

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DISERTAČNÍ PRÁCE



Mgr. Věra Koudelková

Elektrina a magnetismus vlastníma rukama a hlavou

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí disertační práce: Doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Didaktika fyziky a obecné otázky fyziky

Praha 2016

Na tomto místě bych ráda poděkovala svému školiteli doc. RNDr. Leoši Dvořákovi, CSc. za velmi cenné rady a čas, který s mou prací strávil. Stejně tak děkuji RNDr. Ireně Dvořákové za průběžné čtení práce a cenné připomínky.

Děkuji i všem kolegům z KDF MFF UK za jejich postřehy, jmenovitě navíc RNDr. Zdeňkovi Šabatkovi za spolupráci s překladem testu CSEM a Mgr. Pavlovi Böhmovi za naprogramování apletu zobrazujícího elektrostatické pole okolo bodových nábojů. RNDr. Stanislavu Gottwaldovi bych chtěla poděkovat za podporu a za možnost spolupráce na seminářích „Učitelské školky“. Studentce Bc. Janě Machalické děkuji za převod připravených experimentů do Sbírký fyzikálních pokusů.

Moje poděkování patří i všem učitelům a kolegům, kteří ochotně zadali test zkoumající miskoncepce studentů ve svých třídách.

Velký dík patří také mé rodině za stálou podporu během mého doktorského studia.

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova v Praze má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 20. 6. 2016

Věra Koudelková

Název práce: Elektřina a magnetismus vlastníma rukama a hlavou

Autor: Věra Koudelková

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí disertační práce: Doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc., KDF

Abstrakt: Disertační práce je zaměřena na porozumění středoškolských studentů elektřině a magnetismu a na pokusy použitelné ve výuce, které mohou pomoci toto porozumění rozvíjet. Celou práci lze rozdělit na dvě části:

V první části, která má výzkumný charakter, jsou popsány vybrané miskoncepce studentů. Jsou zde komentovány miskoncepce známé ze zahraniční literatury a výsledky výzkumu pomocí nově připraveného Konceptuálního testu z elektřiny a magnetismu. Tento test vychází ze známého testu Conceptual Survey of Electricity and Magnetism, na rozdíl od něj a většiny dalších zahraničních konceptuálních testů, které se týkají elektřiny a magnetismu, je však určen primárně pro studenty středních škol.

Druhá část disertační práce má spíše vývojový charakter. V rámci ní byly připraveny metodické materiály, náměty na laboratorní práce i samostatné experimenty, které volně navazují na zjištěné miskoncepce. Vznikly tak čtyři scénáře výukových celků (vybrána byla převážně témata, která byla identifikována jako problematická a pro studenty špatně srozumitelná), čtyři laboratorní práce a 13 samostatných experimentů. Připravené materiály byly ověřeny ve výuce na střední škole a na akcích dalšího vzdělávání učitelů fyziky, zkušenosti s jejich využitím jsou v práci popsány.

Klíčová slova: Elektřina a magnetismus, fyzikální vzdělávání, jednoduché experimenty, miskoncepce

Title: Electricity and magnetism: Hands-on minds-on approach

Author: Věra Koudelková

Department: Department of Physics Education

Supervisor: Doc. RNDr. Leoš Dvořák, CSc., KDF

Abstract: The PhD. thesis is focused on high school students' understanding of electricity and magnetism and on experiments which can help students to develop this understanding. The thesis can be divided into two parts:

In the first research part typical misconceptions of high school students in the area of electricity and magnetism are described, both misconceptions known from foreign literature and results of Czech Conceptual Test of Electricity and Magnetism. This test is based on the known Conceptual Survey of Electricity and Magnetism, but unlike it and other conceptual tests in electricity and magnetism this new Czech test is intended for high school students.

The second part of the thesis is developmental. It contains methodical materials, lab works and experiments which partly arise from the discovered misconceptions. In this part of the work four learning sequences (we chose topics, which were identified as problematic for students), four laboratory works and 13 experiments are described. Prepared materials were verified during instructions in high school and during conferences for physics teachers. Experiences with them are described in the thesis.

Keywords: Electricity and magnetism, physics teaching, hands-on minds-on experiments, misconceptions

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Vymezení pojmů	2
1.2 Obsah práce	2
2. Konceptuální testy týkající se elektřiny a magnetismu	4
2.1 Conceptual survey of Electricity and Magnetism (CSEM)	5
2.2 Brief electricity and magnetism assesment (BEMA)	6
2.3 The Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concept Test (DIRECT).....	7
2.4 Magnetism Conceptual Survey (MCS).....	9
2.5 Další konceptuální testy	10
3. Typické miskoncepce v oblasti elektřiny a magnetismu	11
3.1 Elektrostatika	12
3.2 Elektrický proud a napětí ve stejnosměrných obvodech	15
3.3 Stacionární magnetické pole.....	16
3.4 Elektromagnetická indukce.....	21
4. Konceptuální test z elektřiny a magnetismu (KTEM)	24
4.1 Důvody a historie vzniku testu.....	24
4.2 Vznik testu KTEM	25
4.3 KTEM verze 3.....	27
4.4 Metodika testování	28
4.5 Položková analýza testu	32
4.6 Rozbor otázek a zjištěné miskoncepce	34
5. Experimenty a metodické materiály	48
5.1 Experimenty ve výuce fyziky	49
5.2 Experimenty	54
5.3 Metodické materiály	74
5.4 Laboratorní práce.....	77
6. Zkušenosti z využití materiálů ve výuce	81
6.1 Zkušenosti z využití materiálů ve výuce	81
6.2 Posun znalostí studentů.....	92
6.3 Zkušenosti z Praktik školních pokusů II.....	99
6.4 Reakce učitelů	100
7. Závěr	108
Seznam použité literatury	111

Seznam tabulek.....	120
Seznam vlastních publikací relevantních k tématu dizertační práce	121
Přílohy	124
Příloha A – Konceptuální test z elektřiny a magnetismu.....	125
Příloha A1: Překlad vybraných otázek testu CSEM (viz kapitola 4.1)	126
Příloha A2: KTEM verze 1	136
Příloha A3: KTEM verze 3	144
Příloha A4: Zkrácený test KTEM s prostorem na zdůvodnění	152
Příloha B – Metodické materiály	157
Příloha B1: Rozložení náboje na vodiči a izolantu – metodický text	158
Příloha B2: Intenzita a potenciál – metodický text	165
Příloha B3: Kapacita, kondenzátor – metodický text	178
Příloha B4: Magnetismus – metodický text.....	185
Příloha C – Pracovní listy k laboratorním pracím.....	195
Příloha C1: Coulombův zákon a kutálení plechovky – pracovní list k lab. práci.....	196
Příloha C2: Kapacita a kondenzátor – pracovní list k laboratorní práci	198
Příloha C3: Proud a napětí v obvodu – pracovní list k laboratorní práci.....	200
Příloha D – Vybrané publikované články	202
Příloha D1: How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead.....	203
Příloha D2: High school students’ misconceptions in electricity and magnetism... ..	206
Příloha D3: Ukázky laboratorních prací z elektřiny a magnetizmu.....	212

1. Úvod

Elektřina a magnetismus je žáky základních, středních a vysokých škol často vnímána jako složitá a abstraktní partie fyziky. Příčin může být víc: jednak jde o partii, kde se studenti setkávají s (pro ně) poměrně složitou matematikou (na střední škole se zde objevuje práce s velmi malými čísly a zápisem čísel v exponenciálním tvaru, vzorce jsou oproti např. mechanice poměrně složité a pro studenty neintuitivní, na vysoké škole se zde studenti poprvé ve větší míře setkají s diferenciálními operátory). Druhý důvod je možná podstatnější – velkou část jevů elektřiny a magnetismu nelze zkoumat pouze vlastními smysly (elektrické ani magnetické pole není vidět, zkoumat ho lze jen prostřednictvím chování něčeho jiného). Studenti si tak tyto jevy hůře představí, což nepříspěvá k jejich porozumění.

Přestože žáci znají některé jevy elektřiny a magnetismu již od velmi nízkého věku (z vlastní zkušenosti vím, že žáci na 1. stupni ZŠ experiment s nabitou tyčí zvedající papírky automaticky pojmenují jako „statická elektřina“), se správným porozuměním těmto jevům mají problém i v mnohem pozdějším věku.

Záměrem této disertační práce je přispět k tomu, aby se studenti zejména středních škol mohli s koncepty v oblasti elektřiny a magnetismu seznamovat tak, že to povede k lepšímu a hlubšímu pochopení. Konkrétně má proto disertační práce dva cíle:

- Zjistit, jaké typické miskoncepce mají studenti středních škol v oblasti elektřiny a magnetismu, a srovnat je s miskoncepce známými ze světa.
- Připravit a ověřit materiály, které by měly studentům pomoci s porozuměním některým problematickým partiím elektřiny a magnetismu a s překonáním jejich miskonceptů.

Vzhledem k šíři tématu elektřiny a magnetismu se práce věnuje jen některým dílčím tématům, která z výzkumů plynou jako problematická. Z oblasti elektrostatiky tak jde například o témata: Coulombův zákon, intenzita a potenciál, rozložení náboje na vodičích a izolantech, kapacita a kondenzátor; z dalších témat se práce věnuje například vlastnostem magnetických materiálů, elektromagnetické indukci a transformátorům.

1.1 Vymezení pojmů

Terminologie pojmů týkajících se porozumění studentů konkrétním poznatkům fyziky není v literatuře příliš ustálená. V textu práce používám termíny „koncept“, „prekoncepce“ a „miskoncepce“. Podobný význam jako termín „prekoncepce“ mají v angličtině například pojmy „preconceptions“, „children’s ideas“, „naive beliefs“, „intuitive ideas“ ale i např. „common sense concepts“. Za významově podobné pojmy k pojmu „miskoncepce“ lze v angličtině považovat pojmy „misconceptions“, „alternative frameworks“ a další. Podrobný rozbor těchto pojmů i jejich významových odlišností lze najít v knize [1]. V textu práce používám slova koncept, prekoncepce a miskoncepce ve smyslu definic uvedených v [1]: Konceptem rozumím „myšlenkové představy korespondující se souborem příbuzných jevů či reálných i abstraktních objektů“. Prekoncepce pak chápu jako „představy a interpretace objektů a jevů, které si člověk vytváří od raného dětství na základě bezprostředního vnímání a pozorování okolního světa, na základě manipulace s objekty tvořícími tento svět a na základě intuitivního zobecňování svých zkušeností“ (viz [1], str. 11). Termín miskoncepce v práci používám ve smyslu „chybný koncept, který je v rozporu s vědeckými poznatky“ bez ohledu na to, zda se jedná o chybnou prekoncepti nebo zda miskoncepce u žáka přetrvává i po absolvování školní výuky.

V práci používám pojmy „žák“ a „student“. S vědomím toho, že „žák“ je pojem obecnější, používám toto označení pro žáky všech stupňů škol, není-li to v konkrétní části práce blíže specifikováno. Pojmem „student“ myslím žáky středních nebo vysokých škol, pokud to není konkretizováno v příslušné části práce. Pod pojmy „žák“ resp. „student“ rozumím žáky i žákyně resp. studenty i studentky.

1.2 Obsah práce

Samotný text práce je rozdělen do pěti kapitol, z nichž první dvě kapitoly jsou teoretické, další tři kapitoly se věnují provedenému výzkumu a vlastní praktické práci.

V první kapitole shrnuji testy, které jsou ve světě používány k identifikaci miskoncepcí studentů převážně vysokých škol v oblastech patřících do elektřiny a magnetismu.

Druhá kapitola popisuje známé miskoncepce žáků v oblasti převážně elektrického a magnetického pole.

Třetí kapitola popisuje v první části vznik a vývoj Konceptuálního testu z elektřiny a magnetismu (KTEM), který je zaměřen na identifikaci miskoncepcí českých studentů středních škol. Druhá část kapitoly se věnuje výsledkům výzkumu a identifikovaným miskoncepším.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány pokusy, metodické materiály a náměty na laboratorní práce. Velká část pokusů je přímo navázána na konkrétní zjištěné miskoncepce tak, aby studenti měli příležitost k lepšímu porozumění danému jevu. Část pokusů je nově vyvinuta, ostatní jsou sice inspirovány pokusy známými z (převážně zahraniční) literatury, byly ale ověřeny a byl zjišťován jejich dopad na porozumění studentů. Jako metodické materiály označuji konkrétní zpracované scénáře hodin včetně metodických a technických doporučení. Tyto materiály byly vyvinuty tak, aby pomohly studentům lépe porozumět problematickým partiím elektřiny a magnetismu a současně aby výuka byla pro studenty smysluplná – velký důraz je tak dán na to, aby studenti viděli užitek dané partie v praxi a aby měli možnost si dané jevy samostatně vyzkoušet.

Pátá kapitola pak popisuje zkušenosti s vytvořenými materiály jednak ve výuce přímo ve škole a jednak na seminářích pro učitele zapojené v projektu Heuréka, v projektu Elixír do škol i v rámci Klubu Světa Energie ČEZ. Seminářů se celkem účastnilo přibližně 150-200 učitelů ze základních a středních škol.

Přílohy na konci práce obsahují:

- Konceptuální test z elektřiny a magnetismu.
- Celý text metodických materiálů.
- Pracovní listy připravené k laboratorním pracím.
- Vybrané vlastní články popisující připravené experimenty a laboratorní práce.

2. Konceptuální testy týkající se elektřiny a magnetismu

Konceptuálních testů z elektřiny a magnetismu existuje mnoho. Vzhledem k šíři celé kapitoly elektřiny a magnetismu se většina testů zaměřuje jen na některá témata. Kromě samotné identifikace běžných miskoncepcí studentů jsou testy často používány ke zjišťování efektivity různých výukových metod – jejich vlivu na porozumění studentů. Následující kapitola obsahuje přehled několika nejběžnějších testů, jednotlivé testy jsou seřazeny podle počtu citací původních článků v databázi Scopus (viz [2]).

Ve většině výzkumů miskoncepcí studentů je test studentům zadán dvakrát – před absolvováním výuky ke zjištění jejich počátečních znalostí (tento test je označován jako pretest) a ihned po absolvování výuky (bývá označován jako posttest). Tohoto značení se drží i následující přehled.

Posun výsledků studentů mezi pretestem a posttestem je označován jako „zisk“ (ang. „gain“, resp. „normalized gain“, viz např. [3]):

$$G = \frac{\text{Posttest}(\%) - \text{Pretest}(\%)}{1 - \text{Pretest}(\%)},$$

kde „Posttest (%)“ resp. „Pretest (%)“ je procentní skóre studentů v posttestu resp. pretestu.

Většina testů obsahuje otázky s výběrem z několika možností, z nichž právě jedna je správná (tzv. „multiple-choice questions“). Špatné možnosti (distraktory) jsou obvykle vybírány na základě výzkumů tak, aby pokrývaly nejpravděpodobnější špatné odpovědi studentů. Tento typ testů je vhodný pro výzkum na velkém množství studentů, na druhou stranu neposkytuje podrobnější informace o tom, proč student zvolil zrovna danou možnost. Výzkum bývá proto vhodné doplnit např. strukturovanými rozhovory s malým vzorkem studentů, případně nechat studentům možnost svou odpověď zdůvodnit.

Dva z dále zmiňovaných testů (CURrENT a CUE) mají jiný design – obsahují relativně malý počet otázek, které jsou ale otevřené (od studenta se vyžaduje delší odpověď, případně kompletní řešení nějaké problémové úlohy). Z tohoto typu testu lze zjistit podrobnější informace o porozumění studentů danému tématu. Mezi nevýhody takových testů ale patří to, že obvykle pokrývá pouze velmi malou oblast fyziky a lze ho použít jen na menším vzorku respondentů.

Poznámka: Americké univerzity rozlišují dva typy kurzů – „Calculus-based“ a „Algebra-based“. Studenti prvního typu kurzů používají při výuce diferenciální počet, v kurzech druhého typu se diferenciální počet nepoužívá. Výsledky studentů v konceptuálních testech jsou pak obvykle uváděny pro každý typ kurzu zvlášť.

2.1 Conceptual survey of Electricity and Magnetism (CSEM)

CSEM patří k nejpoužívanějším konceptuálním testům v elektřině a magnetismu. Test vznikl na konci devadesátých let na několika univerzitách v USA (původní článek má čtyři spoluautory) a byl poprvé publikován v červenci 2001 v časopise American Journal of Physics (viz [3]). Test je určen pro studenty úvodních kurzů fyziky na VŠ, tomu odpovídá i jeho náročnost a skladba otázek.

