

Elektromagnetismus

Během tematického celku žáci projdou „cestu“ od objevu elektromagnetismu (tj. že okolo vodiče s proudem je magnetické pole) přes silové působení na vodič a cívku s proudem až po elektromagnetickou indukci a transformátor. Důraz je kladen na aplikace a zařízení, která jednotlivé poznatky využívají ke svému fungování.

Tematický celek je obvykle zařazen do 9. třídy, předpokládáme tedy, že žáci už znají základní poznatky o magnetismu trvalých magnetů a jsou schopni zapojit jednoduchý obvod.

Obsah:

1. Úvod do tématu, motivace:.....	2
2. Magnetické pole vodiče s proudem	3
3. Vzájemné působení magnetu a vodiče s proudem	4
4. Elektromagnetická indukce	6
5. Střídavý proud	9
6. Transformátor	9
7. Přenos elektrické energie	10
8. Bezpečnost práce s elektrickým zařízením.....	10
9. Elektřina v domácnosti	11
10. Trocha teorie... aneb stručný pohled do drátu.....	11

Pomůcky:

Magnetické pole vodiče a cívky s proudem:

- do každé skupiny 4,5 V baterie, 3 vodiče, 1 krokosvorka, kompas
- pro učitele navíc: zdroj napětí, cívka ze školní soupravy s jádrem, kompas, drobné železné předměty (kancelářské sponky apod.)

Vzájemné působení magnetu a vodiče s proudem:

- do každé skupiny: 4,5 V baterie, vodiče (jeden dlouhý nebo více kratších), krokosvorka, 2 feritové magnety, přístroje, které využívají princip vzájemného působení magnetu a vodiče s proudem (školní galvanometr, zvonek, relé, reproduktor, elektromotor,...)
- pro učitele navíc: zdroj napětí, cívka ze školní soupravy s jádrem, vodiče

Elektromagnetická indukce:

- do každé skupiny: 4 vodiče, cívka, 1 jádro, 2 krokosvorky, LED, feritové magnety, ampérmetr nebo školní galvanometr, generátor ze školní soupravy
- pro učitele navíc: demonstrační měřicí přístroj, 2 LED antiparalelně, cívka 12 tisíc nebo 18 tisíc závitů
- na domácí úkol: prstýnek nebo jiný kovový kroužek, magnety

Transformátor:

- pro učitele: 2 stejné cívky (300 závitů nebo 600 závitů), jádro I, jádro U, plochá baterie, střídavý zdroj cca 6 V, vodiče, 2 krokosvorky, demonstrační voltmetr, příp. počítač s Excelem nebo jiným tabulkovým editorem

1. Úvod do tématu, motivace:

Historické „okénko“¹

V úvodu hodiny učitel v rozhovoru se žáky evokuje a upřesňuje předchozí znalosti žáků týkající se historie příslušných partií fyziky². Dle vlastní úvahy vybere z níže uvedeného textu ty informace, které považuje pro žáky za důležité pro získání základního historického přehledu.

- Historie magnetismu – Objev minerálu magnetovce, někdy také označovaného magnetit, byl učiněn nezávisle na sobě v Řecku a v Číně. Naleziště magnetovce bylo často u nalezišť železné rudy, proto byly objeveny jeho magnetické účinky při těžbě železné rudy a výrobě železa z ní. Kousky magnetitu se přitahovaly a navíc jimi ještě byly přitahovány kousky železa. Je známo, že Číňané nejen objevili vlastnosti magnetitu, ale dokonce již zhruba kolem roku 400 př. n. l. (údaje z různých zdrojů se liší) používali kompas k navigaci lodí. Kompas byl vyroben z magnetitu upraveného do tvaru lžice. Magnetit se umístil na hladkou desku způsobem, který umožnil pohyb držátka lžice podle zemského magnetického pole.
- Historie elektrostatiky – Žáci se obvykle při výuce dějepisu již dozvěděli, že první pokusy z elektrostatiky pocházejí ze starého Řecka, učitel případně doplňuje další informace. Thales z Milétu kolem roku 600 př. n. l. objevil, že třením se jantar dostává do zvláštního stavu, který se projevuje přitahováním lehkých předmětů. V novověku v 16. století zopakoval pokusy s jantarem Angličan William Gilbert (1544 – 1603) a ukázal, že kromě jantaru je možné elektrovat i mnoho jiných předmětů. Mimo jiné jasně rozlišil a oddělil jevy elektrické a magnetické a zavedl název „elektřina“ (v řečtině se jantar nazývá elektron). Gilbert však pozoroval pouze přitahování nabitých těles. Elektrické odpuzování objevil kolem roku 1660 Otto von Guericke a teprve roku 1734 Charles Francois Du Fay objevil existenci dvou druhů elektřiny podle toho, kterou látku třeme, a nazval je elektřina skelná a elektřina jantarová. Významný výzkum elektrických jevů provedl v letech 1747 – 1754 Benjamin Franklin. Franklin prováděl i poměrně riskantní experimenty s atmosférickou elektřinou a hledal souvislost mezi bleskem a jiskrou. V roce 1785 Charles Coulomb formuloval zákon popisující vzájemné silové působení nabitých těles.
- V roce 1780 začal nový úsek v dějinách elektřiny. Náhodným objevitelem nového jevu byl italský lékař Luigi Galvani, který pozoroval trhavé pohyby žabích stehýnek při jejich kontaktu se dvěma různými kovy. Tomuto jevu věnoval jedenáct let podrobných výzkumů. Svá pozorování vyložil jako objev tzv. „živočišné elektřiny“. Alessandro Giuseppe Volta zopakoval Galvaniho pokusy a dospěl k jinému závěru. Zdrojem elektřiny je právě přítomnost dvou různých kovů oddělených elektrolytem a přítomnost živé tkáně s pozorovaným jevem nesouvisí. Sestrojil „Voltův sloup“ – baterii galvanických článků tvořenou střídavě měděnými a zinkovými kotoučky oddělenými plstí nasáklou slanou vodou. Díky těmto článkům začala tzv. galvanická elektřina či „galvanismus“ vykonávat skutečnou práci. Avšak ještě na konci 18. století se předpokládalo, že elektrostatika a „galvanismus“ jsou dva různé přírodní jevy. Teprve v roce 1801 William Hyde Wollaston referoval o tom, že galvanické a elektrické jevy mají stejnou podstatu a liší se jen tím, že elektrostatické výboje mají (s použitím dnešní terminologie) vysoké napětí a dávají malý proud, zatímco galvanické články dávají malé napětí a velký proud.
- Až do začátku 19. století však byl zcela oddělený magnetismus a elektřina. Teprve díky experimentům dánského fyzika Hanse Christiana Oersteda byly v roce 1820 objeveny magnetické účinky elektrického proudu.

