2001).
- M. Planinic, Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using the Conceptual Survey in Electricity and Magnetism, *Am. J. Phys.*, **74**(12), pp. 1143 - 1148. (2006).
- E. Bagno, and B. S. Eylon, From problem solving to a knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism, *Am. J. Phys*, **65**(8), pp. 726 – 736, (1997).
- J. Park, Modeling analysis of students’ processes of generating scientific explanatory hypotheses, *Int. J. Sci. Educ.*, **28**(5), pp. 469 – 489, (2006).
- K. Jelacic, M. Planinic and G. Planinsic, Analyzing high school students’ reasoning about electromagnetic induction, *Phys. Rev. Phys. Edu. Res.*, 13, 010112, (2017).
- M. Loftus, Students’ ideas about electromagnetism, *SSR* 77, 280 (1996).
- K. Zuza, J. M. Almudi, A. Leniz, and J. Guisasola, Addressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 10, 010122, (2014).
- D. Gentner, Psychology of Mental Models. In N. J. Smelser and P. B. Bates (Eds.), *International Encyclopaedia of the Social and Behavioral Sciences*, pp. 9683 – 9687, (Amsterdam: Elsevier Science, 2002).
- A.A. di Sessa, Toward an Epistemology of Physics, *Cogn. Instr.*, **10** (2&3), pp. 105-225, (1993).
- D. Hammer, A. Elby, R. E. Scherr, and E. F. Redish, Resources, framing, and transfer, in *Transfer of Learning from a Modern Multidisciplinary Perspective*, edited by J. Mestre (Information Age Publishing, Greenwich, CT, 2005), pp. 89 – 120.