Test obsahuje 32 kvalitativních otázek pokrývajících následující témata z elektřiny a magnetismu (přičemž některé otázky jsou zařazeny ve více tématech):

- Rozložení náboje na vodičích a izolantech (3 otázky)
- Coulombův zákon (3 otázky)
- Elektrická síla a rozložení bodových nábojů (3 otázky)
- Síla způsobená elektrickým polem (6 otázek)
- Práce, elektrický potenciál a síla (6 otázek)
- Indukované náboje a elektrické pole (2 otázky)
- Magnetická síla (5 otázek)
- Magnetické pole okolo vodiče s proudem (4 otázky)
- Superpozice magnetického pole (2 otázky)
- Faradayův zákon (4 otázky)
- Třetí Newtonův zákon (4 otázky)

(přeloženo podle [3])

Autoři záměrně z testu vynechali oblast stejnosměrných elektrických proudů. Důvodem byla jednak snaha o „rozumný rozsah“ výsledného testu a jednak existence testu zaměřeného pouze na stejnosměrné elektrické obvody (viz kapitola 2.3).

Součástí první publikace testu jsou i výsledky výzkumu, kterého se účastnilo několik tisíc studentů úvodních kurzů vysokých škol (vzhledem k designu výzkumu se počet

studentů, kteří odpovídali na jednotlivé otázky, mírně lišil). Testování byli studenti dvou různých typů přednášek – „Calculus-based“ a „Algebra/trigonometry-based“. Průměrný výsledek studentů před absolvováním přednášek (pretest) byl 31 % pro Calculus-based resp. 25 % pro Algebra/trigonometry-based. Po absolvování přednášek (posttest) byl průměrný výsledek 47 % resp. 44 %. Normalizovaný zisk je tak 0,23 pro Calculus based resp. 0,25 pro Algebra/trigonometry based. Výsledky se příliš nelišily v závislosti na konkrétní instituci.

CSEM je stále jedním z nejpoužívanějších konceptuálních testů v elektřině a magnetismu, za posledních 5 let má původní článek téměř 100 citací v databázi Scopus (viz [2]), i když poslední roky počet citací mírně klesá. Test je uznáván jako základní konceptuální test z elektřiny a magnetismu, různé studie proto původní článek citují v rešerši konceptuálních testů, z kterých vycházejí v dalším výzkumu (viz např. [4]). Samotný test je často používán k měření efektivity různých výukových metod (viz např. [5]).

2.2 Brief electricity and magnetism assesment (BEMA)

Test BEMA (viz [6]) vznikl v roce 1997 na North Carolina State University. Obsahuje 31 kvalitativních otázek. Test je určen studentům úvodních kurzů vysokých škol, čemuž odpovídá jeho náročnost. Typická úspěšnost v pretestu se pohybuje okolo 20-25 %, úspěšnost v posttestu bývá podle autorů okolo 35 % (běžný kurz) až 50 % (specializovaný kurz). Nejvyšší dosažená úspěšnost byla 81 % u studentů těsně po absolvování dvousemestrálního pokročilejšího kurzu elektřiny a magnetismu, což lze podle autorů považovat za prakticky nejlepší výsledek, kterého lze v testu dosáhnout („...we gave the test to senior physics majors just completing 2 semesters of intermediate E&M, and their average was 81%, which might be considered a practical ceiling.“ [7]).

Test pokrývá následující témata elektřiny a magnetismu (zpracováno podle [7]):

- Coulombův zákon (3 otázky)
- Elektrická intenzita a elektrické pole (4 otázky)
- Silové působení elektrického náboje (1 otázka)
- Elektrický proud v kapalinách (2 otázky)
- Stejnosměrný elektrický obvod (5 otázek)

- Potenciál a napětí v elektrickém poli (4 otázky)
- Částice v magnetickém poli (2 otázky)
- Magnetické pole permanentního magnetu (2 otázky)
- Magnetické pole okolo vodiče s proudem (1 otázka)
- Vzájemné působení vodičů s proudem (1 otázka)
- Elektromagnetické pole (4 otázky)
- Elektromagnetická indukce, Faradayův zákon (2 otázky)

Na rozdíl od testu CSEM nebyl tento test veřejně publikován a je dostupný jen na vyžádání. I přesto je původní článek poměrně často citován, za posledních 5 let má v databázi Scopus více než 50 citací.

Testy CSEM a BEMA jsou si v mnohém podobné, zdá se, že některé otázky v testu BEMA vycházejí z otázek v testu CSEM. Test BEMA navíc pokrývá i oblast elektrického proudu a napětí (včetně vedení proudu v kapalinách); v testu CSEM je více otázek, které se týkají elektrického pole, pokrývá tak tuto oblast podrobněji.

Ze subjektivního porovnání obou testů se zdá, že BEMA má o něco méně abstraktní zadání, přesto ale výrazně překračuje míru srozumitelnosti pro studenty středních škol (podrobněji je o důvodech vzniku testu určeného pro středoškolské studenty pojednáno v kapitole 4.1).

2.3 The Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concept Test (DIRECT)

DIRECT test byl poprvé publikován v časopise American Journal of Physics v roce 2004 (viz [8]). Test je zaměřen na miskoncepce studentů středních a vysokých škol týkající se stejnosměrných elektrických obvodů. V tomto tématu autoři testu identifikovali 11 očekávaných výstupů výuky (upraveno a zkráceno podle [8]).

Student:

- (1) rozpozná a vysvětlí zkrat (proud teče cestou nejmenšího odporu).
- (2) rozumí tomu, že každý prvek elektrického obvodu má dva konce, kterými se připojuje.
- (3) rozpozná uzavřený elektrický obvod a rozumí tomu, že uzavřený elektrický obvod je nutný ke konstantnímu elektrickému proudu (náboje jsou

v pohybu, ale jejich rychlost v libovolném místě se nemění a nikde v obvodu se náboj nehromadí).

- (4) aplikuje koncept elektrického odporu včetně toho, že elektrický odpor je vlastnost objektu (geometrie objektu a typu materiálu, ze kterého je objekt vytvořen) a že elektrický odpor zapojený sériově vzrůstá přímo úměrně s počtem zapojených elementů a v paralelním zapojení s počtem zapojených elementů klesá.
- (5) interpretuje obrázky a diagramy různých elektrických obvodů včetně sériového a paralelního zapojení a jejich kombinací.
- (6) aplikuje koncept výkonu (práce vykonaná za čas) v různých obvodech.
- (7) aplikuje konceptuální porozumění zákonu zachování energie včetně 2. Kirchhoffova zákona a baterie jako zdroje energie.
- (8) rozumí 1. Kirchhoffovu zákonu a aplikuje ho v různých elektrických obvodech.
- (9) vysvětlí mikroskopické aspekty proudu tekoucího v obvodu pomocí elektrostatických termínů jako elektrické pole a rozdíl potenciálů a silového působení mezi nabitými částicemi.
- (10) aplikuje znalost o tom, že množství proudu je závislé na napětí udržovaném baterií a odporu obvodu.
- (11) aplikuje koncept napětí na různé obvody včetně znalosti, že napětí se v sériovém zapojení sčítá a v paralelním zapojení zůstává stejné.

Na tyto očekávané výstupy je zaměřeno 29 otázek testu (některé otázky pokrývají více výstupů).

Poslední verze testu (DIRECT 1.1) byla zadána 692 studentům v Kanadě, Německu a USA. 251 zapojených studentů bylo ze středních škol a 441 z vysokých škol. Průměrná úspěšnost byla 36 % u studentů středních škol resp. 44 % u vysokoškolských studentů. V návaznosti na testování autoři pomocí rozhovoru s vybranými studenty identifikovali 18 miskoncepcí, z nichž 9 se podle autorů vyskytovalo velmi často.

Původní článek má za posledních pět let přes 50 citací v databázi Scopus ([2]). Kromě studií, které původní článek zmiňují v přehledu konceptuálních testů, ze

kterých vycházejí, je test používán například i ke srovnání různých výukových metod (viz např. článek [9] týkající se výuky v Latinské Americe).

2.4 Magnetism Conceptual Survey (MCS)

Test MCS je ze zmiňovaných testů nejmladší – byl poprvé prezentován na Physics Education Research Conference v roce 2011 a publikován ve sborníku z této konference (viz [10]). Výzkumu se zúčastnilo okolo 850 studentů v pretestu i posttestu (z nichž přibližně 270 navštívilo Algebra-based přednášky, ostatní absolvovali Calculus-based přednášky).

Jedním z výsledků výzkumu je, že ženy, které absolvovaly Calculus-based přednášky byly v posttestu statisticky horší než muži (absolvující stejný typ přednášek). V Algebra-based skupině byl rozdíl také, ale nebyl statisticky významný. Autoři dávají rozdíl mezi ženami a muži do souvislosti s tím, že k vyřešení většiny otázek v testu je potřeba si problém představit ve 3D. Ženy mají podle autorů (a jimi citovaných zdrojů) lepší verbální schopnosti, ale horší prostorové.

Samotný test vznikl v rámci dizertační práce [11]. Obsahuje 30 otázek s výběrem odpovědi z pěti možností, u každé otázky je ale požadováno také vysvětlení. Test pokrývá následující koncepty (přeloženo podle [11] str. 145, v závorce je uveden počet otázek týkajících se daného tématu; jedna otázka se může týkat více témat):

- Magnetická síla působící na permanentní magnety (3)
- Rozlišení mezi elektrickými náboji a magnetickými póly (3)
- Směr magnetického pole uvnitř a vně permanentního magnetu (2)
- Síla působící na nabitou částici v magnetickém poli a dalších polích (4)
- Pohyb částice nemusí nutně způsobovat sílu (3)
- Směr pohybu nebo magnetické síly na částici pohybující se v magnetickém poli (4)
- Práce v magnetickém poli (2)
- Síla působící na vodič s proudem umístěný v magnetickém poli (3)
- Síla mezi rovnoběžnými vodiči s proudem (3)
- Magnetické pole generované vodičem ve tvaru smyčky, kterým teče proud (3)

2.5 Další konceptuální testy

Z dalších konceptuálních testů z elektřiny a magnetismu lze zmínit například:

- CURrENT (zkratka pochází z názvu Colorado UppeR-division ElectrodyNamics Test – viz [12]), který se týká elektrodynamiky. Test je kratší než bývá obvyklé, pretest obsahuje 3 otázky, posttest 6 otázek, otázky jsou ale otevřené.
- The Colorado Upper-Division Electrostatics Assessment (CUE, viz [13]) vzniklý také na University in Colorado obsahuje 17 otevřených otázek týkajících se elektrostatického a stacionárního magnetického pole.
- Diagnostic Exam of Electricity and Magnetism (DEEM, viz [14]) vznikl jako součást dizertační práce na Rensselaer Polytechnic Institute in New York. Test obsahuje 66 otázek, které lze shrnout do 6 oblastí: Síla působící na částici v elektrickém a magnetickém poli, vlastnosti elektrického a magnetického pole, elektrostatický potenciál, potenciální energie v elektrostatickém poli, Maxwellovy rovnice, indukované proudy.

Z přehledu výše je vidět, že neexistuje pouze jeden používaný a široce rozšířený konceptuální test z elektřiny a magnetismu (například pro mechaniku by takovým testem mohl být Force Concept Inventory [15] apod.). Na druhou stranu, pro oblast elektrického a magnetického pole je nejrozšířenější test CSEM, pro téma elektrických obvodů potom DIRECT.

Většina testů je zaměřena pouze nebo převážně na studenty vysokých škol – zadání je pro středoškolské studenty příliš složité a abstraktní, případně je téma těchto testů zcela mimo oblast obvykle probíranou na českých středních školách. Výjimkou je test DIRECT, který by mohl, po drobných úpravách, být použit i pro studenty českých středních škol.

3. Typické miskoncepce v oblasti elektřiny a magnetismu

Miskoncepce žáků různého věku, dospělých i předškolních dětí jsou v popředí zájmu didaktiky fyziky už několik desítek let. Velká pozornost byla v tomto ohledu věnována mechanice (viz např. široce známý test Force Concept Inventory [15]). Z výzkumů, které se věnují miskoncepším v elektřině a magnetismu, se velké procento věnuje miskoncepším žáků týkajících se jednoduchých elektrických obvodů (z nich nejznámější a nejobsáhlejší je výzkum pomocí testu DIRECT [8]).

Z výše uvedených výzkumů i výzkumů, které jsou citovány v dalších částech kapitoly, vyplývá, že miskoncepce jsou velmi zakořeněné v myšlení studentů a velmi špatně odbouratelné. Nové poznatky studenti staví na svých předchozích konceptech a budují tak stabilní představy, kterých se často drží, i když se ukáže, že některé z původních základů neodpovídají vědeckým poznatkům. Naopak, často studenti přizpůsobují nové poznatky tak, aby vyhovovaly původním (nevědeckým) představám. I pokud se zdá, že studenti díky výuce své miskoncepce opustili, je možné, že se k nim po nějaké době vrátí. Některé výzkumy tak u učitelů 1. stupně našly stejné miskoncepce, které jsou běžné u prvostupňových žáků (viz podkapitola 3.3).

Výzkumy také ukazují, že si studenti občas drží dvě sady představ – „vědeckou“, kterou používají ve škole, a „původní“, podle které se řídí v běžném životě. Odbourávání miskoncepčí je dlouhodobý a náročný proces, na který rozhodně nestačí několik hodin výuky daného tématu ve škole. Pozitivnější je, že některé nevědecké představy se přece jen povede během školní výuky odbourat.

Jsou-li v této kapitole uvedeny miskoncepce konkrétní věkové skupiny, je poměrně pravděpodobné, že stejné miskoncepce se objevují i u jiných věkových skupin. Z tohoto důvodu zde nejsou vždy striktně uvedeny skupiny studentů, na kterých byly dané výzkumy prováděny.

Cílem této kapitoly je vytvořit přehled častých miskoncepčí v tématech týkajících se elektrického a magnetického pole a elektromagnetické indukce a srovnat je s těmi, které se objevily ve výzkumu KTEM (viz kapitola 4). Miskoncepce týkající se elektrických obvodů jsou v češtině popsány v knize [1], v této kapitole proto jen stručně popisují ty, kterých se týká laboratorní práce Proud a napětí v obvodu (viz

kap. 5.4). Z témat patřících do výuky elektřiny a magnetismu na středních školách zde nejsou zmíněny miskoncepce z témat Elektrický proud v kapalinách a plynech, Polovodiče a Elektromagnetické kmitání a vlnění, protože se těmto tématům ve výzkumu KTEM ani ve vlastních materiálech nevěnuji.

Přehled uvedených miskonceptů vychází z výzkumů zmiňovaných v kapitole 2 (např. CSEM, MCS a další), ale i dalších výzkumů týkajících se miskonceptů v dané konkrétní oblasti elektřiny a magnetismu.

3.1 Elektrostatika

Výzkumy, ze kterých vychází přehled miskonceptů v této podkapitole, byly prováděny na studentech středních škol nebo úvodních ročníků vysokých škol. Dá se ale očekávat, že většinu ze zmíněných miskonceptů by šlo najít i u dospělých.

Elektrické pole

Článek [16] zmiňuje zajímavé miskoncepce týkající se elektrického pole:

„Studenti vnímají elektrické pole jako statické v tom smyslu, že toto pole existuje v prostoru, působí silou na náboje a nemění se, když se v dané oblasti objeví další částice.“ (přeloženo podle [16]). Velká část studentů, kteří v příslušném výzkumu odpověděli špatně, svou odpověď zdůvodnila větou ve smyslu „elektrické pole je „vlastnost“ prostoru – jeho úkolem je působit silou na náboje v tomto prostoru.“ Tato miskoncepce může mít podle autorů výzkumu původ v učebnicích, ve kterých je elektrické pole často zobrazováno jako statické, které není ovlivněno přítomným nábojem, ale naopak na tento náboj působí silou.

Podobný problém vyplynul i z výsledků CSEM: „Znatelné procento studentů si není jisto tím, jak se nový náboj projeví na směru a intenzitě elektrického pole.“ (přeloženo podle [3]).

Přehledový článek [17] zmiňuje i časté miskoncepce týkající se reprezentace elektrického pole pomocí siločar:

- elektrické siločáry jsou reálné
- elektrické siločáry se mohou křížit
- elektrické siločáry mohou začínat i končit kdekoliv
- množství siločar je omezené

Turecký výzkum popsáný v článku [18] se věnuje mimo jiné částici v elektrickém poli. Z tohoto výzkumu vyplynulo, že mezi časté špatné představy studentů patří:

- každá nabitá částice se pohybuje ve směru intenzity elektrického pole bez ohledu na její náboj
- nabitě částice se v homogenním elektrickém poli pohybují konstantní rychlostí
- částice pohybující se proti směru elektrické intenzity vždy zpomaluje

Elektrický náboj

V článku [17] jsou uvedeny následující miskoncepce týkající se elektrického náboje:

- neutrální objekt nemá žádné náboje
- nabitý objekt obsahuje buď pouze protony, nebo pouze elektrony

První z miskoncepí uvádí i William J. Beaty z University of Washington in Seattle na svých webových stránkách věnujících se miskoncepším v elektřině [29] konstatuje, že to je přesně opačně – záporný elektron a kladný proton tvoří neutrální atom, takže lze říct, že všechny objekty „jsou náboje“.