Tímto experimentem začnou žáci zkoumat základní vlastnosti elektromagnetismu.

¹ Na wiki je k dispozici historické okénko zpracované formou prezentace.

² Vhodným zdrojem dalších informací z historie fyziky může být publikace Štoll, I.: Dějiny Fyziky. Prometheus, Praha 2009. ISBN 978-80-7196-375-2

2. Magnetické pole vodiče s proudem

Žáci vytvoří skupiny po dvou až čtyřech (dle pokynu učitele). Každá skupina obdrží jednu plochou baterii, 3 vodiče, 1 krokosvorku, kompas nebo busolu.

- **Oerstedův pokus:** Žáci provedou čtyři experimenty s kompasem a vodičem. Nejdříve je vodič položený na kompasu tak, aby směřoval rovnoběžně se střílkou. Jeden konec vodiče žáci připojí pomocí krokosvorky ke kladnému pólu ploché baterie, druhým koncem se **krátce dotknou** záporného pólu baterie (je třeba zdůraznit žákům nutnost dodržování tohoto pokynu, baterie je při experimentu na krátkou dobu zkratovaná). Pozorují a zapisují směr pohybu střílky kompasu. Potom vymění póly baterie, takže proud ve vodiči teče opačným směrem. Opět pozorují a zapisují směr pohybu střílky kompasu. Oba experimenty zopakují, avšak nyní je vodič položený na stole a kompas leží na něm (opět je střílka rovnoběžná s vodičem).
- Na základě experimentu a svých předchozích vědomostí o vlastnostech magnetických indukčních čar žáci vytvoří hypotézu o tvaru indukčních čar vodiče s proudem (orientované kružnice ležící v rovině kolmé na vodič, směr orientace doporučuji na ZŠ neřešit).
- Vzhledem k tomu, že ve škole asi nebude k dispozici dostatečný zdroj elektrického proudu, aby mohl učitel žákům předvést experiment, který ukazuje tvar indukčních čar svise zavěšeného vodiče s proudem pomocí železných pilin (piliny vytvoří soustředné kružnice v těsné blízkosti vodiče), je možné využít video tohoto pokusu na webu: <http://fyzikalnipokusy.cz/1880/magneticke-pole-primeho-vodice-s-proudem>.
- Žáci z vodiče vytvoří smyčku a provedou úvahu, zda magnetické pole uvnitř smyčky bude silnější (indukční čáry uvnitř smyčky míří stejným směrem) nebo slabší (indukční čáry uvnitř smyčky míří proti sobě) než v případě rovného vodiče. Indukční čáry při těchto úvahách vhodným způsobem modelují (například pomocí prstů). Při správné úvaze zjistí, že uvnitř smyčky bude magnetické pole silnější. Potřebujeme-li tedy získat ještě silnější magnetické pole, použijeme více závitů, tedy cívku.
- Žáci spojí dohromady vodiče, které mají k dispozici, do jednoho dlouhého vodiče, a ten smotají do tvaru cívky. Jeden konec vodiče, připojí pomocí krokosvorky k baterii, druhým koncem se dotýkají druhého pólu baterie. „Objížděním“ cívky kompasem se pokusí zjistit tvar magnetického pole cívky. Zjistí, že tvar magnetického pole cívky s proudem je velmi podobný tvaru magnetického pole tyčového magnetu.
- Učitel pak předvede žákům demonstrační experiment, při kterém zapojí cívku ze školních souprav ke zdroji (školní zdroj napětí, autobaterie, případně jedna či více plochých baterií) a pomocí pilin nebo kompasu potvrdí předchozí závěry žáků. Ukáže také rozdíl v vzdálenosti, ve které reaguje kompas na zapnutí a vypnutí proudu v případě, kdy je cívka bez jádra a s jádrem. Velikost magnetického pole cívky tedy závisí na počtu závitů cívky, na vzdálenosti od cívky, na tom, zda je do cívky vloženo jádro a samozřejmě na velikosti proudu procházejícího cívkou. Ukáže žákům, jak zmagnetované železné jádro cívky přitahuje drobné železné předměty (hřebíčky či kancelářské sponky), tedy princip elektromagnetu. Žákům lze také ukázat zobrazení magnetického pole pomocí pilin na videu: <http://fyzikalnipokusy.cz/1882/magneticke-pole-solenoidu-s-proudem>.
- V závěru této části hodiny zadá žákům jako domácí úkol (doporučuji dobrovolný domácí úkol) výrobu elektromagnetu, který při napájení z ploché baterie zvedne alespoň pět kancelářských sponek.
- **Rozšiřující aktivita:** Možnost výroby tangentové busoly (měřidlo proudu vyrobené pouze z busoly a vodiče), sestavené například dle návodu Zdeňka Poláka na internetové stránce http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/rozsirene/Polak/12_Polak.html. Vysvětlení její funkce, případně její kalibrace. Využití tangentové busoly při indikaci nebo měření proudu (je-li známa hodnota magnetické indukce zemského magnetického pole) nebo naopak při měření magnetického pole Země (je-li měřidlo kalibrováno známým proudem).

