

Název: Elektromagnetická indukce

Téma: Elektromagnetická indukce

RVP: využití zákona elektromagnetické indukce k řešení problémů a k objasnění funkce elektrických zařízení

Úroveň: střední škola

Tematický celek: Praktické aplikace přírodovědných a technických poznatků

Předmět (obor): fyzika

Doporučený věk žáků: třídy čtyřletého gymnázia, nebo vyšší stupeň víceletého gymnázia

Doba trvání: 3 vyučovací hodiny

Specifický cíl: naučit žáky naplánovat a provést badatelskou činnost a vyhodnotit její výsledky

Seznam potřebného materiálu:

Pro každou dvojici: 2 cívky (nejlépe s 300–1200 závitů), 5 spojovacích vodičů, tyčový magnet, voltmetr (buď s ručkou uprostřed nebo digitální, s rozsahem 1–2 V), dlouhé jádro (I-jádro), reostat (nejlépe 10 až 100 Ω), zdroj stejnosměrného napětí (3 V)

Seznam praktických (badatelských) aktivit:

Vytvoření napětí na cívce pomocí permanentního magnetu
Zjišťování, na čem vytvořené napětí závisí
Vytvoření napětí na cívce bez pomoci permanentního magnetu
Vytvoření střídavého napětí

Anotace:

Praktická aktivita na téma elektromagnetické indukce je rozdělena do několika částí, v nichž žáci pracují ve skupinách. Na začátku žáci ukážou, že pomocí magnetického pole permanentního magnetu lze na cívce získat elektrické napětí; v dalších dvou částech pak zkoumají, na čem vzniklé napětí závisí a jak se lze obejít i bez permanentního magnetu. Nakonec zjistí, že při otáčení magnetu kolem cívky vzniká napětí neustále a že tedy tento způsob lze použít pro průmyslovou výrobu elektrického napětí v elektrárnách. Tato část také vytváří předpoklady pro další volně navazující aktivitu – studium transformátoru.

V průběhu práce žáci zaznamenávají své nápady, hypotézy, výsledky jejich ověřování a závěry do pracovních listů.

Harmonogram výuky:

	náplň práce	čas	potřebné vybavení a pomůcky	činnost učitele	činnosti žáků
Úvod do tématu – motivace	Seznámení s významem elektromagnetické indukce	5 min.	Pracovní list – úvod (motivační text)	Učitel odpovídá na eventuelní dotazy.	Žáci čtou motivační text z pracovního listu.
Předlaboratorní příprava	Nakreslení schémat a zapojení obvodů	7 min.	2 cívky (libovolné), 5 spojovacích vodičů, tyčový magnet, dlouhé jádro, reostat, zdroj stejnosměrného napětí (3 V)	Dohlíží na činnost žáků.	Žáci nakreslí schémata zapojení a podle nich zapojí elektrické obvody; nastaví vhodné rozsahy měřících přístrojů.
Praktická (badatelská) činnost	1. Vytváření napětí na cívce pomocí magnetu 2. Zjišťování, na čem vytvořené napětí závisí 3. Vytváření napětí na cívce bez pomoci magnetu 4. Vytváření střídavého napětí	75 min.	2 cívky, 5 spojovacích vodičů, tyčový magnet, dlouhé jádro, reostat, zdroj stejnosměrného napětí (3 V)	Učitel dohlíží na činnost žáků, konzultuje problémy a nejasnosti, klade jim otázky.	1. Pohybují magnetem okolo cívky a zjišťují, že se na ní objevuje napětí. 2. Zkoumají, na čem napětí závisí. 3. Mění proud v obvodu a tak indukují napětí na druhé cívce. 4. Vytváří generátor střídavého napětí.
Vyhodnocení výsledků	Diskuze o výsledcích ve skupinách a ve třídě	25 min.	Pracovní listy s výsledky měření	Moderuje diskuzi, popřípadě vhodně volenými otázkami pomáhá žákům dospět k závěrům.	Diskutují v menších a posléze větších skupinách, formulují závěry.
Prezentace výsledků	Formulace závěrů a Faradayova zákona elektromagnetické indukce	5 min.	Pracovní listy s výsledky měření	Učitel dohlíží na správnost závěrů, případně pomáhá s jejich formulací.	Žáci formulují závěry.