Vodiče a izolanty

Z výzkumu CSEM (viz [3]) plyne, že studenti mají problém s pochopením rozložení náboje na vodiči a izolantu. Z výsledků se zdá, že velké množství studentů není schopno rozlišovat mezi vodiči a izolanty. Přestože velká část studentů správně zodpověděla otázku týkající se rozložení náboje na vodiči (i když část z nich je přesvědčena, že náboj se rovnoměrně rozloží po vnější i vnitřní stěně dutého vodiče), otázka týkající se rozložení náboje na izolantu dopadla výrazně hůř – rozložení jednotlivých odpovědí je v podstatě náhodné.

Obdobná otázka byla zařazena i do testu KTEM, výsledky jsou podobné (viz kapitola 4.6).

Článek [17] zmiňuje několik miskoncepí týkajících se přenosu náboje z jednoho tělesa na druhé:

- přenos mezi opačně nabitými vodivými tělesy probíhá pouze do té doby, dokud jedno z těles není bez náboje.

- náboj na každém ze dvou vodivých těles zůstává při jejich vzájemném dotyku beze změny bez ohledu na znaménka původních nábojů.

Coulombův zákon

Z výzkumu CSEM vyplynulo, že studenti nemají problém s jednoduchými úlohami týkajícími se Coulombova zákona. Stále se ale drží miskoncepce týkající se 3. Newtonova zákona – silnější náboj působí na slabší náboj větší silou. Problém týkající se 3. Newtonova náboje zmiňuje i turecký výzkum [18]: „Těleso mající větší náboj působí větší silou“ a „Dvě částice působící na sebe vzájemně stejnou silou se budou pohybovat stejně rychle i přesto, že jejich hmotnosti jsou různé.“

Nezanedbatelné procento studentů, kteří se účastnili testu CSEM, je přesvědčeno, že jestliže náboje vzdálíme na 3x větší vzdálenost, síla poklesne také na 1/3.

Z výzkumu KTEM, ve kterém jsou dvě otázky týkající se Coulombova zákona obdobné jako v testu CSEM, vyšly podobné výsledky (podrobněji viz kapitola 4.6).

Kondenzátor

Článek [17] zmiňuje několik miskonceptů týkajících se kapacity a kondenzátoru. Například:

- náboje přeskakují z jedné desky kondenzátoru na druhou
- deskové kondenzátory uchovávají napětí

Stejný článek hledá souvislost mezi miskoncepce studentů a formulacemi v učebnicích. V této souvislosti zmiňuje například častou formulaci „kondenzátor je zařízení na uchovávání náboje“, která může být jednou z příčin miskoncepce ve smyslu „v nabitém kondenzátoru je nenulový celkový náboj“. Studenti si tak neuvědomují, že celkový náboj na deskovém kondenzátoru je nulový, že kladný náboj na jedné desce je stejně velký jako záporný náboj na druhé.

Stejnou miskoncepti uvádí i William J. Beaty [29]: Nabíjením se kondenzátor naplní nábojem; kondenzátor skladuje elektrický náboj.

Výzkum [18] popisuje následující miskoncepce týkající se kondenzátoru zapojeného v obvodu:

- „Někteří studenti věří, že vložení izolantu mezi dvě vodivé desky kondenzátoru zabrání elektrickému proudu projít skrz tento obvod, proto na deskách nebude žádný náboj.“
- „Vložení izolantu mezi dvě vodivé desky kondenzátoru sníží kapacitu kondenzátoru, protože izolant zabrání přenosu náboje z jedné desky na druhou a tedy nemůže téct elektrický proud.“ (přeloženo podle [18])

3.2 Elektrický proud a napětí ve stejnosměrných obvodech

Jak již bylo řečeno, miskoncepce v jednoduchých elektrických obvodech se věnuje velké množství výzkumů, většina těchto miskoncepce je mezi učiteli fyziky poměrně známa. V češtině jsou popsány v knize [1]. Z tohoto důvodu jsou do této podkapitoly vybrány pouze ty miskoncepce, které se týkají tématu laboratorní práce Proud a napětí v obvodu (viz kapitola 5.4). Miskoncepce jsou zpracovány podle publikace [1].

Jednou z nejčastějších špatných představ je, že proud se v obvodu spotřebovává. Tato představa se projevuje například v těchto miskoncepcech:

- Hodnota proudu naměřeného v sériovém obvodu závisí na tom, v kterém místě ho měříme.
- Jas žárovek závisí na jejich postavení v sériovém obvodu.

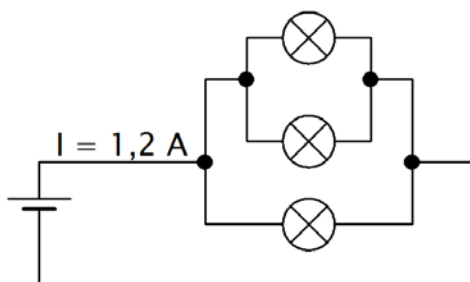
Žáci často nerozlišují mezi elektrickým proudem a napětím:

- Napětí mezi všemi body sériového elektrického obvodu je stejné. Tato miskoncepce vychází nejspíše z toho, že pojem napětí je pro žáky obtížný. Jestliže proto slyší, že v sériovém obvodu je všude stejný proud, snadno usoudí, že je všude stejné i napětí.

Proud v rozvětveném obvodu:

- Proud se v uzlu rozdělí tak, jako by nevěděl, co bude dál.
- Proud protéká postupně jednotlivými prvky a jeho velikost ovlivňuje jen to, kudy už prošel.

Z těchto miskoncepcí plyne častá chyba při řešení úlohy týkající se proudu, který teče paralelně zapojenými žárovkami (viz například obvod na obrázku 3.1) – studenti jsou často přesvědčeni, že proud v jednotlivých větvích je stejný jako celkový proud procházející obvodem a „v uzlu ještě nemůže vědět, jak se bude dělit dál“.



Obr. 3.1. Jaký proud protéká jednotlivými žárovkami? K miskoncepti týkající se rozdělení proudu do jednotlivých větví (převzato z [1])

3.3 Stacionární magnetické pole

Miskoncepce v první části podkapitoly byly popsány převážně u žáků 1. stupně ZŠ, ale popisovány jsou i u druhostupňových žáků a ukazuje se, že obdobné miskoncepce mají i vyučující na 1. stupni (viz např. výzkum [19]).

Základní vlastnosti magnetů

Kniha [20] zmiňuje, že žáci často spojují magnetismus a gravitaci: Magnetismus je žáky často označován jako „typ gravitace“, případně že gravitace je „zemský magnetismus“. Ve výzkumu popsaném v této publikaci, který byl prováděn na žácích ve věku 9-14 let, bylo zjištěno, že spojení mezi magnetismem a gravitací věří 20 % žáků. Ke stejnému zjištění dospěl i výzkum TIMSS na českých žácích ze 4. tříd: K otázce „Co je příčinou pádu předmětu k povrchu Země, když ho pustíš z ruky?“ vybralo jako správnou odpověď „magnetismus“ 27,1 % žáků v roce 2007 a 25,9 % žáků v roce 2011 (viz [21]). Zajímavé zdůvodnění žáků popisuje i článek [22]: „Gravitace je výsledkem magnetického přitahování mezi Zemí a Měsícem“.

Na otázku, zda je nějaké spojení mezi magnetismem a vzduchem, byla nejčastější odpověď ve výzkumu popsaném v článku [22], že ne. Na druhou stranu, publikace

[20] zmiňuje, že 40 % žáků ve věku 9-14 let je přesvědčeno, že vzduch jako vodivé médium je k fungování magnetů nezbytný.

Další miskoncepce se týká toho, jaké objekty magnety přitahují: ve výzkumu popsáném v článku [22] bylo zjištěno, že velká část dětí věří tomu, že všechny kovy jsou magnetické. Část z nich uvedla i to, že uhlík je magnetický. Stejnou miskoncepti (Magnety se přitahují ke všem kovům) uvádí i publikace [1]. Článek [19] uvádí stejnou miskoncepti zjištěnou u 30 % učitelů na 1. stupni ZŠ. Autoři výzkumu [23] se ptali učitelů z 1. stupně ZŠ mimo jiné na to, z jakého důvodu se magnet přitahuje ke dveřím ledničky. 33 % účastníků výzkumu zvolilo jako nejlepší odpověď, že se magnet přitahuje k lehkým kovům (např. hliníku) obsaženém ve dveřích ledničky. Autoři výzkumu předpokládají, že to může pocházet z představy, že „k magnetu se přitahují všechny kovy“ a z představy, že „dveře ledničky jdou snadno otevřít a zavřít, proto v nich bude použit hliník“.

Běžná miskoncepce zmiňovaná ve více publikacích (např. [1], [19], [22]) je, že větší magnet je silnější než menší (žáci jsou o tom přesvědčeni, aniž by brali v úvahu, zda jsou magnety vyrobeny ze stejného materiálu).

Elektrický model magnetismu

Různé výzkumy často poukazují na to, že studenti různých stupňů škol i učitelé k vysvětlení chování magnetů používají termíny z elektřiny. Například: „Tyčový magnet má dva póly, plus a mínus“ (přeloženo podle [23]); magnetický pól je „místo, kde je všechn náboj“ (podle [22]); Odpověď studenta 3. ročníku univerzity na otázku, zda elektricky nabitá tyčka (v klidu) ovlivňuje střelku kompasu: „Ano, protože nabitá tyčka vytváří magnetické pole, které vyrobí sílu a ta bude pohybovat kompasem“ (přeloženo podle [24]). „Elektrický model magnetismu“ je také jeden z těch, který jako velmi běžný popisuje článek [25]: „Magnetismus je chápán jako přitahování mezi odlišnými elektrickými náboji. ... Magnetické póly jsou místa, běžně na koncích magnetů, která mají přebytek nebo nedostatek elektřiny. Tento model je poměrně často spojen s představou ‘dvou elektřin’ – kladné a záporné...“ (přeloženo podle [25]).

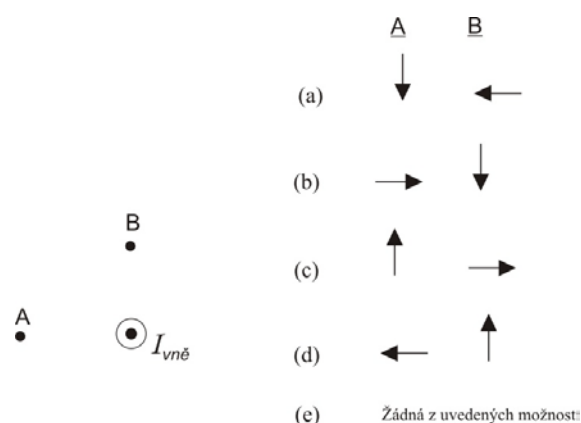
Stacionární magnetické pole

Publikace [1] zmiňuje častou představu českých žáků zjištěnou ve výzkumu TIMSS na žácích 8. tříd, že hřebíkem, okolo kterého je omotán drát s proudem, bude procházet proud.

Jinou miskoncepci týkající se elektromagnetu popisuje publikace [20]: téměř 70 % třináctiletých účastníků studie bylo přesvědčeno, že drát, ze kterého je vytvořena cívka v elektromagnetu, musí být odizolovaný.

Výzkum [26] prováděný na studentech univerzity v Turecku zmiňuje zmatek studentů mezi pojmy intenzita magnetického pole a magnetická indukce. Například na otázku týkající se toho, jak se změní magnetické pole v okolí cívky s proudem, když do ní vložíme jádro, odpovědělo 32 % studentů, že se zvětší proud v cívce a proto se zvětší i intenzita magnetického pole v okolí cívky. Někteří z dotazovaných studentů svou odpověď zdůvodnili tím, že „Když vložíme železné jádro do cívky, vytvoří indukovaný proud a tento proud zvětší intenzitu magnetického pole.“ (přeloženo podle [26])

Z výzkumu CSEM [3] plyne miskoncepce studentů týkající se směru magnetické indukce okolo vodiče s proudem: třetina studentů zvolila v pretestu jako správný směr magnetické indukce směr k vodiči (odpověď (b) na obr. 3.2), v posttestu tuto možnost zvolilo cca 10 % studentů, čtvrtina studentů zvolila v pretestu směr od vodiče (odpověď (d) na obr. 3.2.), v posttestu tuto možnost zvolilo 21 % resp. 12 % studentů¹.



Obr. 3.2. Kterým směrem bude orientováno magnetické pole v bodech A a B?
(otázka 26 přeložena z testu [3])

¹ Dvě čísla odpovídají dvěma typům amerických kurzů: Algebra-based resp. Calculus-based. Podrobněji viz kapitola 2.

V testu KTEM je obdobná otázka týkající se magnetického pole poblíž cívky s proudem. Směr magnetické střelky směrem k nebo od cívky s proudem zvolily téměř 2/3 studentů v pretestu a více než 1/3 v posttestu (podrobněji viz kapitola 4.6).

Z výzkumu CSEM také vyplývá, že studenti vnímají proud ve vodiči ve směru ven z papíru jako kladný, ve směru dovnitř papíru jako záporný.

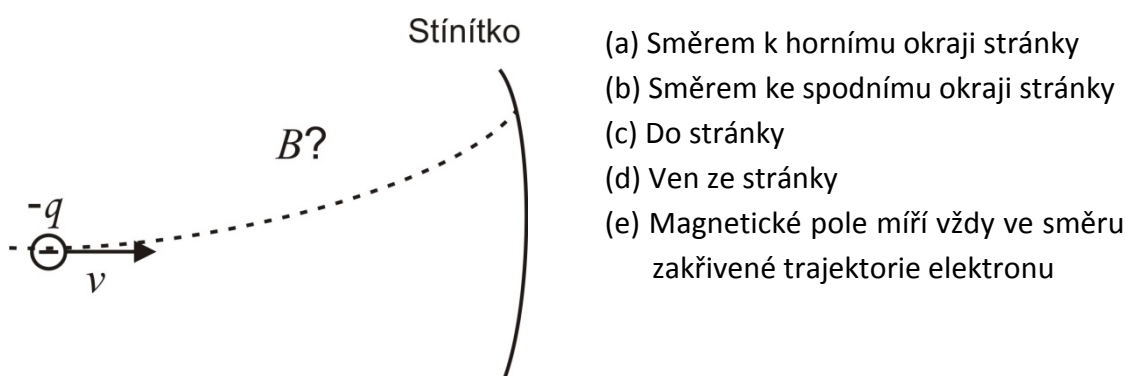
Další miskoncepce studentů je vidět ve výzkumu CSEM z otázky týkající se magnetické indukce mezi dvěma smyčkami s proudem: přibližně třetina studentů zvolila v pretestu i posttestu možnost, že uprostřed mezi smyčkami žádné pole nebude. Podle autorů testu se zdá, že tato miskoncepce může plynout z analogie s elektřinou – uprostřed mezi dvěma náboji se stejným znaménkem není žádné elektrické pole.

Jedna otázka z výzkumu prováděného na středoškolských studentech v Turecku a Velké Británii (viz [27]) se věnuje obdélníkové cívce s proudem umístěné v homogenním magnetickém poli mezi dvěma magnety. Autoři se ptali studentů, zda se cívka bude otáčet, jestliže rovina cívky je a) rovnoběžná s rovinou magnetického pole a b) je na magnetické indukční čáry kolmá. Z tohoto výzkumu vyplývá, že 45 % zúčastněných studentů je přesvědčeno, že cívka se nebude otáčet, jestliže je její rovina rovnoběžná s magnetickým polem, ale bude se otáčet, pokud je rovina cívky kolmá na magnetické pole. Podle autorů výzkumu se zdá, že studenti přemýšlí o magnetickém poli v tom smyslu, že tam něco teče: „Studenti věří, že pole „tekoucí“ ze severního pólu k jižnímu prochází skrz cívku kolmou na magnetické indukční čáry, ale ne skrz cívku rovnoběžnou s magnetickými indukčními čarami.“ Někteří ze studentů tohoto výzkumu ve zdůvodnění své odpovědi použili pravidlo: „Jestliže magnetické pole prochází skrz cívku, potom se cívka roztočí, jestliže ne, cívka se neroztočí.“

V testu MCS (viz [11]) je kromě jiných otázka týkající se směru magnetického pole uvnitř smyčky s proudem (v rovině smyčky). Autoři popisují běžnou miskoncepci zjištěnou v této otázce: studenti často odpovídali, že magnetické pole uvnitř smyčky je nulové. Z rozhovorů se studenty vyplynulo, že studenti zaměňují magnetické pole uvnitř dvourozměrné smyčky s elektrickým polem uvnitř koule nabité homogenním nábojem.