3. Vzájemné působení magnetu a vodiče s proudem

Na začátku je vhodné, aby si žáci krátce zopakovali poznatky z předchozí části: Kolem vodiče s proudem vzniká magnetické pole, jehož indukční čáry mají tvar soustředných kružnic v rovině kolmé na vodič. Magnetické pole vzniká samozřejmě také kolem cívky s proudem, její indukční čáry jsou křivky, které mají podobný charakter jako indukční čáry trvalého magnetu. Můžeme tedy říci, že cívka má severní a jižní pól, stejně jako magnet.

Učitel řekne žákům, že pokud v okolí vodiče vzniká magnetické pole, měl by tedy vodič nějak reagovat na přítomnost trvalého magnetu.

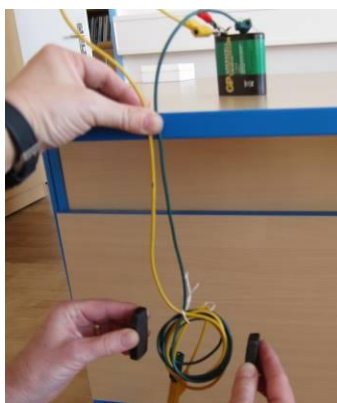
Žáci vytvoří skupiny po dvou až čtyřech (dle pokynu učitele). Každá skupina obdrží plochou baterii, 1 vodič, 1 krokosvorku, 4 feritové magnety.

- První žák připojí jeden konec vodiče k jednomu pólu baterie, smyčku vodiče nechá volně viset dolů z lavice. Druhý žák si vezme magnety a přidrží je u visící smyčky tak, aby se přitahovaly a vodič procházel mezerou mezi nimi. Druhým koncem vodiče se první žák bude krátce dotýkat druhého pólu baterie (doporučuji prstem přidržet částí vodiče, které se dotýkají hrany lavice, aby se zamezilo mechanickému pohybu vodiče způsobenému pohybem ruky). Žáci pozorují lehký pohyb vodiče směrem mimo prostor mezi magnety. Když vymění póly magnetu, nebo póly baterie, vodič se pohybuje na druhou stranu. Na vodič tedy působí síla, která je kolmá na směr indukčních čar magnetického pole magnetu i na směr proudu. Tato síla „vystrkuje“ vodič z prostoru mezi magnety na jednu nebo druhou stranu.



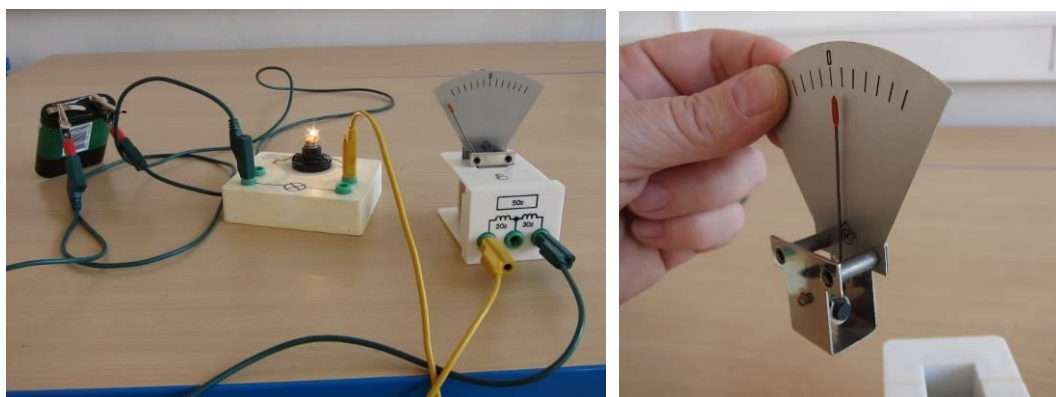
Obr. 1. Uspořádání experimentu – vodič a magnety

- V dalším experimentu žáci z vodiče namotají cívku a opět ji nechají volně viset z lavice dolů. K cívce „s boku“ přiloží dva magnety, které se přitahují. Při správném uspořádání experimentu žáci pozorují, jak sebou cívka „škubne“, pootočí se. Při změně polarity baterie nebo pólů magnetu se cívka pootočí na druhou stranu. Vzhledem k tomu, že v minulé hodině žáci zjistili, že se cívka chová podobně jako permanentní tyčový magnet a má póly, snadno nyní mohou vysvětlit natáčení cívky ve vnějším magnetickém poli.