Přípravy pro učitele

Podrobný časový plán:

- přečtení motivačního textu v pracovním listě – 5 min.
- úkol č. 1: práce žáků ve skupinách – 5 min.; diskuze – 2 min. (celkem 7 min.)
- úkol č. 2: tvorba hypotéz – 10 min.; práce ve skupinách – 20 min.; diskuze a shrnutí – 5 min. (celkem 35 min.)
- úkol č. 3: tvorba hypotéz – 10 min.; práce ve skupinách – 20 min.; diskuze a shrnutí – 10 min. (celkem 40 min.)
- úkol č. 4: rozmyšlení postupu – 5 min.; práce ve skupinách – 10 min.; diskuze a shrnutí – 15 min. (celkem 30 min.)

Z uvedených orientačních časů vyplývá, že tuto aktivitu lze realizovat ve třech vyučovacích hodinách. Přečtení motivačního textu, úkol č. 1 a tvorbu hypotéz úkolu č. 2 je možno provést s celou třídou na konci hodiny předcházející laboratorním pracím. Pokud máte dvouhodinové laboratorní práce, měl by se zbytek stihnout během jedné dvouhodinovky; celkové shrnutí po úkolu č. 4 je již opět možné provádět s celou třídou. Máte-li laboratorní práce jednohodinové, je možno provést zbytek úkolu č. 2 a praktické práce na úkolu č. 3 v první hodině a zbytek pak v druhé hodině.

Motivační text: Jeho celé znění najdete v pracovním listu pro žáky.

Úkoly pro žáky:

Po přečtení motivačního textu začnou žáci pracovat na následujících úkolech:

1. Máte tyčový permanentní magnet, cívku, vodiče a voltmetr. Zkuste s těmito pomůckami vytvořit na cívce elektrické napětí.
2. Jak vyrobíte na cívce co největší napětí?
3. Jak vytvoříte na cívce elektrické napětí bez použití permanentního magnetu?
4. Jak z cívky vytvoříte zdroj napětí (tj. jak zařídíte, aby napětí na cívce vznikalo neustále)?

Poznámky pro učitele:

Úkol č. 1. Skupinky žáků dostanou tyčový magnet, jednu cívku (např. 600 závitů – viz dále *Poznámka k cívkám*), dva vodiče a voltmetr. Úkolem je, aby s těmito pomůckami získali na cívce elektrické napětí.

Poznámka k pomůckám: Na tento úkol žákům rozdáme jen pomůcky potřebné pro jeho provedení, tj. jednu cívku, dva vodiče, voltmetr a magnet.

Dá se předpokládat, že žáci rychle přijdou na to, že voltmetr připojený k cívce ukáže nenulové napětí ve chvíli, kdy je magnet vůči cívce v pohybu. Na tomto závěru se skupiny shodnou.

Poznámka k voltmetru: Lze použít buď ručičkový voltmetr s ručičkou uprostřed, nebo obyčejný digitální voltmetr, kde se opačná polarita napětí pozná podle znaménka mínus před hodnotou na displeji. Z ručičkového voltmetru se lépe odečítá dosažená maximální hodnota; vzhledem k tomu, že naše měření jsou spíše kvalitativní, lze se ale spokojit i s méně přesnými odečty z digitálního přístroje.

Poznámka k cívkám: Tento úkol lze splnit s použitím téměř libovolné cívky. Čím více má cívka závitů, tím je indukované napětí větší. V další práci, kdy budou žáci zkoumat mimo jiné závislost indukovaného napětí na počtu závitů cívky, je třeba disponovat cívkami s různým počtem závitů. Dobře lze použít cívky ze staršího rozkladného transformátoru (mají 60, 300, 600, 1200 a 12000 závitů – na měření na posledně jmenované cívce může být potřeba už větší rozsah voltmetru), které si žáci mezi sebou budou půjčovat. Lze ale použít i jiné sady cívek, pokud je máte (měla by být k dispozici i jádra příslušné velikosti).

Úkol č. 2. Jak vyrobit co největší napětí na cívce?

Žáci pokračují v práci s pomůckami použitými v předchozím úkolu.