Částice s nábojem v magnetickém poli

Výzkum [3] ukázal, že studenti často předpokládají, že na částici s elektrickým nábojem umístěnou v klidu v magnetickém poli toto pole působí. Více než 20 % studentů odpovědělo, že kladně nabitá částice umístěná mezi dvěma tyčovými magnety bude přitahována k jižnímu pólu. Správnou odpověď (na částici magnetická síla nepůsobí) zvolilo cca 30 % studentů v pretestu a 40 % (resp. 34 %) studentů v posttestu. Stejně tak bylo ve výzkumu CSEM [3] zjištěno, že si studenti pletou účinky elektrické a magnetické síly na pohybující se částici s elektrickým nábojem. V otázce týkající se určení směru magnetické indukce magnetického pole, ve kterém se pohybuje elektricky nabitá částice, uvedlo cca 30 % v posttestu, že síla působí ve směru zatáčení nebo proti směru zatáčení (odpovědi (a) a (b) na obr. 3.3.). Správnou odpověď (d) zvolilo v posttestu 32 % resp. 39 % studentů, dalších cca 30 % studentů zvolilo odpověď (c), která odpovídá opačnému směru magnetické indukce.



Obr. 3.3. Jaký je směr vektoru magnetické indukce magnetického pole? (přeloženo a zkráceno podle [3])

V testu KTEM, ve kterém je obdobná otázka, zvolila možnost „směrem k hornímu konci stránky“ přibližně třetina studentů v pretestu i posttestu (podrobněji viz kapitola 4.6).

Podobnou, i když opačně formulovanou otázku, obsahuje výzkum [27]: „Kladně nabitá částice vstupuje do homogenního magnetického pole kolmo na směr magnetických indukčních čar. Studenti mají předpovědět směr pohybu této částice.“ 47,5 % dotazovaných studentů odpovědělo, že částice se bude odchylovat ve směru magnetického pole. Z rozhovoru s některými studenty vyplynulo, že si představují

severní pól jako kladně nabitý a jižní pól jako záporně nabitý. Kladně nabitá částice vstupující do magnetického pole je tak odpuzována od severního pólu a přitahována k jižnímu.

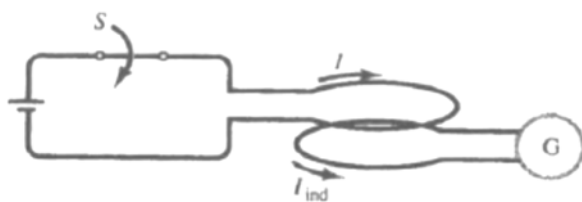
Zajímavou interpretaci původu některých miskoncepcí v elektromagnetismu nabízí článek [27]: „Očekáváme, že směr daného následku (pohybu částice,...) je stejný jako směr příčiny tohoto následku. Pokud například na něco zatlačíme, očekáváme, že se to bude pohybovat ve směru tlačení. Každodenní zkušenost s příčinou-následkem může způsobovat problémy studentům v řešení elektromagnetických situací, ve kterých je často následek kolmý na směr jeho příčiny.“ (přeloženo podle [27]).

3.4 Elektromagnetická indukce

Článek [28] uvádí přehled poznatků zjištěných v různých studiích u studentů středních a vysokých škol:

- Mnoho studentů chápe magnetický tok jako „proudící“ z magnetického pole nebo si ho pletou s magnetickým polem jako takovým.
- Naprostá většina studentů středních škol a velká část studentů prvních ročníků univerzit nerozpoznává jevy týkající se elektromagnetické indukce, které jsou tradičně zastoupeny v učebních plánech. Nezanedbatelná část studentů používá vysvětlení založené na „síle“ nebo „kontaktu s magnetickým polem“.
- Mnoho studentů je přesvědčeno, že magnetické pole produkuje elektromagnetickou indukci.

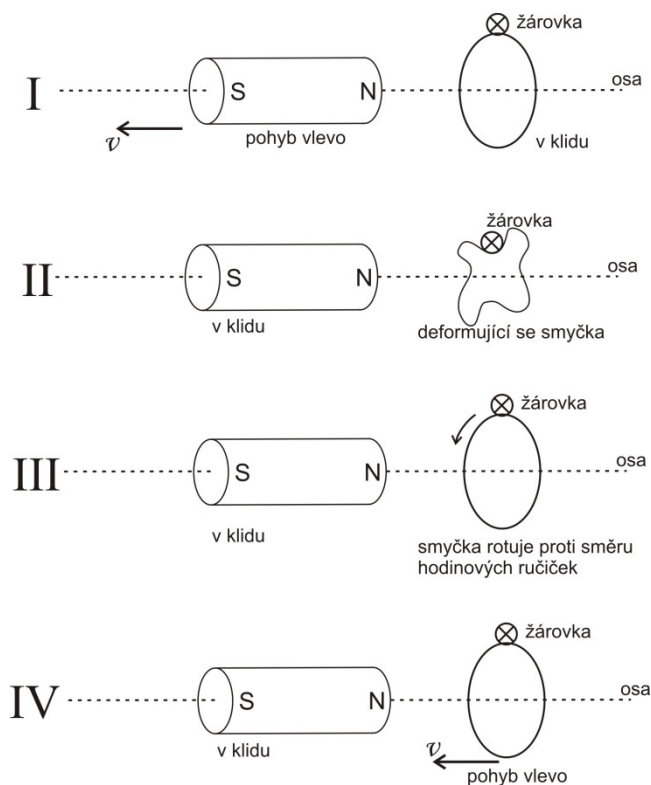
Ve výzkumu prováděném na skupině studentů 1. a 3. ročníku univerzity zjistil Guisasola (viz [28]), že přibližně 20 % studentů vysvětluje indukovaný proud jako vzniklý díky magnetickému poli přítomnému v daném místě. Přesnější představu si lze udělat z citované odpovědi studenta týkající se odpovědi na otázku na obr. 3.4.: „Když proud teče horní smyčkou, tak vytváří magnetické pole, které protíná spodní smyčku a generuje indukovaný proud.“ (přeloženo podle [28]).



Obr. 3.4. Když je vypínač v horním obvodu na obrázku vypnut, ampérmetr G ve spodním obvodu registruje proud. Vysvětli, proč se objevuje proud ve spodním obvodu. (obrázek převzat z [28], otázka přeložena a zkrácena)

Vysvětlení studentů ve smyslu „magnetické indukční čáry protínají smyčky a proto se ve smyčce indukuje proud“ se objevuje i u dalších otázek stejné studie. Autoři studie upozorňují i na to, že stejné miskoncepce mají studenti obou skupin – není vidět vliv výuky na omezení miskonceptů ani počtu studentů, u kterých se daná miskoncepce objevuje.

Výzkum CSEM ukázal, že studenti často nevnímají, že ve zmenšující se smyčce se mění magnetický indukční tok (varianta II na obr. 3.5), a naopak jsou přesvědčeni, že ve smyčce, která rotuje okolo osy kolmé na její plochu, se magnetický indukční tok mění (varianta III na obr. 3.5.). Podobné výsledky byly zjištěny i v testu KTEM (viz kapitola 4.6).



Obr. 3.5. Ve kterých případech se žárovka rozsvítí? (přeloženo a zkráceno podle [3])

Publikace [1] shrnuje další běžné miskoncepce týkající se indukovaného proudu a napětí:

- Elektrický proud se ve smyčce indukuje při jakémkoliv jejím pohybu v libovolném magnetickém poli.

Jednu z běžných miskoncepí týkající se indukovaného napětí v transformátoru popisuje [1]: „Napětí indukované v sekundární cívce má vždy stejný průběh jako proud procházející primární cívkou.“

Z výsledků testu [3] plyne, že studenti mají problém s porozuměním transformátoru a se správným určením průběhu sekundárního napětí, jestliže znají průběh primárního proudu. Odpovědi v příslušné otázce jsou rozloženy víceméně náhodně. Podobný závěr plyne i z výsledků testu KTEM, ve kterém je podobná otázka, i když průběhy byly výrazně zjednodušeny (viz kapitola 4.6).

Výše uvedený přehled zdaleka nepokrývá všechny známé miskoncepce žáků v daných oblastech elektřiny a magnetismu. Vybrány byly převážně rozšířenější miskoncepce, u kterých je pravděpodobné, že na ně narazí i čeští učitelé (nejen) u svých žáků. Při podrobnějším výzkumu porozumění konkrétní (menší) oblasti elektřiny a magnetismu lze tak nalézt další problematkové koncepty.

4. Konceptuální test z elektřiny a magnetismu (KTEM)

4.1 Důvody a historie vzniku testu

Příklady konceptuálních testů jsou určeny převážně studentům úvodních či pokročilejších kurzů na vysokých školách. Výjimkou ze zmiňovaných testů je test DIRECT (viz [8]), který je určen i studentům středních škol.

Pro zjištění, jaké typické miskoncepce v elektřině a magnetismu se objevují u žáků českých středních škol, byl proto nejdříve použit redukovaný test CSEM (viz kapitola 2.1). Z původního testu bylo vybráno pouze 22 otázek (z původních 32), které odpovídají tématům obsaženým v českém kurikulu. Použity byly otázky z následujících oblastí (v závorce jsou uvedena čísla otázek z původního testu CSEM, názvy jednotlivých oblastí jsou použity podle testu CSEM [3]):

- Rozložení náboje na vodičích a izolantech (1, 2)
- Coulombův zákon (3, 4, 5)
- Elektrická síla a rozložení bodových nábojů (8, 9)
- Síla způsobená elektrickým polem (10, 12, 15)
- Práce, elektrický potenciál a síla (16, 17)
- Magnetická síla (22, 27, 31)
- Magnetické pole okolo vodiče s proudem (23, 24, 26, 28)
- Superpozice magnetického pole (23, 28)
- Faradayův zákon (29, 31, 32)
- Třetí Newtonův zákon (4, 5, 7, 24)

Test v podobě, v jaké byl zadáván během pilotáže, je k dispozici v příloze A1.

Test byl pilotován na cca 400 studentech gymnázií (150 studentů se účastnilo pretestu, 250 posttestu). Bohužel i na takto malém vzorku se ukázal test pro použití na středních školách jako nevhodný. Studenti některým otázkám vůbec nerozuměli, odpovědi tak spíše tipovali (a to i v posttestu). Část otázek studenti současně hodnotili jako příliš abstraktní. Výsledky pilotáže tak neměly téměř žádnou vypovídací hodnotu a nebyly tedy dále zpracovány.

4.2 Vznik testu KTEM

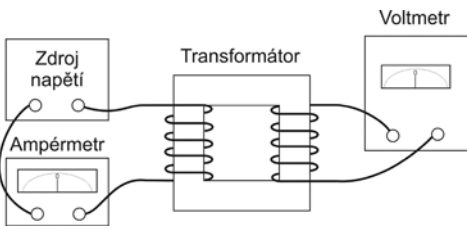
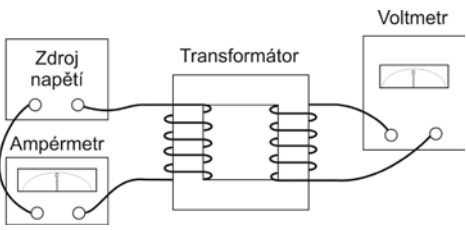
Z důvodů uvedených v předchozí podkapitole jsem ve spolupráci se školitelem i dalšími kolegy vytvořila nový test, označovaný jako KTEM. Je složen z některých otázek z testu CSEM, kde jsme ale zadání abstraktních otázek konkretizovali a zjednodušili, další otázky jsou nové, postaveny byly tak, aby odrážely další koncepty, s kterými se čeští studenti setkávají při výuce. Témata otázek vycházejí z českých Rámcových vzdělávacích programů pro gymnázia [30] a byla volena tak, aby pokrývala všechny důležité oblasti týkající se elektrického a magnetického pole – jsou zde proto zahrnuty otázky z elektrostatiky, magnetického pole, elektromagnetické indukce a doplněny jednou otázkou týkající se elektrického proudu. Bohužel vzhledem k rozsahu celého tematického celku elektřiny a magnetismu nebylo možné podrobně pokrýt všechna témata. Tento test měl 18 otázek, z nichž 16 bylo uzavřených s výběrem odpovědi z 5 možností, 1 byla uzavřená s výběrem odpovědí ze šesti možností a jedna byla otevřená s krátkou odpovědí. Pilotního ověřování se během jara 2012 účastnilo 231 studentů v pretestu a 250 studentů v posttestu. Výsledky pilotního testování byly prezentovány na konferenci DIDFYZ 2012 a jsou publikovány ve sborníku příspěvků (viz [31]). Tato verze testu je uvedena v příloze A2 této práce.

Po pilotáži došlo k úpravě některých otázek. Jejich srovnání v obou verzích testu je v tabulce 4.1:

- Otázka 11 byla přeformulována tak, aby byla pro studenty srozumitelnější; větší srozumitelnost upravené verze byla ověřena na několika desítkách studentů. V tabulce 4.1 není, vzhledem k rozsáhlosti otázky, uvedena celá otázka, ale jen její zadání a ukázka některých distraktorů.
- V otázce 13 byla upravena formulace, protože se v pilotáži ukázalo, že hrozí špatné pochopení otázky. V tabulce 4.1 je jen zadání otázky. Nejsou zde uvedeny možné odpovědi, protože ty měněny nebyly.
- V otázce 18 byl zjednodušen průběh zobrazený v grafu. Vzhledem k rozsáhlosti otázky je v tabulce 4.1 uvedeno jen zadání, které ilustruje změnu průběhu.

Tabulka 4.1. Srovnání upravených otázek v původní a nové verzi testu

	KTEM původní verze	KTEM verze 3
ot. 11 (část)	<p>Všechny desky na obrázcích jsou připojeny ke stejnému zdroji vysokého napětí. Ve kterém uspořádání je na desce připojené ke zdroji napětí největší elektrický náboj?</p> <p>e)</p>	<p>Všechny desky na obrázcích jsou kovové a jsou připojeny ke stejnému zdroji vysokého napětí. Ve kterém uspořádání je na desce připojené ke zdroji napětí největší elektrický náboj?</p> <p>d)</p>
ot. 13 (zadání)	<p>Na obrázku je část elektrického obvodu – drát délky L je připojen ke kontaktům zdroje konstantního napětí (kontakty jsou označeny A a B). Drátem v tomto uspořádání prochází proud I. Jak se změní proud procházející drátem, jestliže ho ohneme na polovinu a ke zdroji připojíme obě poloviny „vedle sebe“?</p>	<p>Na obrázku je část elektrického obvodu – drát délky L je připojen ke kontaktům zdroje konstantního napětí (kontakty jsou označeny A a B). Drátem v tomto uspořádání prochází proud I. Poté drát ohneme na polovinu a ke zdroji připojíme obě poloviny „vedle sebe“. Jak se změní proud, který do takto vzniklého vodiče teče ze zdroje?</p>
ot. 18 (zadání)	<p>Transformátor (dvě cívky se stejným počtem závitů na uzavřeném jádře) je napájen ze zdroje proměnného napětí. Sériově ke zdroji je připojen ampérmetr. K druhé straně transformátoru je připojen voltmetr. Graf ukazuje časový průběh proudu zobrazený na ampérmetru.</p> <p>záznam z ampérmetru</p> <p>čas</p>	<p>Transformátor (dvě cívky se stejným počtem závitů na uzavřeném jádře) je napájen ze zdroje proměnného napětí. Sériově ke zdroji je připojen ampérmetr. K druhé straně transformátoru je připojen voltmetr. Graf ukazuje časový průběh proudu zobrazený na ampérmetru.</p> <p>záznam z ampérmetru</p> <p>čas</p>

	 <p>Který z následujících grafů správně ukazuje průběh napětí zobrazený na voltmetru?</p>	 <p>Který z následujících grafů nejlépe ukazuje průběh napětí zobrazený na voltmetru?</p>
--	--	---

Navíc byly všechny otázky sjednoceny na uzavřené s výběrem z pěti možností: v otázce č. 5 byly vybrány nejběžnější distraktory, které se objevovaly v odpovědích v pilotáži a v otázce 11 byl pro studenty nejméně zajímavý distraktor smazán.

Tento výsledný test, označován jako KTEM verze 3, je k dispozici v příloze A3 a je podrobněji popsán v následujícím textu.

Pozn. KTEM verze 2 zde není podrobněji zmiňován, od verze 3 se liší pouze drobnými změnami týkajícími se hlavně formátu.

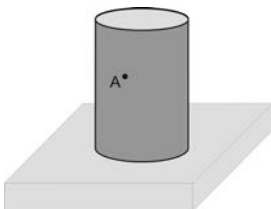
4.3 KTEM verze 3

Test má 18 otázek, všechny uzavřené s výběrem z pěti možností. Otázky v testu jsou zaměřeny na následující témata (čísla v závorce odpovídají číslům otázek):

- Rozložení elektrického náboje na vodiči a izolantu (1, 2)
- Coulombův zákon (3, 4)
- Elektrické pole a siločáry (5, 6)
- Elektrická intenzita (7, 8)
- Homogenní elektrické pole (9)
- Práce v elektrickém poli (10)
- Kondenzátor (11, 12)
- Elektrický proud (13)
- Magnetické pole a magnetická síla (14–16)
- Elektromagnetická indukce (17)
- Transformátor (18)

Z testu CSEM bylo použito devět otázek (1-3, 5, 12, 17, 22, 29, 32 – čísla otázek odpovídají otázkám v testu CSEM), ale všechny až na otázky 12 a 22 byly upraveny tak, aby zadání bylo pro středoškolské studenty srozumitelnější. Jako příklad lze uvést otázku 1 – viz tab. 4.2. V původním testu se jedná o dutou kovovou kouli, v testu KTEM se obdobná otázka týká plechovky na izolační podložce. Součástí zadání otázky v testu KTEM je i obrázek.