Obr. 2. Uspořádání experimentu – cívka a magnety

- Má-li učitel k dispozici soupravu Elektromagnetismus V. Piskače³, může stejné experimenty provést i demonstračně. Žáci uvidí, že cívka je „spokojená“ v poloze kolmé na indukční čáry magnetu, a otočí se při přepólování baterie. Experimenty se soupravou lze případně ukázat žákům i na videu: <http://fyzikalnipokusy.cz/1737/pusobeni-magnetickeho-pole-na-vodic-s-proudem> resp. <http://fyzikalnipokusy.cz/1738/pusobeni-magnetickeho-pole-na-civku-s-proudem>.
- Dále se učitel ptá žáků, jak bylo možné zařídit, aby se cívka otáčela stále, nezůstávala „spokojená“ v jedné či druhé poloze. Žáci navrhnou buď použití střídavého zdroje, pokud to někdo zná, nebo rychlé přehazování pólů baterie. Učitel pak předvede otáčení cívky s komutátorem a nechá žáky vysvětlit princip.
- Pro další badatelskou činnost žáci prozkoumají přístroje, které využívají vzájemného působení magnetu a vodiče s proudem v praxi. Které to budou, závisí na dostupnosti těchto přístrojů a vybavenosti fyzikálního kabinetu. Jedná se například o následující přístroje:
 - školní galvanometr
 - školní zvonek
 - relé
 - reproduktor
 - elektromotor
 - magnetoelektrický měřicí přístroj (vysvětlení principu viz například⁴)



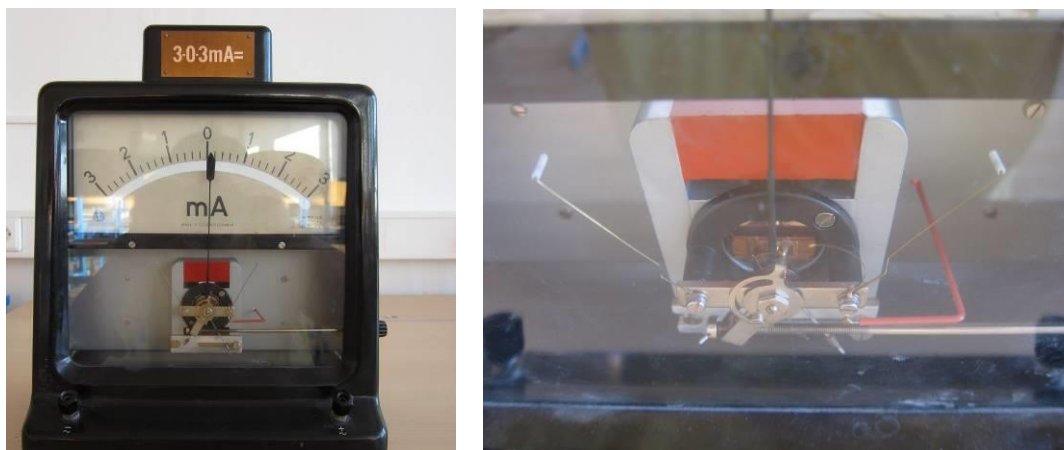
Obr. 3. Školní galvanometr – zapojení a princip



Obr. 4. Elektromotor

³ http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/elektro/vodic_v_magnetickem_poli.pdf

⁴ HANZELÍN, Zdeněk. Princip magnetoelektrického měřicího přístroje. *Metodický portál: Digitální učební materiály* [online]. 08. 04. 2011, [cit. 2012-01-31]. Dostupný z WWW: <<http://dum.rvp.cz/materialy/princip-magnetoelektrickeho-mericiho-pristroje.html>>. ISSN 1802-4785.



Obr. 5. Magnetoelektrický měřicí přístroj a jeho princip

4. Elektromagnetická indukce

Úvod do tématu, motivace

Na začátku hodiny učitel ukáže žákům, že z experimentů, které žáci prováděli v minulých hodinách, můžeme sestavit dvě „rovnice“

Proud + (pohyb) \longrightarrow magnet
 Magnet + proud \longrightarrow pohyb

(Pozn. V první rovnici je slovo pohyb v závorce, neboť pohyb je vlastně již přítomen ve slově proud, tj. uspořádaný pohyb nábojů. Z důvodu symetrie ho však v rovnici uvádíme.)

Položí žákům otázku, zda můžeme uvažovat, zda by platila i třetí „rovnice“

Magnet + pohyb \longrightarrow proud

Pak nechá žáky navrhovat, jaký bychom museli provést experiment, abychom ověřili, zda tato „rovnice“ platí.

Jsem si vědoma jistého zkreslení a nepřesnosti při vyjadřování fyzikálních zákonů pomocí těchto „rovníc“, přesto však mám dlouholetou praxí ověřeno, že žákům pomáhají chápat principy elektromagnetických jevů. Výše uvedené „rovnice“ lze samozřejmě napsat i pomocí vzorců klasické fyziky. Pro žáky by však použití skutečných fyzikálních vzorců a rovnic popisujících jevy v oblasti elektromagnetismu bylo zcela nesrozumitelné, neboť bychom se dostali až na středoškolskou či úvodní vysokoškolskou úroveň matematiky a fyziky. To, že proud budí magnetické pole, plyne z jedné z Maxwellových rovnic; působení magnetu na proud (tedy na pohybující se náboje) popisuje Lorenzova síla. Skutečnost, že při pohybu magnetu u proudové smyčky se ve smyčce indukuje napětí (a při uzavření obvodu proud), je dána Faradayovým zákonem elektromagnetické indukce, tedy vlastně také jednou z Maxwellových rovnic.