Nejdříve žáci vytvářejí hypotézy, na čem vůbec závisí napětí vzniklé na cívce. Hypotézy napřed tvoří každý žák samostatně (nemluví a dělá si poznámky); po cca dvou minutách se žáci sdruží do dvojic, prodiskutují své nápady vzájemně a shodnou se na společných stanoviscích; po dalších dvou minutách se opět sdruží dvě dvojice, krátce prodiskutují nápady a nakonec se všechny čtveřice shodnou na hypotézách, které budou následně ověřovat.

Dá se očekávat, že žáci vymyslí následující hypotézy:

Napětí vzniklé na cívce závisí na:

- směru pohybu magnetu (magnet pohybující se směrem k cívce nebo od ní nebo v konstantní vzdálenosti podél ní)
- orientaci magnetu (který pól je otočen směrem k cívce)
- směru osy magnetu vůči ose cívky (osa magnetu je totožná s osou cívky nebo na ni kolmá nebo něco mezi tím)
- počtu závitů cívky
- smyslu vinutí cívky (změní se něco, když cívku otočíme o 180 stupňů?)
- rychlosti pohybu magnetu vůči cívce
- „síle“ magnetu (magnetické indukci pole vytvořeného magnetem)

- elektrickém odporu vinutí cívky
- hloubce zasunutí magnetu do cívky

Je možné, že se objeví i další nápady. Je třeba omezit počet hypotéz určených k ověřování na rozumnou míru s přihlédnutím k tomu, aby se vůbec jednoduše ověřit daly (problémem třeba bude udržet vždy zhruba stejnou rychlost zasouvání magnetu apod. Některé „nežádoucí“ hypotézy je možné ihned rozebrat teoreticky nebo odkazem na již známé příklady.

Nyní každá skupina vytvoří vlastní hypotézu o tom, jak napětí závisí na uvedeném jevu. Jestli na něm bude záviset jen polarita indukovaného napětí nebo jen jeho velikost nebo polarita i velikost; v případě velikosti i to, jestli při zvýšení příčiny bude velikost vzniklého napětí větší či menší.

Nyní budou jednotlivé skupiny ověřovat hypotézy. Pro zpestření mohou soutěžit o to, komu se podaří vyrobit co největší napětí na cívce. Cívky si mohou jednotlivé skupiny navzájem půjčovat, magnety také, jsou-li ve třídě různé.

Poté následuje shrnutí závěrů ve skupinách a nakonec společné shrnutí na tabuli, na kterém by se měly skupiny shodnout.

Úkol č. 3. Jak se obejít bez permanentního magnetu?

Poznámka k pomůckám: Z předchozích dvou úkolů již skupiny mají jednu cívku, dva vodiče, voltmetr a permanentní magnet. K provedení pokusů v úkolu č. 3 je jim třeba přidat další cívku, jádro, tři vodiče, reostat a zdroj napětí.

Na třetí aktivitu lze též použít v podstatě libovolné cívky (kromě cívky s 12000 závitů, aby indukované napětí nebylo příliš velké). Je jen třeba dát pozor na minimální odpor cívky připojované ke zdroji napětí, aby proud v obvodu zdroj – reostat – cívka nepřekročil maximální hodnotu přípustnou pro součástky v obvodu. Ke zdroji lze bezpečně připojit cívku se 600 a více závitů.

Studenti opět diskutují, napřed sami a potom ve skupinách, o možnosti vzniku napětí na cívce, aniž bychom použili permanentní magnet. Dá se očekávat, že je napadne použít místo permanentního magnetu elektromagnet a dělat s ním to samé, co s permanentním magnetem (tj. pohybovat s ním). Je žádoucí, aby se objevily i návrhy možnosti pevného elektromagnetu a pevné cívky s tím, že stačí měnit proud procházející elektromagnetem. Pokud na to studenti nepřijdou sami, je třeba je vhodným způsobem navést.

Zde by se měly diskutovat následující možnosti změny proudu elektromagnetem:

- zapínání a vypínání proudu (tj. skoková změna z nuly na maximální hodnotu a naopak),
- změny proudu reostatem (tj. plynulá změna proudu).