Tabulka 4.2. Srovnání otázky č. 1 v testu CSEM a KTEM

CSEM (přeloženo podle [3])	KTEM verze 3
<p>Dutá kovová koule je elektricky neutrální (nemá nadbytek žádného náboje). Náhle je do bodu P na této kouli přivedeno malé množství záporného náboje.</p> <p>Budeme-li po přivedeném náboji pátrat o pár sekund později, zjistíme jednu z následujících možností:</p> <p>(a) Všechn přivedený náboj zůstal v okolí bodu P.</p> <p>(b) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším povrchu kulové plochy.</p> <p>(c) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším a vnitřním povrchu kulové plochy.</p> <p>(d) Většina náboje je stále v bodě P, ale část se rozprostřela po povrchu kulové plochy.</p> <p>(e) Nejistíme žádný náboj.</p>	<p>Prázdná nenabitá plechovka je umístěna na izolační podložce. V jednu chvíli je do místa A na vnějším povrchu plechovky přivedeno malé množství náboje.</p>  <p>Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme, že:</p> <p>a) všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.</p> <p>b) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším povrchu plechovky.</p> <p>c) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším i vnitřním povrchu plechovky.</p> <p>d) většina náboje zůstala poblíž místa A, ale část se ho rozprostřela po povrchu plechovky.</p> <p>e) nejistíme žádný náboj.</p>

4.4 Metodika testování

Test byl v průběhu let 2013-2015 zadán více než 400 studentům středních škol (415 studentů se účastnilo pretestu, 422 studentů posttestu). Testování se účastnilo 17 tříd ze šesti gymnázií Prahy a Středočeského kraje (v závislosti na zařazení příslušného tematického celku do ŠVP šlo buď o studenty 2. nebo 3. ročníku a odpovídajících ročníků víceletých gymnázií). Vzhledem k různým školním vzdělávacím programům absolvovali testování studenti různý počet hodin výuky elektřiny a magnetismu, liší se také to, zda studenti absolvovali či neabsolvovali

nějaké laboratorní práce. Součástí výzkumu byli studenti čtyřletých i víceletých gymnázií. Cílem výzkumu bylo identifikovat konkrétní miskoncepce a srovnat miskoncepce českých studentů s miskoncepce známými ve světě. Nešlo o to zjistit, kolik procent studentů gymnázií v ČR má které miskoncepce, nebylo proto nutné, aby vzorek studentů byl reprezentativní.

Úspěšnost studentů jednotlivých tříd (označených písmeny A-Q) ukazuje tabulka 4.3 a graf na obr. 4.1. V tabulce je u jednotlivých tříd uvedena jejich úspěšnost v pretestu, v posttestu a tzv. normalizovaný zisk („normalized gain“), který vyjadřuje posun v úspěšnosti studentů. Normalizovaný zisk je počítán dle vztahu (viz např. [3]):

$$G = \frac{\text{posttest} (\%) - \text{pretest} (\%)}{100 - \text{pretest} (\%)}, \quad (1)$$

kde posttest (%) resp. pretest (%) je procentuální úspěšnost studentů v posttestu resp. pretestu.

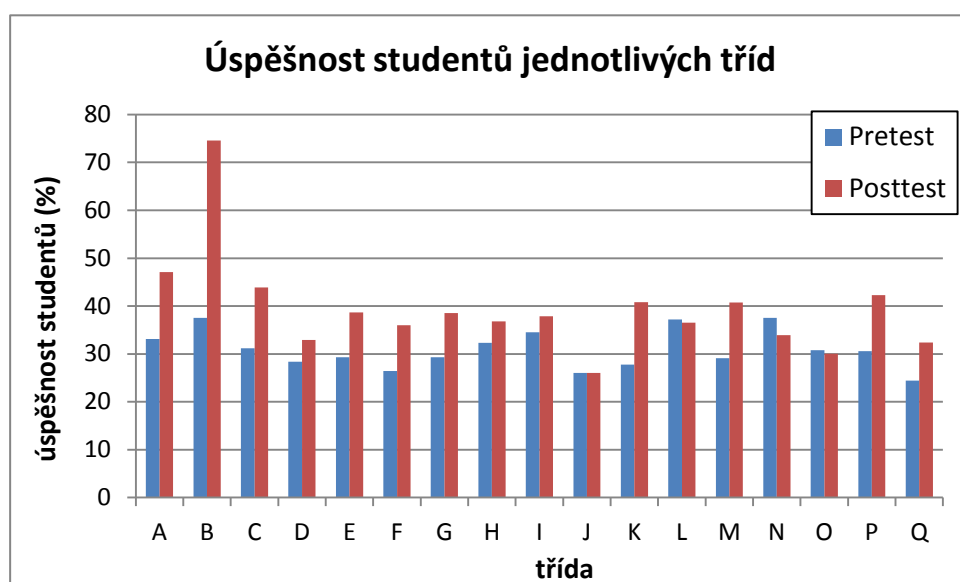
Tabulka 4.3. Úspěšnost studentů jednotlivých tříd v pretestu a posttestu

	Pretest (%)	Posttest (%)	G
A	33,1	47,1	0,21
B	37,5	74,6	0,59
C	31,1	43,9	0,18
D	28,4	32,9	0,06
E	29,3	38,7	0,13
F	26,4	36,0	0,13
G	29,3	38,6	0,13
H	32,3	36,8	0,07
I	34,5	37,9	0,05
J	26,0	26,0	0,00
K	27,8	40,8	0,18
L	37,2	36,5	-0,01
M	29,1	40,7	0,16
N	37,5	33,9	-0,06
O	30,8	30,0	-0,01
P	30,6	42,3	0,17
Q	24,4	32,4	0,10

Z tabulky 4.3 a grafu na obr. 4.1 je vidět, že k jistému (i když nepříliš velkému) posunu u většiny tříd došlo (normalizovaný zisk je 0,05-0,21). Výjimkou je třída B, u které normalizovaný zisk dosáhl 0,59 (v tabulce 4.3 označena zeleně) a třídy J, L, N, O, u kterých byl zisk nulový nebo dokonce záporný (označeny žlutě).

K výsledkům třídy B byla o vyjádření požádána i jejich vyučující – podle ní šlo o velmi mimořádnou třídu, která jako celek byla velmi studijní a inklinovala k technickým předmětům. Studenti měli výsledky ve všech směrech velmi nadprůměrné. Navíc přibližně třetina této třídy navštěvovala seminář z fyziky. Pro srovnání, paralelní třída ze stejné školy je v tabulce označena písmenem A, jejich výsledky z průměru nevyčnívají.

K podrobnějšímu rozboru výsledků tříd J, L, N, O by bylo potřeba znát podrobnější informace o způsobu výuky – je možné, že výuka v těchto třídách byla zaměřena spíše na konkrétní znalosti než na konceptuální porozumění, případně, že šlo o spíše „nestudijní“ třídy.

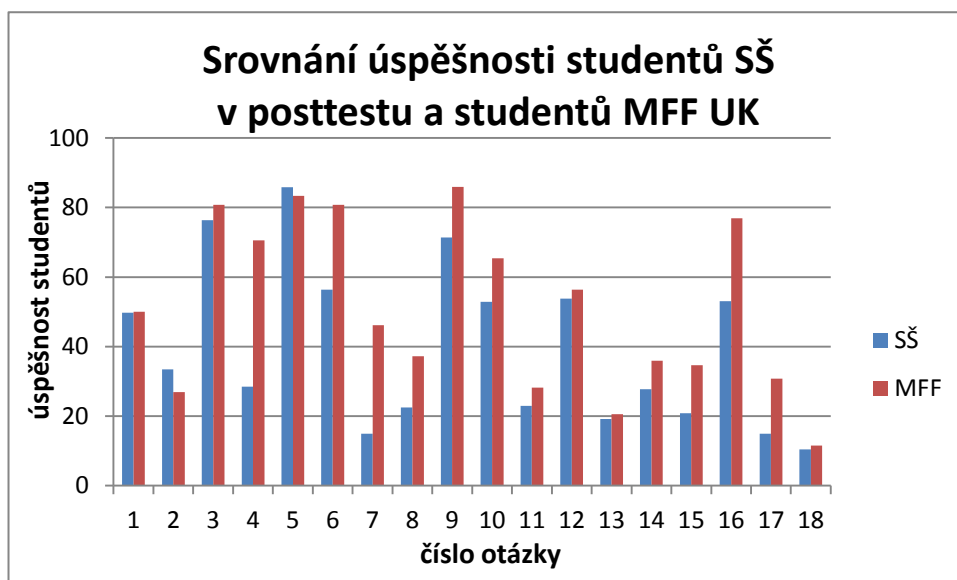


Obr. 4.1. Úspěšnost studentů v jednotlivých třídách

Posun v konceptuálním porozumění u ostatních tříd také není příliš velký – z výsledků je vidět, že test je pro studenty i po probrání tématu stále ještě poměrně těžký. Pro srovnání, normalizovaný zisk v americkém testu CSEM je 0,25 pro Algebra-based kurzy resp. 0,23 pro Calculus-based kurzy (výsledky studentů v pretestu jsou 25 % pro Algebra-based kurzy resp. 31 % pro Calculus-based kurzy, v posttestu pak 44 % resp. 47 %). I tak jsou ale z výsledků testu KTEM vidět typické miskoncepce studentů – viz kapitola 4.6.

Průměrná úspěšnost všech středoškolských studentů v testu KTEM byla v pretestu 34 %, v posttestu 39,7 %. Normalizovaný zisk všech studentů je tak 0,1.

Test byl na podzim 2013 zadán také studentům 1. ročníku MFF UK, programu Fyzika. Tohoto testování se účastnilo 78 studentů, z nichž 63 maturovalo z fyziky, 13 z fyziky nematurovalo a u dvou tato informace nebyla uvedena. Průměrná úspěšnost těchto studentů je 51,2 %. Srovnání výsledků jednotlivých otázek v posttestu u studentů SŠ a u studentů 1. ročníku MFF je uvedeno v grafu na obrázku 4.2.



Obr. 4.2. Srovnání úspěšnosti studentů středních škol v posttestu a studentů MFF UK v jednotlivých otázkách

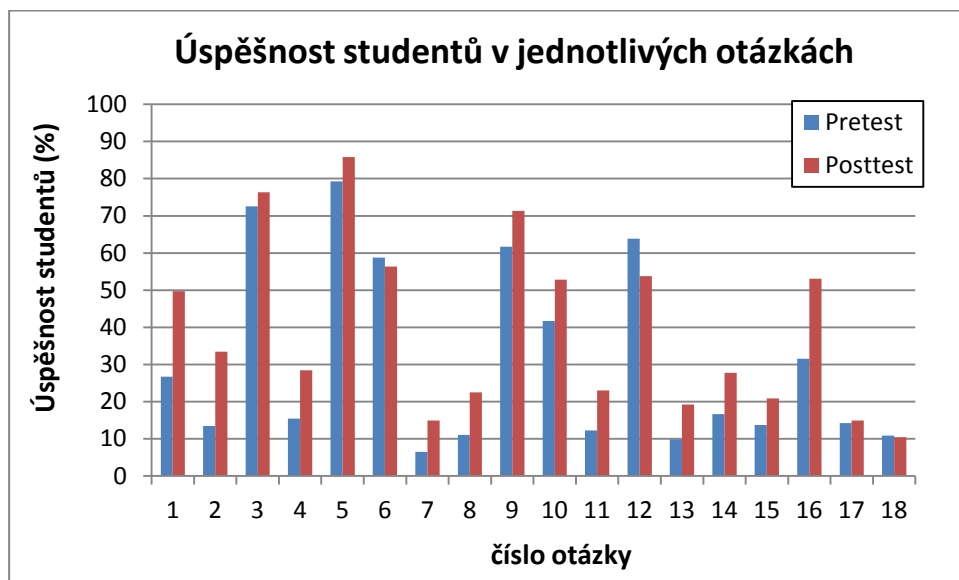
Z grafu je na první pohled patrný jeden zcela pochopitelný výsledek – úspěšnost studentů MFF je ve většině otázek větší. Na druhou stranu, i u této skupiny se v některých otázkách objevovaly typické miskoncepce. Podrobnější rozbor otázek a typických miskoncepací studentů je uveden v kapitole 4.6.

Jedna třída gymnázia (22 studentů) se účastnila upraveného výzkumu – tito studenti odpovídali pouze na 10 otázek (1-4, 11-14, 16, 17), ale byli požádáni, aby své odpovědi zdůvodnili. Vzhledem k tomu, že na této třídě byly ověřovány některé metodické materiály zaměřené na překonání miskoncepací, nejsou jejich výsledky zahrnuty v předchozích tabulkách. Výsledky těchto studentů a podrobnější rozbor jejich odpovědí je uveden v kapitole 6.2. V podkapitole 4.6 jsou proto jejich výsledky z pretestu a příslušná zdůvodnění uvedeny pouze tam, kde to může pomoci porozumět některým miskoncepším.

4.5 Položková analýza testu

Následující podkapitola se věnuje podrobnějšímu rozboru jednotlivých otázek z pohledu jejich obtížnosti a citlivosti. Hodnoty byly zjišťovány z výsledků středoškolských studentů, na které je test primárně cílen.

Graf na obr. 4.3 ukazuje výsledky středoškolských studentů v jednotlivých otázkách testu.



Obr. 4.3. Úspěšnost studentů v jednotlivých otázkách testu

Obtížnost otázek

Obtížnost otázky odpovídá tomu, jaká je úspěšnost studentů, tedy kolik studentů ji správně zodpovědělo. Pokud otázku správně nezodpověděl nikdo, je její obtížnost 0, naopak obtížnost 1 má otázka, kterou zodpověděli správně všichni účastníci výzkumu. Dle [3] je jako ideální je brána obtížnost (angl. difficulty) $D_i = 0,5$. Publikace [32] uvádí jednak tzv. index obtížnosti P_i , který odpovídá anglickému termínu „difficulty“, ale je počítán v procentech, a jednak tzv. hodnotu obtížnosti $Q_i = 100 \% - P_i$. Pro tu platí, že čím je větší hodnota obtížnosti, tím je otázka těžší. Za velmi obtížné lze podle [32] pokládat otázky s hodnotou obtížnosti větší než 80 % (což odpovídá $D_i < 0,2$), naopak jako velmi lehké jsou vnímány otázky s hodnou obtížnosti menší než 20 % (tj. s $D_i > 0,8$).

Jak je vidět z grafu na obrázku 4.3 a z tabulky 4.4, obtížnost většiny otázek v posttestu je mezi 0,2-0,8. Otázka 5 (rozložení elektrického náboje) je spíše lehčí

(obtížnost 0,86), tři otázky jsou spíše těžší: otázka 7 (intenzita uprostřed mezi dvěma náboji) má obtížnost 0,15, otázky 17 (elektromagnetická indukce) a 18 (transformátor) mají obtížnost 0,15 resp. 0,1. Otázka 13 (odpor vodiče) je hraniční – její obtížnost je 0,19.

Pro srovnání, v testu CSEM (viz [3]) mají všechny otázky obtížnost mezi 0,1 a 0,9. Jedna otázka je spíše lehčí (obtížnost 0,85 v Calculus-based kurzu, jde o otázku týkající se Coulombova zákona, obdobnou jako otázka 3 v testu KTEM), dvě otázky mají obtížnost menší než 0,2 (obě otázky se týkají elektrické síly, v KTEM k nim podobné otázky nejsou). Otázka 29, která se týká elektromagnetické indukce a je podobná s otázkou 17 v testu KTEM, má obtížnost těsně nad 0,2, otázka, která se týká transformátoru (obdobná k otázce 18 z testu KTEM) má obtížnost v Algebra-based kurzu menší než 0,2, v Calculus-based kurzu téměř 0,4.

Citlivost otázek

Citlivost otázky popisuje, nakolik daná testová otázka rozlišuje mezi „lepšími“ a „horšími“ studenty. Testová otázka je považována za vysoce citlivou, pokud ji studenti s lepšími vědomostmi řeší úspěšněji než studenti s horšími vědomostmi. Koeficient citlivosti (angl. „item discrimination“) je dle [3] počítán dle vztahu:

$$\text{koeficient citlivosti} = \frac{N_U - N_L}{(N_L + N_U)/2} \quad (2)$$

kde N_U je počet studentů z horních 27 % úspěšnosti celého testu, kteří danou otázku zodpověděli správně, a N_L je počet studentů ze spodních 27 % úspěšnosti celého testu, kteří odpověděli danou otázku správně.