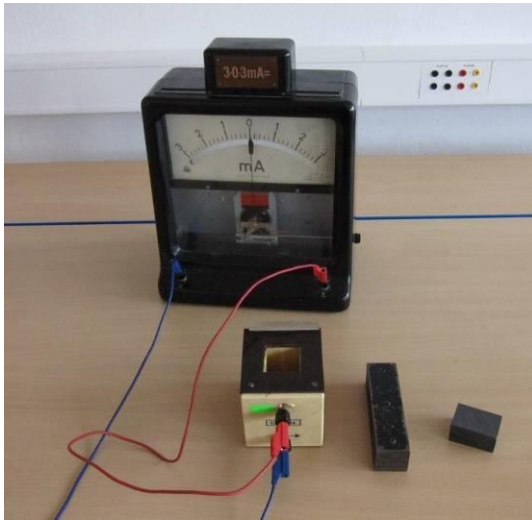
Na základě dlouholetých zkušeností doporučuji učitelům tyto „rovnice“ při výuce elektromagnetismu na základní škole používat a umožnit tak žákům těmto poměrně složitým jevům lépe porozumět.

Vznik indukovaného napětí

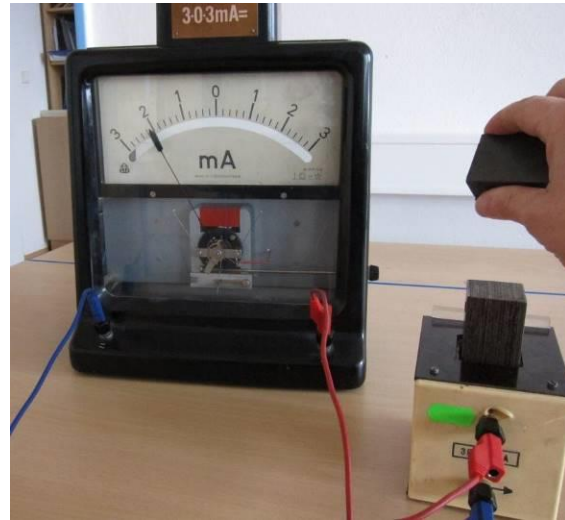
Žáci obvykle brzy navrhnou experiment, při kterém se budou pohybovat magnety v okolí vodiče. Učitel v diskusi dovede žáky k pochopení, že pro to, abychom mohli pozorovat případný indukovaný proud, musí být vodič připojen do obvodu s něčím, co bude proud indikovat – tedy například ke světelnému zdroji nebo k měřicímu přístroji. Žárovka se tak malým indukovaným proudem nerozsvítí, svítivá dioda však ano. Pokud připojíte dvě antiparalelně zapojené LED k cívce (ideálně 12 tisíc nebo

18 tisíc závitů ze školních sbírek), žáci budou sledovat, jak při pohybu magnetem v okolí vodiče tam a zpět diody střídavě blikají.

Kromě využití LED je možné pokus předvést i s měřicím přístrojem. Učitel připojí vodič k demonstračnímu miliampérmetru s nulou uprostřed a rychle pohybuje magnety kolem vodiče. Obvykle lze pozorovat, že se ručka měřicího přístroje malinko pohybuje. Učitel se zeptá žáků, jak by bylo možné výchylku zvětšit a v diskusi dovede žáky k tomu, že je nutné použít cívku. Zapojí tedy k miliampérmetru cívku a pohybuje magnety v dutině cívky. Výchylka je nyní větší. Učitel se ptá žáků, zda by bylo možné nějakým způsobem výchylku ještě zvětšit. Vzhledem k tomu, že při experimentech v minulých hodinách žáci používali cívku s jádrem, obvykle tento návrh dají i nyní. Při použití cívky s jádrem lze již snadno překročit rozsah měřicího přístroje (3 mA), výchylka je velká.



Obr. 6 Příprava experimentu



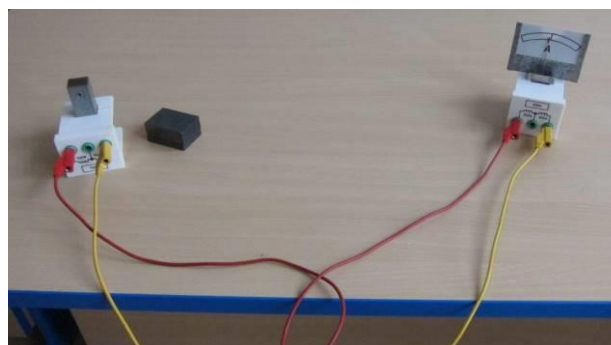
Obr. 7 Měření indukovaného proudu

Lze tedy udělat závěr, že při vzájemném pohybu magnetů a cívky (nebo jiné změně magnetického pole) se ve vodiči indukuje napětí a při uzavření obvodu můžeme pozorovat proud procházející obvodem. Třetí „rovnice“ tedy také platí.

Dále učitel upozorní žáky, že při vkládání magnetu do cívky se ručka přístroje pohybuje jedním směrem, při vyndávání magnetu se pohybuje druhým směrem. Tímto způsobem tedy vzniká **střídavé** napětí a **střídavý** proud.

Žáci vytvoří skupiny po dvou až čtyřech (dle pokynu učitele). Každá skupina obdrží 4 vodiče, cívku s jádrem, ampérmetr nebo školní galvanometr, 4 feritové magnety, generátor, LED diodu, 2 krokosvorky.

Žáci nejprve zopakují experiment předvedený učitelem a pomocí cívky s jádrem a magnetů vytvářejí indukované napětí. Obvod uzavřou pomocí ampérmetru (žáci volí vhodný rozsah) nebo školního galvanometru a sledují výchylku měřicího přístroje. (Pozn. Používají-li žáci školní galvanometr, musí ho umístit dostatečně daleko od první cívky a magnetů, aby výchylka galvanometru nebyla způsobena přímo pohybem magnetů, ale skutečně průchodem indukovaného proudu.)