Následuje opět tvorba hypotéz na téma, jak dané jevy ovlivňují vzniklé napětí (jeho velikost, polaritu – jak?) a jejich ověřování žáky ve skupinách. Skupiny opět soutěží o nejvyšší dosažené napětí. K ověřování musí každá skupina mít dvě cívky, dlouhé jádro, pět vodičů, voltmetr, zdroj stejnosměrného napětí (plochou baterii či nějaký síťový zdroj) a reostat.

Poté následuje shrnutí závěrů ve skupinách a nakonec společné shrnutí na tabuli, na kterém by se měly skupiny shodnout.

Společným závěrem z prvních třech bodů by měla být formulace Faradayova zákona elektromagnetické indukce: Napětí vzniklé na cívce závisí na rychlosti změny magnetického pole v cívce; čím je změna rychlejší, tím je vzniklé napětí větší.

Úkol č. 4. Jak udělat z cívky zdroj napětí (tj. jak zařídit, aby napětí na cívce vznikalo neustále)?

Studenti zkoušejí ve skupinách, k dispozici mají nyní všechny pomůcky, které již používali (tj. tyčový magnet, dvě cívky, dlouhé jádro, voltmetr, vodiče, zdroj stejnosměrného napětí a reostat).

Studenti mohou přijít v zásadě na tři možnosti řešení:

- periodické zasouvání magnetu do cívky a opětovné vysouvání,
- otáčení magnetem v okolí cívky,
- periodickou změnu proudu v elektromagnetu.

Každá z těchto třech možností je základem funkce některého přístroje (první možnost představuje princip elektrodynamického mikrofону, druhá možnost princip generátoru střídavého napětí a třetí možnost princip transformátoru). Po praktickém ověření mohou žáci konstatovat, že všemi třemi metodami se jim povedlo na cívce vyrobít napětí, jehož polarita i velikost se neustále mění. Doplňme, že toto napětí se nazývá střídavé.

Následně diskutujeme s žáky na téma, která z možností je prakticky použitelná pro „výrobu“ elektrické energie. Dojdeme k závěru, že v elektrárně lze celkem jednoduše získat otáčivý pohyb magnetu (resp. elektromagnetu), který tak způsobuje vznik napětí na cívce.



Elektrodynamický reproduktor, který je možno použít i jako mikrofón. Na obrázku vpravo je dobře vidět cívka pevně připojená k vyjmuté membráně. Ta je při provozu zasunuta do prstencové dutiny magnetu viditelné uprostřed položené části.



Na obrázku vlevo je školní demonstrační alternátor – cívka se otáčí prostřednictvím kliky v magnetickém poli permanentního magnetu. Vzniklé napětí je odebráno kartáčky z kroužků připojených k vývodům cívky. Na obrázku vpravo jsou malé alternátory dříve používané pro napájení světel na jízdních kolech. U levého rozebraného alternátoru je dobře vidět otočná cívka.

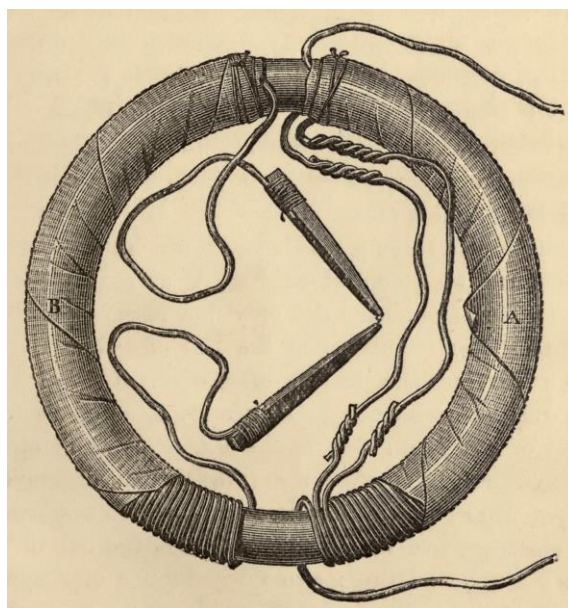


Školní rozkladný transformátor.

Pracovní list pro žáky – vyplněný

Elektromagnetická indukce

Úvod: Rozhlédněte se kolem sebe – kolik vidíte přístrojů, od kterých vede šňůra končící v elektrické zásuvce? Dovedete si svůj život představit bez nich? Dokázali byste je něčím nahradit? Všechny tyto přístroje jsou vymožeností posledních desetiletí a jejich činnost umožňuje jev objevený roku 1831 anglickým fyzikem Michaelem Faradayem – elektromagnetická indukce.