Česká publikace [32] uvádí jako příklad koeficientu citlivosti tzv. „koeficient ULI“, který má obdobný výpočet jako výše zmíněný „item discrimination“ počítaný dle rovnice (2) s tím, že místo 27 % lepších a horších studentů lze volit buď 50 % nebo 1/3.

Koeficient citlivosti může nabývat hodnot -1 až 1, jako přijatelné minimum je ale brána hodnota alespoň 0,2 (viz [3]). Na hodnotě citlivosti se výraznou měrou podílí obtížnost otázek: koeficient citlivosti 1 lze dosáhnout jen u otázek s obtížností 0,5, pokud má otázka koeficient obtížnosti menší nebo větší než 0,5, maximální dosažitelný koeficient citlivosti klesá.

Citlivost jednotlivých otázek v testu KTEM je v tabulce 4.4. Pro srovnání, citlivost otázek v testu CSEM je 0,1-0,55 (viz [3]).

Tabulka 4.4. Obtížnost a citlivost otázek testu KTEM

č. otázky	obtížnost	citlivost
1	0,50	0,54
2	0,33	0,60
3	0,76	0,40
4	0,28	0,48
5	0,86	0,31
6	0,56	0,54
7	0,15	0,41
8	0,23	0,47
9	0,71	0,42
10	0,53	0,54
11	0,23	0,49
12	0,54	0,56
13	0,19	0,32
14	0,28	0,18
15	0,21	0,14
16	0,53	0,48
17	0,15	0,07
18	0,10	0,06

Většina otázek v testu má citlivost mezi 0,3 a 0,6. Z hlediska citlivosti jsou problematické otázky 17 a 18, které nedosahují citlivosti ani 0,1; tyto otázky mají ale velkou i obtížnost; jejich podrobnější rozbor je v kapitole 4.6. Otázky 14 a 15 mají koeficient citlivosti mezi 0,1 a 0,2, i jejich rozbor je v kapitole 4.6.

4.6 Rozbor otázek a zjištěné miskoncepce

Celkové výsledky studentů jsou uvedeny v tabulce 4.5. U každé otázky je uvedena procentuální četnost konkrétní odpovědi v pretestu i posttestu. Písmeno v závorce za číslem otázky označuje správnou odpověď, četnost správné odpovědi je současně vyznačena tučným písmem. Nejčastější špatné odpovědi jsou vyznačeny kurzivou. Odpověď X znamená, že student nezaškrtl žádnou možnost (otázku vynechal) nebo naopak zaškrtl u dané otázky více možností.

Tabulka 4.5. Celkové výsledky účastníků testu (v procentech)

		A	B	C	D	E	X			A	B	C	D	E	X
1 (B)	PRE	2,4	26,7	49,2	12,5	8,7	0,5	10 (D)	PRE	10,8	22,2	20,5	41,7	3,4	1,4
	POST	3,8	49,8	34,4	8,1	4,0	0,0		POST	9,0	16,8	17,3	52,8	3,6	0,5
2 (A)	PRE	13,5	6,3	3,4	5,8	70,4	0,7	11 (D)	PRE	29,9	34,0	17,6	12,3	3,9	2,4
	POST	33,4	6,6	5,2	5,2	49,3	0,2		POST	15,6	31,3	21,3	23,0	7,1	1,7
3 (C)	PRE	13,0	9,2	72,5	2,7	2,2	0,5	12 (B)	PRE	20,5	63,9	4,3	6,3	3,6	1,4
	POST	10,9	5,9	76,3	5,5	1,4	0,0		POST	28,0	53,8	7,1	6,9	3,6	0,7
4 (A)	PRE	15,4	62,2	14,7	3,1	4,3	0,2	13 (C)	PRE	30,6	11,1	9,9	3,9	42,9	1,7
	POST	28,4	53,3	9,7	5,2	2,8	0,5		POST	24,9	15,9	19,2	8,3	30,6	1,2
5 (C)	PRE	5,3	5,8	79,3	7,5	1,7	0,5	14 (A)	PRE	16,6	12,3	22,2	43,6	3,9	1,4
	POST	5,0	3,6	85,8	3,6	1,9	0,2		POST	27,7	31,5	17,8	20,1	1,7	1,2
6 (B)	PRE	18,8	58,8	3,9	6,0	12,0	0,5	15 (D)	PRE	31,8	11,8	10,8	13,7	29,6	2,2
	POST	19,2	56,4	4,0	7,8	12,3	0,2		POST	32,2	13,7	18,2	20,9	14,5	0,5
7 (E)	PRE	13,0	14,7	1,2	63,1	6,5	1,4	16 (C)	PRE	30,4	15,9	31,6	11,1	7,7	3,4
	POST	13,5	8,5	5,0	57,8	14,9	0,2		POST	24,4	9,0	53,1	8,5	4,5	0,5
8 (C)	PRE	3,4	3,4	11,1	3,6	76,9	1,7	17 (A)	PRE	14,2	23,1	26,5	25,3	7,7	3,1
	POST	7,3	4,7	22,5	5,5	59,7	0,2		POST	14,9	20,9	38,2	21,6	3,8	0,7
9 (C)	PRE	20,7	9,6	61,7	4,1	2,2	1,7	18 (E)	PRE	33,5	13,0	21,7	19,3	10,8	1,7
	POST	14,5	7,1	71,3	3,8	2,8	0,5		POST	41,0	11,8	23,5	12,1	10,4	0,9

Jednotlivé otázky, typické špatné odpovědi a z nich plynoucí miskoncepce jsou dále podrobně rozebrány. Zadání otázek je zkráceno, přesné znění celého testu je k dispozici v příloze A3.

Rozložení náboje na vodiči a izolantu (otázky 1 a 2)

První dvě otázky v testu se týkají rozložení náboje na vodiči a izolantu. Zadání obou otázek je podobné: Na izolační podložce je umístěna plechovka (či PET lahev), na kterou je na konkrétní místo přivedeno malé množství náboje. Studenti mají rozhodnout, co zjistíme, jestliže budeme po náboji pátrat o několik sekund později. Možné odpovědi jsou u obou otázek obdobné:

- všechn přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- přivedený náboj se rozložil po celém vnějším povrchu plechovky.
- přivedený náboj se rozložil po celém vnějším i vnitřním povrchu plechovky.
- většina náboje zůstala poblíž místa A, ale část se ho rozprostřela po povrchu plechovky.
- nezjistíme žádný náboj.

U otázky č. 2 je místo plechovky PET lahev, odpověď d) zní: „část náboje se rozprostřela po celém povrchu PET lahve, ale většina ho zůstala v místě A.“

V první otázce, týkající se plechovky, odpověděla téměř polovina zúčastněných studentů v posttestu správně. Dalších necelých 35 % si i po výuce (v posttestu) myslí, že se náboj rozloží po vnějším i vnitřním povrchu plechovky. Otázka týkající se PET lahve dopadla mnohem hůř – správně odpovědělo 13,5 % resp. 33,4 % studentů v pretestu resp. posttestu. Téměř polovina studentů je i v posttestu přesvědčena, že náboj na izolantu zmizí (v pretestu tuto možnost zvolilo přes 70 % studentů). K porozumění této miskoncepce mohou pomoci zdůvodnění studentů, kteří se účastnili upraveného výzkumu. O tom, že náboj na PET lahvi zmizí, je přesvědčeno 13 studentů z 22 (tj. 60 %). Většina z nich svou odpověď zdůvodnila pouze konstatováním, že plast je izolant, případně že plast nevede elektrický proud. Mezi zdůvodněními se ale objevilo i „Plast nevede, proto náboj vprchal“, případně „PET lahev nevede a množství náboje se na PET lahvi neudrží“. Zdá se, že alespoň někteří ze studentů mohou být přesvědčeni, že náboj se může vyskytovat jen na vodičích, na izolantech se náboj neudrží.

Pro srovnání uveďme výsledky studentů v testu CSEM: u rozložení náboje na vodiči odpověděla naprostá většina studentů správně (i když část z nich také zvolila možnost, že se náboj rozloží na vnějším i vnitřním povrchu), odpovědi u otázky týkající se rozložení náboje na izolantu byly v podstatě náhodné. Odpověď „nezjistíme žádný náboj“ zvolilo v pretestu 26 % (Algebra-based) resp. 24 % (Calculus-based), v posttestu pak 19 % resp. 11 % studentů. Na miskoncepce týkající toho, že na izolantu „zmizí náboj“ a porovnání rozložení náboje na vodiči a izolantu je zaměřen experiment „plastová plechovka“ (viz kapitola 5.2).

Coulombův zákon (otázky 3 a 4)

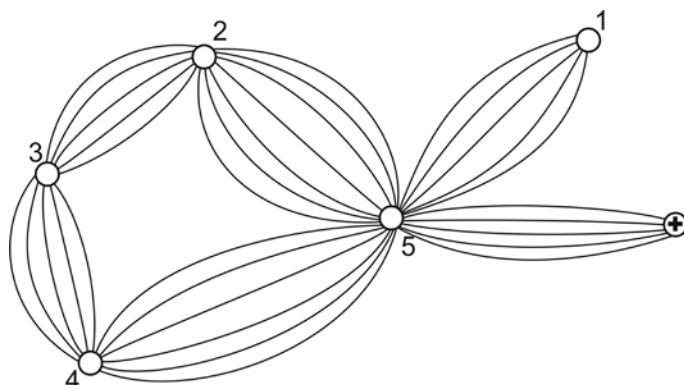
3. a 4. otázka se týkají Coulombova zákona. Studenti mají odpovědět, jak se změní síla, kterou na sebe vzájemně působí dvě kuličky s nábojem, jestliže jednu kuličku s nábojem $+Q$ vyměníme za kuličku s nábojem $+3Q$ (otázka 3) resp. když dvě kuličky s nábojem $+Q$ posuneme tak, aby byly dvakrát dál od sebe (otázka 4).

V otázce 3 odpověděla naprostá většina studentů správně (72 % v pretestu a 76 % v posttestu). Množství správných odpovědí ale nepřekvapí – pro studenty je přirozené, že když je 3× větší náboj, bude 3× větší i síla.

Na otázku 4 odpovědělo správně pouze 15 % v pretestu a necelých 30 % v posttestu. Nejčastější špatnou odpovědí byla odpověď „síla bude poloviční“. Tuto možnost zvolilo více než 60 % studentů v pretestu a 53 % studentů v posttestu. Výsledky této otázky odpovídají obdobné otázce v testu CSEM (viz kapitola 3.1). Jak je uvedeno v kapitole 3.1, zdá se, že přestože se výpočtům Coulombova zákona věnuje na středních školách poměrně dost času, studenti mu pořádně nerozumí, alespoň ne na kvalitativní úrovni.

Rozložení elektrického náboje a síla působící na náboj v elektrickém poli (otázky 5 a 6)

Otázka 5 se ukázala být nejjednodušší v pretestu i v posttestu. Úkolem studentů je určit náboje nabitých kuliček na obrázku, kde jsou kromě těchto kuliček naznačeny i siločáry (viz obr. 4.4). Otázku zodpovědělo správně téměř 80 % studentů v pretestu a téměř 86 % v posttestu).



Obr. 4.4. K zadání otázky 5

V otázce 6 měli studenti určit, jakým směrem bude působit síla na záporný náboj umístěný mezi nábojem označeným + a nábojem označeným 5. Studenti si tak museli uvědomit, že dva náboje s opačným znaménkem se přitahují. Správnou odpověď zvolilo téměř 59 % studentů v pretestu a více než 56 % studentů v posttestu. Nejčastější špatnou variantou byla síla mířící v opačném směru, tu zvolilo přibližně 19 % studentů v pretestu i posttestu.

Zdá se tak, že studenti nemají problém s pojmem siločar a s tím, že náboje s opačným nábojem se přitahují a náboje se stejným znaménkem se odpuzují. Otázky ale nezkoumají další miskoncepce týkající se elektrického pole, které jsou zmíněny v kapitole 3.1.

Elektrická intenzita (otázky 7 a 8)

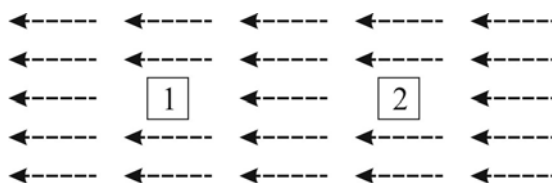
Otázky 7 a 8 se týkají intenzity elektrického pole – v otázce 7 je znázorněn vektor elektrické intenzity v daném místě poblíž kladně nabitě kuličky. Studenti mají určit, jaký bude vektor elektrické intenzity v poloviční vzdálenosti od tohoto náboje. Správnou odpověď (4× větší) zvolilo 6,5 % studentů v pretestu a pouze necelých 15 % v posttestu. Nejčastější špatná odpověď byla, že intenzita bude 2× větší. Tuto možnost zvolilo více než 63 % studentů v posttestu a téměř 58 % v posttestu. Zdá se, že se zde opakuje obdobný problém jako u Coulombova zákona – studenti se zdají být často přesvědčeni, že kolikrát se změní vzdálenost, tolikrát se změní i efekt (síla, elektrická intenzita, apod.). Z výsledků se zdá, že tato miskoncepce přetrvává i přesto, že Coulombův zákon je v mnoha ŠVP na školách vnímán jako stěžejní partie elektrostatiky a výpočtům se tak obvykle věnuje poměrně dost času.

V otázce 8 měli studenti určit velikost intenzity mezi dvěma náboji opačného znaménka. Správnou odpověď zvolilo pouze 11 % studentů v pretestu a téměř 23 % v posttestu. Nejčastější špatnou odpovědí bylo, že výsledná intenzita bude nulová (tuto možnost zvolilo téměř 77 % studentů v pretestu a téměř 60 % v posttestu). K určení příčiny této chyby by ale bylo potřeba podrobnější výzkum týkající se toho, jak studenti při řešení otázky uvažovali. Je možné, že v zadání přehlédli, že mají náboje opačná znaménka, příčinou ale může být i miskoncepce ve smyslu „je to uprostřed mezi dvěma náboji, tak se to vyruší“ bez hlubšího zkoumání toho, mezi čím to je uprostřed.

Homogenní pole (otázka 9)

9. otázka se týká toho, jaká síla působí na částici na dvou místech v homogenním elektrickém poli (viz obr. 4.5, místa jsou označena 1 a 2). Tato otázka se ukázala být třetí nejjednodušší: správnou odpověď zvolilo více než 60 % studentů v pretestu a

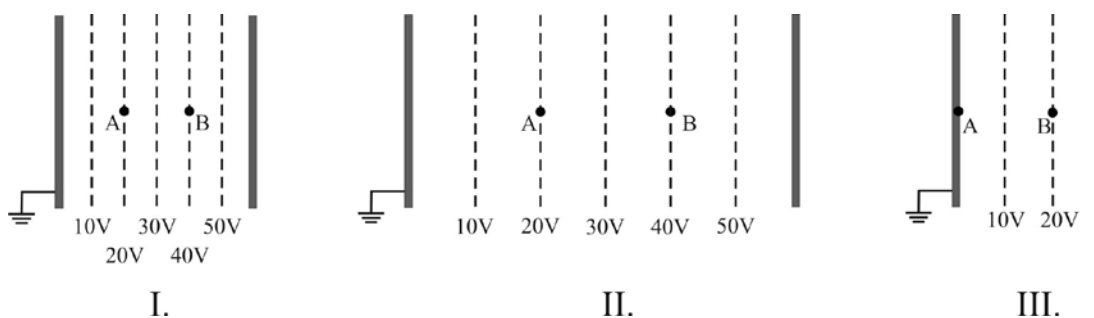
více než 70 % v posttestu. Nejčastější špatnou odpovědí (více než 20 % v pretestu a téměř 15 % v posttestu) je, že větší síla působí na náboj v místě 1.