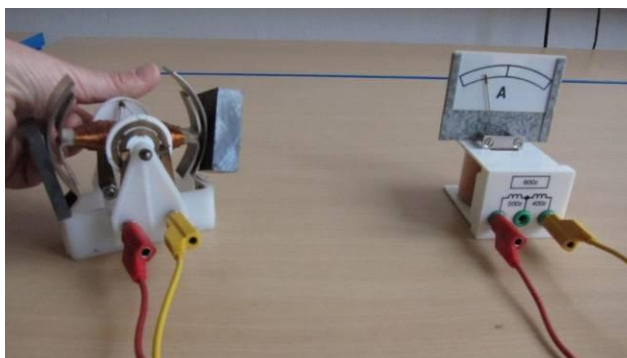


Obr. 8 Elektromagnetická indukce, žákovský experiment

Popíší, že při vkládání magnetu do cívky se ručka přístroje pohybuje jedním směrem, při vyndávání magnetu se pohybuje druhým směrem, jedná se tedy o střídavý proud.

Žáci prozkoumají, na čem závisí velikost indukovaného proudu. Zjistí, že závisí na tom, jak rychle se magnety v cívce pohybují, na použitém jádře, na počtu závitů cívky, na síle magnetů. Pokud jsou magnety v cívce v klidu, žádný proud se neindukuje.

V dalším experimentu použijí žáci zařízení, které v minulé hodině používali jako motor, a zapojí ho jako generátor. Sledují chování ručky měřáku při otáčení cívkou.



Obr. 9 Generátor střídavého proudu

Pak zkusí pomocí generátoru rozsvítit LED diodu. Všimají si, jak se chová dioda, jestliže ji nejdříve zapojí k té straně generátoru, kde jsou dva kroužky, a budou cívku točit na jednu a pak na druhou stranu. Chování diody by se dalo popsat jako „blik, nic, blik, nic“ při obou směrech otáčení cívky. Pokud by žáci měli k dispozici dvě diody a zapojili je antiparalelně, budou diody blikat střídavě.

Podruhé pak diodu zapojí na druhou stranu přístroje, kde jsou dva „půlkroužky“, a opět točí cívku na jednu a pak na druhou stranu. Chování diody by se dalo popsat jako „blik, blik, blik“ při točení na jednu stranu a „nic, nic, nic“ při točení na druhou stranu. (Při zapojení dvou diod antiparalelně bude vždy svítit jen jedna dioda.)



Obr. 10 Dioda zapojená ke generátoru s komutátorem

V diskuzi se žáky učitel vysvětlí princip komutátoru (dvou „půlkroužků“), který mění indukovaný střídavý proud na stejnosměrný (pulsní) proud. Dioda zde slouží jako indikátor. Princip komutátoru je pěkně vysvětlen například v krátké prezentaci⁵ na webu.

⁵ viz <https://slideplayer.cz/slide/2593556/>

V závěru hodiny učitel sdělí žákům pojem *elektromagnetická indukce* jako název děje, který zkoumali, a během rozhovoru je přivede k pochopení, že pomocí stejného principu se vyrábí elektřina v téměř všech elektrárnách (vítr, voda nebo pára roztáčí turbínu generátoru).

Jako dobrovolný domácí úkol je možné zadat žákům vysvětlení problémového experimentu:

Na nit přivažte zlatý prstýnek nebo jiný kroužek z vodivého, ale nemagnetického kovu. Ukažte žákům, že kroužek se k magnetu nepřitahuje. Nit pověste na stojan, aby kroužek visel v klidu. Vezměte silnější magnet, přiblížte ho ke kroužku a prudce oddalte, kroužku se ale nedotýkejte. Kroužek se pohne jak při přiblížení magnetu (bude se maličko odpuzovat od magnetu, pohyb ale může být špatně pozorovatelný), tak hlavně při oddálení magnetu (pohyb magnetu může být rychlý, kroužek půjde jakoby za magnetem). Pokud budou děti jako řešení nabízet proudění vzduchu, lze pokus udělat i přes list papíru, umístěný mezi kroužek a magnet. (Řešení – při pohybu magnetu se v kroužku indukuje napětí, kroužek je uzavřený, tedy tam teče proud. Proud vytváří magnetické pole, které působí proti změně, která jej vyvolala.)

5. Střídavý proud

Učitel zopakuje se žáky, co pozorovali při výrobě indukovaného proudu pomocí generátoru v předchozí hodině. Má-li k dispozici ampérmetr, který lze připojit k počítači, připojí tento ampérmetr k ploché baterii a demonstruje konstantní stejnosměrný proud. Potom ho připojí k zdírkám generátoru bez komutátoru a demonstruje střídavý proud. Nechá žáky přemýšlet a navrhnout, co bude ukazovat ampérmetr při zapojení přes komutátor, experiment pak provede a popíše rozdíl mezi stejnosměrným proudem konstantním a pulzním (tepavým). Dále je možné z příslušného grafu vyvodit veličiny střídavého proudu (amplituda, perioda), a vypočítat frekvenci.

6. Transformátor

Učitel se vrátí k experimentu z předchozí hodiny, zapojí cívku s jádrem (cca 300 závitů) k měřáku s nulou uprostřed a zopakuje vznik indukovaného napětí. Pak se zeptá žáků, zda by bylo možné vyrobit indukovaný proud, kdybychom neměli magnet.