Faradayovy cívky

(citováno z http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Faradays_transformer.png?uselang=cs)

Jev elektromagnetické indukce využívá ke své činnosti naprostá většina elektráren na světě. Jen v České republice najdete asi 50 větších elektráren, které mají celkový výkon více než 18 GW. Elektrárny dodávají do rozvodné sítě střídavé napětí, které se po několika transformacích ocitne mezi zdířkami vaší elektrické zásuvky. V následujících hodinách se pokusíme přijít na to, jak vůbec toto napětí vznikne a následně i jak ho lze upravovat, abychom ho mohli bezpečně používat v domácnosti i v průmyslu.

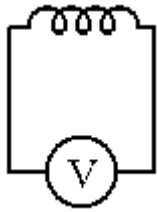
Seznam pomůcek:

cívka, 2 spojovací vodiče, tyčový permanentní magnet, voltmetr

Pracovní úkoly:

Úkol č. 1: Máte tyčový permanentní magnet, cívku, vodiče a voltmetr. Zkuste s těmito pomůckami vytvořit na cínce elektrické napětí.

Provedení: Nakreslete schéma obvodu, se kterým budete pracovat a sestavte tento obvod. Stručně popište, co uděláte pro získání napětí na cínce.



Budeme pohybovat magnetem v okolí cívky, zasouvat magnet do cívky a opět ho vytahovat. Při pohybu magnetu vůči cívce vzniká na cívce elektrické napětí.

Úkol č. 2: Jak vyrobíte na cívce co největší napětí?

Provedení: Na čem by podle vás mohlo záviset napětí vzniklé (indukované) na cívce? Každý запиšte sám za sebe své nápady.

Napětí vzniklé na cívce závisí na:

- směru pohybu magnetu (magnet pohybující se směrem k cívce nebo od ní nebo v konstantní vzdálenosti podél ní)
- orientaci magnetu (který pól je otočen směrem k cívce)
- směru osy magnetu vůči ose cívky (osa magnetu je totožná s osou cívky nebo na ni kolmá nebo něco mezi tím)
- počtu závitů cívky
- smyslu vinutí cívky (změní se něco, když cívku otočím vzhůru nohama?)
- rychlosti pohybu magnetu vůči cívce
- „síle“ magnetu (magnetické indukci pole vytvořeného magnetem)

Nyní vytvořte hypotézy, jak na těchto faktorech vzniklé napětí závisí (zda faktor ovlivňuje jen polaritu napětí nebo jen jeho velikost nebo polaritu i velikost; v případě, že ovlivňuje velikost, napište jak).

Faktory ovlivňující indukované napětí:

- směr pohybu magnetu – ovlivňuje polaritu napětí
- orientace magnetu – ovlivňuje polaritu napětí
- směr osy magnetu vůči ose cívky – ovlivňuje velikost napětí; čím větší je úhel mezi osou cívky a magnetu, tím je indukované napětí menší
- počet závitů cívky – ovlivňuje velikost napětí; čím větší je počet závitů cívky, tím je indukované napětí větší
- smysl vinutí cívky – ovlivňuje polaritu napětí
- rychlost pohybu magnetu vůči cívce – ovlivňuje velikost napětí, čím je větší rychlost, tím je indukované napětí větší
- magnetická indukce pole vytvořeného magnetem - ovlivňuje velikost napětí; čím je magnetické pole silnější, tím je indukované napětí větší

Nyní ověřte hypotézy a запиšte výsledky.

Naše hypotézy se podařilo potvrdit v plném rozsahu.

Nakonec prodiskutujte získané výsledky ve třídě a vytvořte závěry.

Polarita indukovaného napětí závisí na směru pohybu magnetu, orientaci magnetu a smyslu vinutí cívky; velikost napětí závisí na počtu závitů cívky, rychlosti pohybu magnetu (tedy vlastně rychlosti změny

magnetického pole), magnetické indukci pole magnetu a úhlem mezi osou magnetu a osou cívky (i tyto dvě posledně jmenované závislosti souvisí s rychlostí změny magnetického pole).