Obr. 4.5. K otázce 9

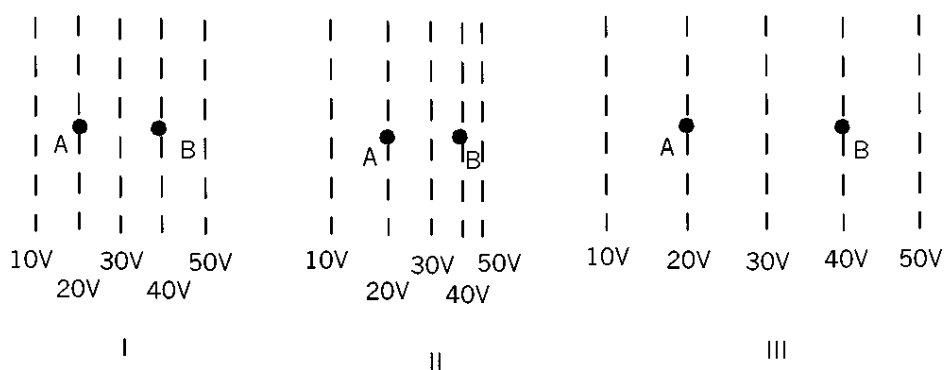
Práce v elektrickém poli (otázka 10)

V otázce 10 měli studenti určit, ve kterém ze tří případů na obr. 4.6 se při přesunu nabitě kuličky z bodu A do bodu B vykoná největší práce. Ke správnému vyřešení si studenti museli uvědomit, že nezáleží na fyzické vzdálenosti obou bodů ani na potenciálu bodů A a B, ale pouze na rozdílu potenciálů. Správnou odpověď (práce je ve všech případech stejná) zvolilo přibližně 42 % studentů v pretestu a 53 % v posttestu. Varianty „největší práce je na obrázku II.“ a „největší práce je na obrázku III.“ byly zastoupeny téměř rovnoměrně (v obou případech přibližně 20 % v pretestu a 17 % v posttestu). Možnost, že největší práci je potřeba vykonat na obrázku I, zvolilo přibližně 10 % studentů v pretestu i posttestu. Zdá se proto, že studenti nemají žádnou výraznou miskoncepci, ti, kteří nevěděli, odpověď spíše odhadli.



Obr. 4.6. K otázce 10

Obdobná otázka je i v testu CSEM (viz obr. 4.7). Zde zvolilo správnou odpověď 25 % (resp. 28 %) studentů v pretestu a 51 % (resp. 55 %) v posttestu. Varianty „největší práce je na obrázku II“ a „největší práce je na obrázku III“ zvolilo téměř stejně studentů. Autoři testu to komentují tak, že studenti často předpokládají, že větší vzdálenost mezi ekvipotenciálními čarami znamená silnější elektrické pole.

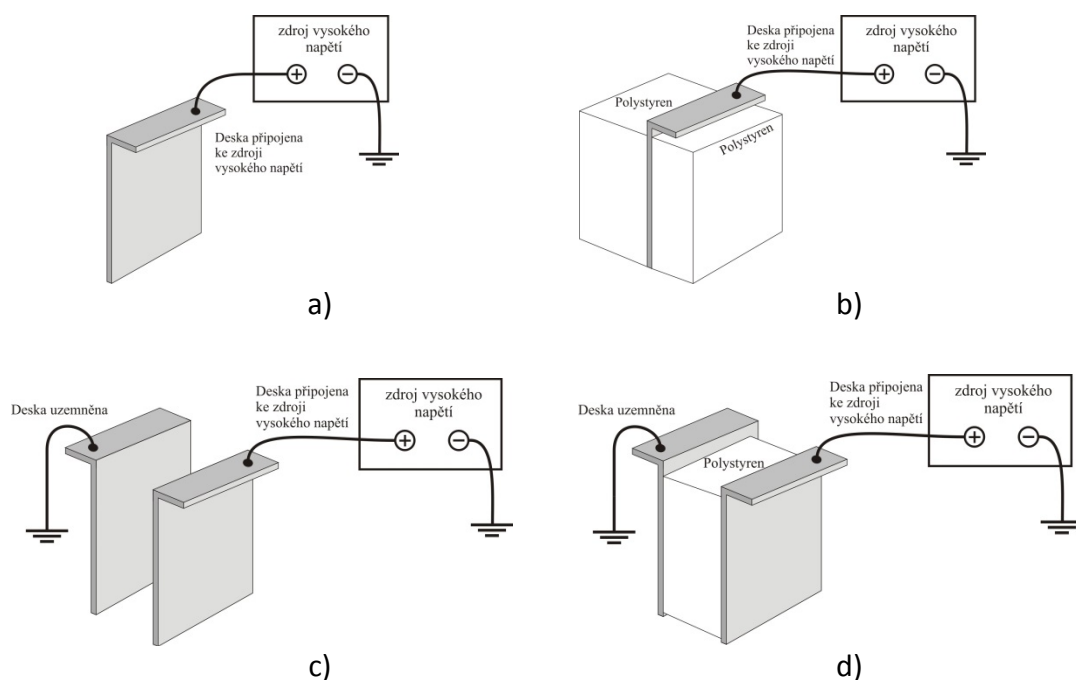


Obr. 4.7. Práce v elektrickém poli (převzato z [3])

Kondenzátory (otázky 11 a 12)

V otázce 11 jsou znázorněny kovové desky připojené ke zdroji vysokého napětí. Ve dvou případech jde pouze o jednu desku, ve zbylých třech o dvojici desek, z nichž jedna je uzemněná a druhá připojená ke zdroji vysokého napětí (dvojice desek tedy tvoří kondenzátor). U třech kondenzátorů se liší vzdálenost mezi deskami, případně přítomnost nebo nepřítomnost dielektrika. Studenti měli určit, v kterém z případů je na desce připojené ke zdroji napětí největší náboj. Studenti si museli uvědomit, že dvojice desek tvoří kondenzátor a náboj na jedné z desek je tak větší. Správnou variantu (viz obr. 4.8d) zvolilo přibližně 12 % studentů v pretestu a 23 % studentů v posttestu. Nejčastější špatné varianty byly v pretestu ty, kde byla jen jedna deska (viz obr. 4.8a a 4.8b). Tyto možnosti zvolilo v pretestu 30 % resp. 34 % studentů, v posttestu pak 16 % a více než 30 % studentů. Studenti považovali za správnou i možnost kondenzátoru se dvěma deskami bez dielektrika (viz obr. 4.8c), tu zvolilo téměř 18 % studentů v pretestu a více než 21 % studentů v posttestu.

Ve třídě, která se účastnila upraveného výzkumu, zvolilo v pretestu 9 studentů (40 %) možnost b. Pět z těchto studentů svou odpověď zdůvodnilo ve smyslu „polystyren to odizoluje, náboj nemá kam unikat“.



Obr. 4.8. K otázce 11

Zdá se, že ani po probrání tématu nemají studenti jasnější představu o tom, co to kondenzátor je a jak vypadá – část studentů nejspíš z popisu „dvě desky, z nichž jedna je uzemněná a druhá je připojena ke zdroji vysokého napětí“ kondenzátor vůbec nepoznala. Další část studentů nejspíše nerozeznala v kusu polystyrenu dielektrikum.

Z otázky 12 se zdá také, že studenti mají problém s aplikací vztahu mezi nábojem, kapacitou a napětím. Studenti měli určit, jak se změní napětí na kondenzátoru, na kterém je napětí U , jestliže k němu paralelně připojíme druhý nenabitý kondenzátor se stejnou kapacitou. Správnou odpověď sice zvolila většina studentů (téměř 64 % v pretestu a 54 % v posttestu), špatnou odpověď, že napětí zůstane stejné, ale zvolilo více než 20 % studentů v pretestu a 28 % v posttestu. Zdá se proto, že pochopení souvislosti mezi napětím, kapacitou a nábojem mezi studenty naopak při výuce kleslo! Příčina miskoncepce, že napětí na obou kondenzátorech zůstane stejné, může být v častém opakování poznatku „napětí paralelně je stejné“, který si tak studenti mechanicky zapamatují bez hlubšího pochopení jeho souvislostí a meziplatnosti.

Odpor vodiče (otázka 13)

Otázka 13 se týká závislosti odporu vodiče na délce a průřezu. K jejímu správnému vyřešení je potřeba, aby si studenti uvědomili, že pokud se průřez vodiče dvakrát zvětší, jeho odpor se dvakrát zmenší, a pokud se vodič zkrátí na polovinu, jeho odpor se také dvakrát zmenší. Současně je k vyřešení potřeba, aby si studenti uvědomili, že čím má vodič menší odpor, tím větší proud v něm při konstantním napětí poteče.

Konkrétní zadání otázky je na obr. 4.9 – studenti mají určit, jak se změní proud, který teče „přepůleným vodičem“ připojeným ke zdroji konstantního napětí.

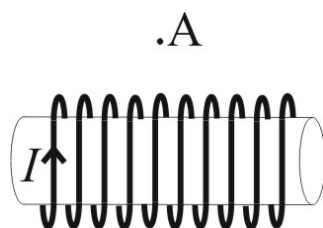


Obr. 4.9. Jak se změní proud, který teče do „přepůleného vodiče“ ze zdroje?

Správnou odpověď (zvětší se 4×) zvolilo téměř 10 % studentů v pretestu a 19 % studentů v posttestu. Mezi hodně zastoupenými špatnými odpověďmi bylo jednak „a) Zvětší se 2×“ (přibližně 30 % studentů v pretestu a 25 % v posttestu) a „e) Nezmění se“ (více než 40 % studentů v pretestu a 30 % v posttestu). Je možné, že studenti, kteří zvolili možnost „Zvětší se 2×“ si neuvědomili, že se nejen vodič zkrátí na půlku, ale i se dvojnásobil jeho průřez. Studenti, kteří zvolili možnost „Nezmění se“ možná byli naopak přesvědčeni, že se oba jevy vykompenzují.

Magnetické pole a magnetická síla (otázky 14, 15, 16)

Otázka 14 se týká směru magnetického pole okolo cívky s proudem. Studenti mají určit, jakým směrem se natočí střelka kompasu v bodě A na obr. 4.10.



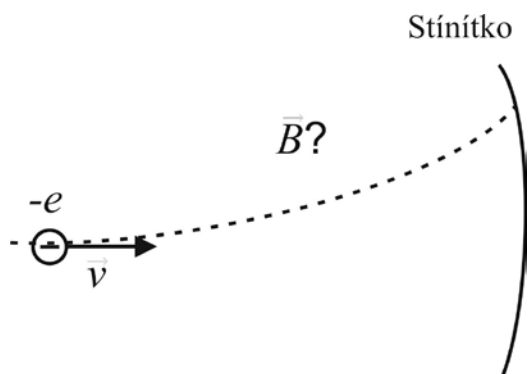
obr. 4.10. Jakou orientaci bude mít střelka kompasu umístěného v bodě A?

Správnou orientaci střelky zvolilo necelých 17 % studentů v pretestu a skoro 30 % v posttestu. Dalších přibližně 12 % studentů zvolilo v pretestu opačnou orientaci, stejnou možnost zvolilo více než 30 % studentů v posttestu. Je možné, že tito studenti si spletli reálný a domluvený směr proudu. Téměř 66 % studentů v pretestu a 38 % v posttestu ale zvolilo jako správnou možnost orientaci střelky směrem k nebo od cívky. Tato miskoncepce odpovídá zjištěním z testu CSEM, ve kterém je obdobná otázka týkající se směru magnetické indukce v okolí vodiče s proudem (viz kapitola 3.3). Zdá se ale, že velká část studentů tuto miskoncepti během výuky opouští a přiklání se ke správné (nebo opačné) orientaci střelky.

Ve třídě, která se účastnila upraveného výzkumu, zvolilo v pretestu orientaci střelky k nebo od cívky 16 studentů (73 %). Jako nejběžnější zdůvodnění se objevilo to, že střelka je přitahována magnetickým polem cívky: „bude ukazovat směrem k poli“, „je přitahována magnetismem (směrem dolů)“, příp. „přitáhne ji magnetická síla“.

V odpovědích na otázku 15 týkající se pohybu částice v magnetickém poli jsou vidět miskoncepce popsané ve výsledcích testu CSEM i v dalších výzkumech (viz kap. 3.3).

V otázce měli studenti určit směr vektoru magnetické indukce, jestliže částice v tomto magnetickém poli zatáčí směrem nahoru (viz obr. 4.11).



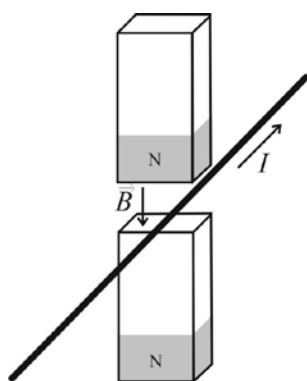
4.11. Jaký je směr vektoru magnetické indukce magnetického pole?

Správnou odpověď „před stránku“ zvolilo přibližně 14 % studentů v pretestu a 20 % studentů v posttestu. Další přibližně stejně velká skupina (11 % studentů v pretestu a 18 % studentů v posttestu) zvolilo opačný směr vektoru magnetické indukce („za stránku“).

Skoro třetina studentů (přibližně 32 % v pretestu i posttestu) zvolilo jako správnou odpověď směr vektoru magnetické indukce směrem k hornímu okraji stránky.

Dalších více než 10 % studentů zvolilo jako správný směr k dolnímu okraji stránky. Zdá se, že tito studenti jsou přesvědčeni, že magnetické pole přímo „strká“ do částice a tak způsobuje její zatáčení. Podobnou představu mohou mít i studenti, kteří zvolili možnost směru magnetické indukce ve směru zakřivené trajektorie elektronu (tuto variantu vybralo téměř 30 % studentů v pretestu a skoro 15 % v posttestu). Autoři testu CSEM i dalších dospěli k podobným výsledkům – v testu CSEM zvolilo v obdobné otázce v posttestu možnost odpovídající směru magnetického pole směrem k hornímu nebo dolnímu okraji stránky přibližně 30 % studentů (viz kapitola 3.3). Varianta ve směru zakřivené trajektorie elektronu nebyla pro studenty ve výzkumu CSEM tak populární – v pretestu ji sice zvolilo v 26 % resp. 16 % studentů (v Algebra-based resp. Calculus-based kurzech), v posttestu už jen 4 % resp. 2 %.

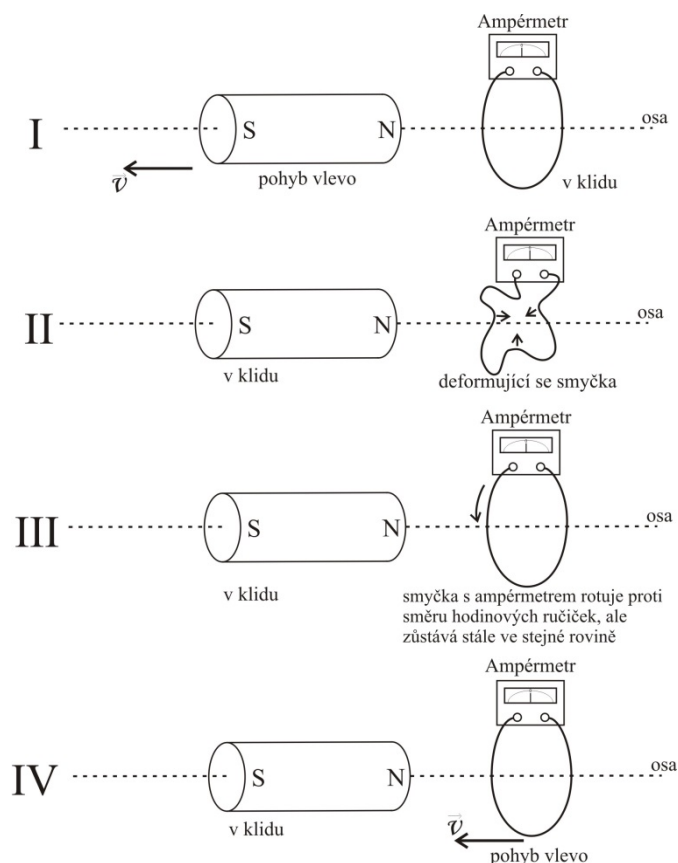
Podobnou miskoncepci ve smyslu „pohyb ve směru magnetického pole“ resp. „síla ve směru magnetického pole“ lze vidět i v odpovědích na otázku 16. V ní měli studenti určit směr síly na vodič s proudem umístěný mezi dvěma magnety (viz obr. 4.12). I když tato otázka nebyla pro studenty tak těžká (správnou odpověď zvolilo přibližně 32 % studentů v pretestu a více než 53 % v posttestu), možnost „síla má směr ve směru magnetické indukce“ zvolila skoro třetina studentů v pretestu (konkrétně 30,4 %) a téměř čtvrtina v posttestu (24,4 %).



obr. 4.12. Jaký je směr síly působící na vodič s proudem v magnetickém poli?

Elektromagnetická indukce (otázka 17)

Zadání otázky týkající se elektromagnetické indukce je vidět na obrázku 4.13. Studenti měli určit, ve kterých případech ukáže ampérmetr nějakou výchylku.



Obr. 4.13. Ve kterých případech ukáže ampérmetr nějakou výchylku?