Žáci obvykle brzy navrhnou použít druhou stejnou cívku a udělat z ní elektromagnet. Učitel tedy další cívku zapojí, nechá ji ležet v nějaké vzdálenosti od cívky připojené k měřáku a zapojí k ní baterii. Žádný indukovaný proud nelze pozorovat. Je tedy potřeba pokus vylepšit. Postupnými kroky učitel žáky dovede k „vylepšování“ experimentu:

- zapínat a vypínat proud (aby se magnetické pole měnilo),
- cívky navléknout na společné jádro,
- cívky navléknout na U jádro,
- jádro uzavřít (POZOR, je nutno postupně vyměňovat a zvyšovat rozsahy demonstračního měřáku!)

Při zapínání a vypínání proudu v primární cívce se v sekundární cívce indukuje poměrně velký proud (názvy cívek učitel žákům sdělí). Je potřeba upozornit žáky, že pokud je primární cívka zapojená k baterii, tak sice žádný indukovaný proud nevzniká, avšak uzavřené jádro je velmi silně zmagetované, nelze ho otevřít (to je pro žáky velmi překvapivé).

Dále se učitel ptá žáků, jak by bylo možné zařídit, aby měřák ukazoval stále nějaký proud a nemuseli jsme zapínat a vypínat proud z baterie. Žáci navrhnou použít střídavý zdroj.

Učitel zapojí primární cívku ke zdroji cca 6 V střídavého napětí. Připraví si dlouhý vodič, který zapojí do voltmetru s rozsahem cca 2 V a tento vodič vloží jako smyčku do jádra, které uzavře. Má tedy primární cívku cca 300 závitů, sekundární jeden závit. Zapiše hodnotu indukovaného napětí na sekundární cívce. Pak omotá vodič ještě jednou kolem jádra (má na sekundáru dva závity), opět uzavře jádro, zapiše hodnotu napětí, atd., až např. k sedmi závitům. Je-li možné zadat hodnoty do

počítače a vytvořit graf, vychází velmi pěkná lineární závislost indukovaného napětí na počtu závitů. Žáci jsou schopni vypočítat a predikovat velikost indukovaného napětí, pokud bude sekundární cívka mít 300, 600 či 1200 závitů. Výpočet je nutno ověřit měřením.

Učitel pojmenuje uvedené zařízení – transformátor a vyvodí transformační poměr. Je důležité se žáky rozebrat využití transformátoru v rozvodné síti i v domácnosti. V dalších hodinách pak může nechat žáky tento vzorec ověřovat (má-li k dispozici žákovský rozvod střídavého proudu).

7. Přenos elektrické energie

Zajímavou otázkou, na kterou málokdo umí dostatečně odpovědět, je, proč se používá k přenosu elektřiny střídavé napětí a ne stejnosměrné (přestože většina běžných spotřebičů buď potřebuje spíš stejnosměrné, nebo je schopna rovnocenně pracovat s oběma), případně, proč se elektřina vede z elektrárny při vysokém napětí. Častou odpovědí je „kvůli ztrátám“, ale osvědčilo se nám se žáky tyto ztráty vyčíslit. K výpočtu je potřeba vědět dva vzorce: pro výpočet elektrického výkonu (ten žáci znají z výuky elektřiny v 8. ročníku) a pro výpočet tepelných ztrát vzniklých tím, že drátem prochází proud. Vzhledem k tomu, že se jedná o ztrátový výkon, jde v podstatě o stejný vzorec⁶: $P_z = U \cdot I = RI^2$. Výpočet lze provést např. pomocí následujícího modelového příkladu:

Představme si elektrárnu s výkonem 69 kW, z které chceme přenést vyrobenou elektřinu do sousedního města. Odpor drátů je např. 100 Ω a předpokládejme, že elektřinu vedeme při napětí 230 V.

Proud, který dráty teče, je: $I = P/U = 69\,000\text{ W} / 230\text{ V} = 300\text{ A}$. Již toto číslo vyvolá u některých žáků smích s tím, že to dráty nemohou vydržet. Ztrátový výkon je pak: $P_z = RI^2 = 100\ \Omega \cdot (300\text{ A})^2 = 9\text{ MW}$. Jinými slovy, po cestě se „ztratí“ více než 100× větší výkon než byl na začátku. Poté je užitečné tento výpočet zopakovat s 400 kV (tj. napětím, které se reálně pro přenos elektřiny používá): proud 0,17 A i ztrátový výkon 3 W je samozřejmě mnohem příznivější.

Je užitečné, aby si žáci uvědomili, že pouze střídavou elektřinu lze transformovat (u elektrárny na vysoké napětí a poté u spotřebitelů zpět na nižší) – pokud bychom používali stejnosměrnou elektřinu, u které nelze jednoduše zvýšit napětí, docházelo by k obrovským ztrátám při jejím přenosu i na velmi krátké vzdálenosti.

8. Bezpečnost práce s elektrickým zařízením

Důležitou součástí tohoto tematického celku je seznámení žáků s bezpečným zacházením s elektrickými zařízeními. Dobrým zdrojem námětů k diskusi může být například webová stránka BOZP⁷ a články na webu^{8,9,10}. Aktivitu žáků učitel může zvýšit tím, že jim dá za úkol vytvořit plakát na nástěnku s tímto tématem.

Doporučuji také žákům ukázat doutnavkovou¹¹ nebo digitální¹² zkoušečku napětí a nechat je, aby si každý z nich ověřil správnost zapojení zásuvky¹³ v učebně. Je důležité, aby žáci měli respekt před

⁶ Častou otázkou je, proč nelze ztrátový výkon počítat pomocí napětí. Je potřeba si ale uvědomit, že udávané napětí je mezi drátem a zemí a ne pokles napětí mezi jedním a druhým koncem drátu.