Dá se říci, že velikost indukovaného napětí je úměrná počtu závitů cívky a rychlosti změny magnetického pole.

Úkol č. 3: Jak vytvoříte na cívce elektrické napětí bez použití permanentního magnetu?

Provedení: Zapište své nápady na to, jak vytvořit napětí na cívce bez pomoci permanentního magnetu, který jste používali v předchozích úkolech. Zkuste vymyslet co nejvíce možností.

Místo permanentního magnetu můžeme použít elektromagnet (druhou cívku s jádrem připojenou ke zdroji stejnosměrného napětí) a pohybovat s ním vůči cívce.

Jelikož indukované napětí závisí na rychlosti změny magnetického pole v cívce, je také možno měnit proud v cívce elektromagnetu (zapínáním a vypínáním nebo pomocí reostatu).

Nyní vytvořte hypotézy, jak na těchto faktorech vzniklé napětí závisí.

Závislost na pohybu elektromagnetu – stejně jako v úkolu č. 2.

Závislost na změně proudu v elektromagnetu:

- čím rychlejší změna proudu (reostatem nebo zapnutím/vypnutím), tím větší indukované napětí,
- při zapnutí či zvýšení proudu má indukované napětí opačnou polaritu než při vypnutí či snížení proudu.

Nyní ověřte hypotézy a zapište výsledky.

Naše hypotézy se podařilo potvrdit v plném rozsahu.

Nakonec prodiskutujte získané výsledky ve třídě a vytvořte závěry.

Opět můžeme konstatovat, že velikost indukovaného napětí je úměrná počtu závitů cívky a rychlosti změny magnetického pole.

Úkol č. 4: Jak z cívky vytvoříte zdroj napětí (tj. jak zařídíte, aby napětí na cívce vznikalo neustále)?

Provedení: Zapište své nápady na to, jak vytvářet napětí na cívce dlouhodobě.

Na cívce se bude napětí vytvářet neustále, pokud se bude neustále nacházet v proměnném magnetickém poli. Jak toho docílit?

- můžeme vzít permanentní magnet a neustále ho zasouvat do cívky a zase vysouvat
- můžeme magnetem okolo cívky otáčet
- můžeme vzít elektromagnet a měnit neustále proud jím procházející

Ověřte, zda vaše nápady fungují. Zamyslete se nad tím, který z použitých způsobů lze nejnadhěji realizovat v praxi v elektrárně.

Všechny nápady fungují!

Otáčení magnetu se zařídí snadněji než jeho zasouvání a vysouvání.

Závěrečné poznámky

Jiné varianty a další možné úpravy či doporučení

Tuto práci lze uskutečnit i se studenty nižšího stupně gymnázia v rámci probírání elektromagnetické indukce a střídavého napětí.

Pro oživení a upoutání pozornosti je možné ještě navíc doplnit motivační pokus s cívkou na uzavřeném jádře (300z, U jádro, I jádro, velký válcový monočlánek, 4 vodiče), kdy k cívce připojíme dva vodiče pro připojení k monočlátku a současně další dva vodiče, které jeden z žáků chytne mezi prsty jedné ruky. Po rozpojení obvodu cítí jemné „kopnutí“. Pokus je průkazný, zaujme, není přitom nebezpečný.

Reflexe po hodině

Rychlost a kvalita „splnění úkolů“, vymýšlení a ověřování hypotéz velmi závisí i na předchozích zkušenostech a „trénovanosti“ žáků. Vymezení konkrétního času na samotné bádání může být někdy problematické a vyžaduje občas průběžnou změnu množství a úrovně požadavků v závislosti na aktuální situaci.

Aktivita měla u žáků vyšších ročníků víceletého gymnázia (sexta) rychlejší průběh než u jejich stejně starých spolužáků na čtyřletém gymnáziu. Paradoxně ale (možná proto, že se ve fyzice na víceletém gymnáziu „postupuje po spirále“, kdy se k jedné věci žáci dostanou na různých úrovních vícekrát a žáci se s pokusy s cívkou už setkali) objevitelské nadšení bylo menší než v případě jejich spolužáků z čtyřletého gymnázia.

Navazující a rozšiřující aktivity

Výpočty z Faradayova zákona elektromagnetické indukce,
střídavý proud, transformátor
elektrárny, „výroba elektrické energie“