⁷ viz: <https://www.bezpecnostprace.info/bozp/zasady-bezpecne-prace-s-elektrickymi-zarizenimi-ktere-jsou-pod-napetim/>

⁸ viz: https://www.idnes.cz/mobil/telefony/iphone-smrt-nabijacka-prodluzovacka-koupel.A170323_123705_iphone_LHR

⁹ viz: https://tv.idnes.cz/zahranicni/indie-mladik-muz-prostest-elektrina-pozar.V180528_152634_webtv_voit

¹⁰ viz: https://www.idnes.cz/praha/zpravy/elektricky-vyboj-kravy-sloup-cez.A170822_141349_praha-zpravy_rsr

¹¹ viz: https://cs.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1zovka#Zkou%C5%A1e%C4%8Dka_s_doutnavkou

¹² viz např.: <https://www.conrad.cz/zkousecka-napeti-voltcraft-ms-100.k123066>

¹³ viz např.: <https://www.okay.cz/jak-zapojit-zasuvku/>

elektrickým zařízením, na druhou stranu by se ho však neměli panicky bát. Pokud učitel chce, může se žáky diskutovat i princip různých způsobů ochrany elektrických zařízení (jistič, pojistka, proudový chránič) – dobrým zdrojem informací je např. článek P. Žilavého¹⁴.

9. Elektřina v domácnosti

S elektrickými zařízeními se žáci běžně setkávají v domácnosti. Doporučujeme zadat žákům za úkol zjistit, kde mají doma jističe a hlavní jistič pro domácnost.

Blíže se seznámit s použitím elektřiny v domácnosti mohou žáci také tím, že vypracují dlouhodobý domácí úkol *Spotřeba energie v domácnosti*. Úkol má spíše charakter projektu, je možné ho zadat i jako skupinovou práci. V tom případě žáci v závěru porovnávají výsledky zjištěné v jednotlivých domácnostech.

Zadání úkolu může být:

- *Zjisti z faktury, jakou má vaše domácnost sazbu za elektřinu a kolik platí měsíčně za elektřinu.*
- *Zjisti, jaké máte doma elektrické spotřebiče (nejméně 20 kusů), zjisti jejich příkon.*
- *Odhadni denní, týdenní, měsíční dobu provozu každého spotřebiče.*
- *Pro každý spotřebič vypočítej jeho denní, týdenní, měsíční spotřebu elektřiny, vypočítej cenu, kterou jeho provoz stojí.*
- *Vytvoř tabulku a graf, vyjadřující zjištěné údaje.*
- *Porovnej zjištěné údaje (vypočtenou celkovou měsíční spotřebu elektřiny ve vaší domácnosti) se skutečnou spotřebou elektřiny.*
- *Napiš závěr, co jsi zjistil, kde by bylo možné ve vaší domácnosti případně ušetřit.*

Při zpracování dat se žáci učí pracovat s Excelem, tvořit tabulky a grafy, počítat vzorce – prostě smysluplně používat tabulkový procesor.

Cílem úkolu je přimět žáky přemýšlet o tom, jakou spotřebu elektrické energie mají, kolik je stojí provoz televize, počítače, osvětlení celého bytu atd. Při porovnání svých dat se spolužáci žáci mohou zjistit, že platí zbytečně moc za energie jenom kvůli tomu, jakého mají dodavatele, nebo že rodinný domek, který je zateplený (a ve kterém bydlí spolužák), platí za elektrické topení mnohem méně, než jeho rodina atd.

10. Trocha teorie... aneb stručný pohled do drátu

Tato část je navíc, záleží na hlavně na zájmu žáků, zda ji učitel zařadí. Jejím cílem je popsat, co se děje uvnitř drátů a jak je to s rychlostí pohybu elektronů.

Elektrony se v kovových vodičích volně pohybují (i bez připojení ke zdroji napětí) – tento pohyb (označovaný jako tepelný) je zcela chaotický. Pokud vodič připojíme ke zdroji napětí, elektrony stále pokračují v náhodném pohybu, ale u toho se velmi pomalu posouvají od záporného pólu baterie směrem ke kladnému (mluví se o driftovém pohybu)¹⁵.



¹⁴ <http://kdf.mff.cuni.cz/~zilavy/clanky/zasuvka.pdf>

¹⁵ pěkný model je také v článku M. Rojka

<http://fyzweb.cz/odpovedna/index.php?hledat=hem%C5%BEen%C3%AD>

Obr. 11 Znázornění tepelného pohybu vybraných elektronů (vlevo), po připojení ke zdroji napětí se elektrony začnou mírně posouvat směrem ke kladnému pólu (vpravo).

Rychlost chaotického pohybu elektronů dosahuje až velikosti 10^6 m/s. Driftová rychlost je mnohem menší – pro měděný drát s průřezem 1 mm^2 , kterým teče proud 1 A je driftová rychlost přibližně 0,1 mm/s. Důvod toho, že se žárovka rozsvítí prakticky okamžitě po zapnutí ke zdroji, je v rychlosti přenosu informace „začni se posouvat“ – v drátu jsou elektrony všude a elektromagnetický signál, který je rozpožbuje, se šíří rychlostí světla (v daném materiálu).

Pokud drátem teče střídavý proud, je situace stejná, pouze se pravidelně mění směr, kterým se elektrony v drátu přesouvají – při frekvenci střídavého proudu 50 Hz se polarita a tedy směr pohybu elektronů otočí 100× každou sekundu.