Správnou odpověď (I, II, IV) zvolilo 14,2 % studentů v pretestu a 14,9 % v posttestu. Přibližně čtvrtina studentů (25,3 % v pretestu a 21,6 % v posttestu) zvolila jako správnou možnost odpověď, že se napětí indukuje pouze v případě IV, dalších 26,5 % v pretestu a 38,2 % v posttestu zvolilo odpověď odpovídající indukovaní napětí v případech I a IV. Tato odpověď koresponduje s tím, že je elektromagnetická indukce obvykle ukazována na pohybu magnetu směrem k cívce (resp. pohybu cívky směrem k magnetu). Přibližně čtvrtina studentů (23,1 % v pretestu a 20,9 % v posttestu) zvolilo jako správnou odpověď případy I, III, IV. Zdá se, že tito studenti mají pocit, že pokud smyčka rotuje kolem vlastní osy, tak se pohybuje a tedy se v ní indukuje elektrické napětí. Podle výsledků to vypadá, že studenti nerozumí

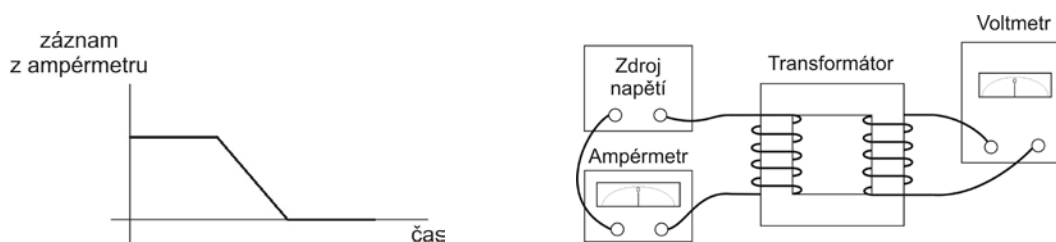
dostatečně pojmu magnetický indukční tok a neví, v jakých případech se magnetický indukční tok mění.

Výsledky českých studentů korespondují s miskoncepcemi zjištěnými v testu CSEM (viz kapitola 3.4).

Elektromagnetickou indukci a názornou demonstrací toho, kdy se mění magnetický indukční tok, se zabývá experiment „Cívka v homogenním magnetickém poli“ (viz kapitola 5.2).

Transformátor (otázka 18)

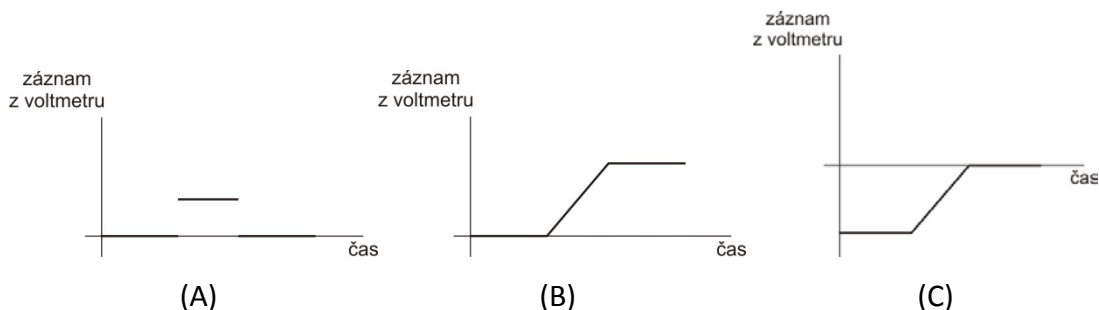
Poslední otázka testu je zaměřena na porozumění elektromagnetické indukci v transformátoru. Zadání je vidět na obrázku 4.14 – studenti znají záznam z ampérmetru připojeného na primární stranu transformátoru a mají určit, jak bude vypadat záznam z voltmetru umístěného na sekundární straně. K správnému vyřešení otázky je potřeba si uvědomit, že k elektromagnetické indukci (tedy nenulové výchylce na voltmetru) dochází pouze tehdy, když se mění proud v primární cívce.



Obr. 4.14. Zadání otázky 18

Otázka má největší obtížnost (0,1) a současně nejmenší citlivost (0,06). Pro studenty může být náročná z několika důvodů – k jejímu správnému vyřešení potřeba spojit několik poznatků (funkce transformátoru, to, že transformátor funguje jen při změně proudu, jaký je vztah mezi proudem v primárním obvodu a v sekundárním obvodu,...) a současně je otázka zadaná graficky. Vzhledem k tomu, že z výzkumů plyne (viz např. [33]), že studenti mají s grafickým zadáním úloh problém, je možné, že formulace „Určete, v kterých případech proudu tekoucího do transformátoru naměříme na voltmetru nějakou výchylku: 1) konstantní proud 3 A, 2) proměnný proud, 3) žádný proud“ by mohla být pro studenty jednodušší.

Správnou odpověď e) (viz obr. 4.15A) zvolila přibližně desetina studentů (11 % v pretestu a 10 % v posttestu). Mezi nejběžnější distraktory patří v testu možnost a) (viz obr. 4.15B), kterou zvolilo více než 30 % studentů v pretestu a 41 % v posttestu, možnost c) (viz obr. 4.15C) zvolilo 22 % studentů v pretestu a 23 % v posttestu.



Obr. 4.15. správná odpověď na otázku 18 a nejběžnější distraktory

Výše popsané miskoncepce identifikované pomocí testu KTEM se velmi podobají miskoncepčním identifikovaným v zahraničních výzkumech (viz kapitola 3). I přesto se zdá, že čeští studenti mají některé specifické problematické představy (například týkající se rozložení náboje na vodiči). Z výsledků výzkumu a identifikovaných miskoncepčí vycházejí některé experimenty a metodické materiály popsané v další kapitole.

5. Experimenty a metodické materiály

V následující kapitole jsou popsány náměty, které lze použít ve výuce – zařazeny jsou zde samostatné experimenty vhodné do výuky elektřiny a magnetismu, ale také kompletní scénáře některých vyučovacích hodin a připravené laboratorní práce.

Všechny materiály byly vybrány tak, aby splňovaly alespoň jedno ze dvou kritérií:

- názorně ukazují některý problematický jev popsáný v předchozí kapitole a mohou tak studentům pomoci překonat některou miskoncepci,
- názorně ukazují nějaký další jev, který tak mohou pomoci studentům pomoci pochopit.

Cílem této části práce není sepsat „povinné dogma“, ale nabídnout učitelům ověřené náměty, které mohou zařadit do výuky. Některé materiály jsou vzhledem ke svému rozsahu zařazeny do příloh, zde je v těchto případech uveden jen jejich stručný popis.

Kapitola je rozdělena do čtyř podkapitol:

Podkapitola 5.1 je zaměřena na to, jak s experimenty pracovat, aby měly ve výuce smysl. Informace pro tuto podkapitolu jsou čerpány převážně ze zahraničních studií. Podkapitola 5.2 obsahuje samotné experimenty vhodné do výuky. Náměty na některé uvedené experimenty jsou převzaty z jiných zdrojů. Tyto experimenty byly ověřeny, byly k nim sepsány návody a byly doplněny metodickými i technickými komentáři. Původní zdroje jsou u jednotlivých experimentů citovány. Všechny dále uvedené experimenty byly publikovány v časopisech nebo ve sbornících z konferencí. Některé z nich jsou publikovány i ve Sbírce fyzikálních pokusů (viz [34]).

V podkapitole 5.3 jsou popisy připravených scénářů jednotlivých tematických celků. Scénáře jednotlivých hodin byly připraveny tak, aby vyhovovaly mé vlastní výuce, některé experimenty, které jsou v nich použity, jsou z části převzaty z jiných zdrojů – vlastní podíl je u jednotlivých materiálů uveden. Do některých scénářů jsou zařazeny i experimenty z podkapitoly 5.2, tyto tak mohou sloužit jako inspirace, jak popsané experimenty zařadit do výuky. Všechny scénáře byly v průběhu několika let

ověřovány v mé výuce, komentáře studentů k těmto materiálům jsou uvedeny v kapitole 6.1. Výjimkou je metodický materiál k prvnímu seznámení s magnety v šesté třídě ZŠ – tento materiál byl připraven primárně pro potřeby učitelů zapojených v projektu Heuréka, jeho podstatná část byla ověřována na ZŠ Červený Vrch – komentáře žáků jsou uvedeny v kapitole 6.1.

Podkapitola 5.4 je zaměřena na popis jednotlivých námětů na laboratorní práce. Tyto laboratorní práce byly ověřovány v průběhu několika let ve vlastní výuce, zkušenosti z tohoto ověřování jsou popsány v kapitole 6.1. Náměty na laboratorní práce jsou vlastní, ale některé experimenty použité v těchto laboratorních pracích jsou převzaty z jiných zdrojů. Tyto jsou u jednotlivých laboratorních prací specifikovány.

5.1 Experimenty ve výuce fyziky

Z jakého důvodu zařazujeme experimenty do výuky fyziky? Jsou zde vůbec potřeba? A jak je do výuky zařadit, aby to bylo smysluplné? Na tyto otázky se pokusím odpovědět v této podkapitole. Vzhledem k tomu, že podrobně se této problematice věnuje Z. Šabatka ve své dizertační práci (viz [35]), shrnu zde jen některé důležité závěry.

Odpovědi na první z položených otázek se lze vyhnout tím, že je tato povinnost napsána v kurikulárních dokumentech. Rámcový vzdělávací program pro základní školy (RVP ZŠ, viz [36]) zmiňuje mezi očekávanými výstupy například: (Žák)

- změří vhodně zvolenými měřidly některé důležité fyzikální veličiny charakterizující látky a tělesa,
- sestaví správně podle schématu elektrický obvod a analyzuje správně schéma reálného obvodu,
- zapojí správně polovodičovou diodu,
- změří velikost působící síly.

V Rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia (RVP G, viz [30]) je takovýchto praktických očekávaných výstupů méně, ale objevuje se zde například: (Žák)

- měří vybrané fyzikální veličiny vhodnými metodami, zpracuje a vyhodnotí výsledky měření.

Dle RVP G by výuka v oblasti Člověk a příroda měla vést žáka mimo jiné k „provádění soustavných a objektivních pozorování, měření a experimentů (především laboratorního rázu) podle vlastního či týmového plánu nebo projektu, k zpracování a interpretaci získaných dat a hledání souvislostí mezi nimi“.

Ráda bych zde však uvedla hlubší důvody pro experimenty ve výuce fyziky. Zaměřím se hlavně na dvě oblasti: využití experimentů z hlediska motivace studentů a z hlediska porozumění.

5.1.1 Experimenty ve výuce fyziky z hlediska motivace studentů

Různé výzkumy zmiňují, že experimenty (a obecně praktická činnost, anglicky „practical work“) žáky ve škole baví. Ke stejnému závěru dospěl například i rozsáhlý český výzkum [37], v rámci kterého 4000 žáků základních a středních škol odpovídalo na otázku, které činnosti by ve fyzice rádi dělali. Na nejvyšších místech žebříčku žáků základních škol (a nižších stupňů víceletých gymnázií) se objevily činnosti:

- dělat pokusy vlastníma rukama
- využívat počítače k měření a zpracování dat
- sestrojovat jednoduchá zařízení, hračky apod.
- sám něco objevovat
- sledovat pokus, který provádí učitel/ka

Žebříček studentů středních škol dopadl podobně. Na prvních místech se objevilo:

- dělat pokusy vlastníma rukama
- využívat počítače při zpracování dat
- naučit se třídit a systematizovat informace
- sestrojovat jednoduchá zařízení, hračky apod.
- vyhledávat a zpracovávat informace z internetu

Naopak na opačném konci se objevily u obou skupin činnosti:

- počítání příkladů
- odvozování vzorečků
- odhadování nepřesností měření

Zdá se tedy, že žáci obecně preferují činnosti, při kterých jsou aktivní, naopak, činnosti, při kterých mají počítat, jsou spíše neoblíbené.

Studie popsané v článku [38] se účastnilo 100 žáků ve věku 11-16 let z osmi britských škol. Naprostá většina těchto žáků potvrdila, že preferují praktické činnosti před ostatními výukovými metodami. Důvody, proč mají tito žáci praktické činnosti rádi (tak, jak je žáci uvedli) jsou v tabulce 5.1.

Tab. 5.1. Proč mají žáci rádi praktické činnosti? (důvody uvedené žáky, přeloženo podle [38]).

Jsou méně nudné.	Je to lepší než práce.
Je to zábava.	Máme možnost pracovat s věcmi.
Je to lepší než poslouchat učitele.	Je vidět, co se stane.
Je to lepší než číst z učebnice.	Máme možnost samostatně objevovat nové věci.
Pomohou nám tomu lépe porozumět.	Získáme zkušenosti.
Jsou vzrušující (angl. „exciting“)	Lépe si to zapamatujeme.
Je to uvěřitelnější.	Naučíme se víc.

Podobné důvody, proč praktické činnosti žáky baví, zmiňuje např. kniha [39]:

- Je to příležitost mluvit se spolužáky (ne nutně o daném zadání).
- Žákům se uleví od poslechu výkladu učitele a od psaní poznámek.
- Atmosféra je během praktické práce volnější.
- Žáci mají větší kontrolu nad rychlostí práce.

Výše uvedené lze zjednodušeně shrnout tak, že žáky pokusy (a praktické činnosti obecně) baví, dost možná proto, že je chápou jako volnější aktivitu, při které „se nemusí tak moc učit“.

5.1.2 Experimenty ve výuce fyziky z hlediska porozumění konceptům

Naopak, ohledně toho, zda experimenty pomáhají porozumění, je mnoho výzkumů spíše kritických. Například van den Berg uvádí v článku [40] shrnutí několika studií týkajících se laboratorních prací, ze kterých mimo jiné plyne, že laboratorní práce nejsou lepší než jiné metody v učení základních konceptů.

Podobné závěry byly zjištěny i ve výzkumech týkajících se praktických činností, které shrnuje publikace [41]: „...Nelze říct, že praktické činnosti jsou efektivnější v pomoci

studentům v naučení se znalostem, některé studie dokonce ukazují, že praktické činnosti jsou méně efektivní než jiné metody.“ (přeloženo podle [41], str. 59)

Ohledně demonstračních experimentů vyslovil tento závěr např. Miller (viz [42]): „Nebyl nalezen žádný signifikantní rozdíl mezi studenty, kteří pouze viděli experimenty a těmi, kteří je vůbec neviděli“.

Jako konkrétní příklad takové studie lze uvést např. [43], která porovnávala, nakolik se u studentů anglických a španělských škol projevil různý způsob výuky v jejich porozumění tématu hoření. Studie dospěla k závěru, že přestože studenti anglických škol absolvovali mnohem víc praktických činností než studenti španělských škol, v jejich porozumění danému tématu po absolvování výuky byl pouze zanedbatelný rozdíl.

Tento závěr je v mnoha ohledech zarážející, vzhledem k tomu, jak jsou praktické činnosti učiteli prosazovány jako mnohem efektivnější ohledně pochopení daného tématu než jiné metody výuky. V následujícím textu se pokusím ukázat některé příčiny tohoto zdánlivého rozporu a shrnu závěry, které z různých studií plynou ohledně zařazení experimentů do výuky.

Některé studie (viz např. [39]) praktickým činnostem vytýkají mimo jiné to, že „toho od nich chceme moc“. Publikace [39] zmiňuje závěry z několika studií, jejichž autoři se ptali učitelů, s jakými cíli zařazují praktické činnosti do výuky. Jako nejdůležitější cíle učitelů autoři zmiňují:

- podpořit přesné pozorování a popis pozorovaných jevů,
- představit studentům vědecké poznatky jako reálnější,
- zlepšit porozumění vědeckým konceptům,
- povzbudit zájem žáků,
- podpořit vědecké způsoby myšlení.

V praxi tak často učitel během praktické činnosti po žácích chce, aby:

- objevili vědecký závěr,
- formulovali a diskutovali hypotézy,
- trénovali měření s měřicím přístrojem,
- diskutovali přesnost měření a případně počítali odchylky měření.

Mnohdy má široká škála cílů za výsledek to, že žáci nerozumí smyslu dané aktivity a ta pro ně tak není srozumitelná.²

Jako další příčina malé efektivity praktické činnosti se objevuje to, že žáci pracují pouze podle předem daného návodu, „kuchařky“ a že tedy jen bezmyšlenkovitě opakuji kroky připravené učitelem (v ang. „hands-on“), bez zapojení vlastního myšlení (v ang. „minds-on“).

Poslední příčinu, kterou zde zmíním, považuji za asi nejdůležitější: K pochopení daného jevu nestačí jen pozorovat samotný experiment. Žák si ho vyloží tak, aby odpovídal jeho předchozím znalostem, které ale mohou být miskoncepce. Samotné pozorování experimentu tak může vést naopak k horšímu porozumění danému jevu a je tak spíše kontraproduktivní (viz např. [42]).³

Autoři studií (viz např. [39, [42], [44] a další) se shodují, že k tomu, aby měly experimenty ve výuce smysl, je potřeba splnit několik podmínek:

Praktická činnost by měla mít jasný a srozumitelný účel (a to účel srozumitelný i žákům), žáci by měli vědět, proč tuto činnost teď provádí a co se z ní mají naučit.

Různé praktické činnosti jsou vhodné pro různé cíle; autoři Gott a Duggan citovaní v publikaci [39] navrhuji dělit praktické činnosti na tři typy podle cíle, ke kterému jsou určeny: „exercises“ (cvičení) k tréninku praktických dovedností a technik, „investigations“ (výzkumy) k poskytnutí příležitosti pracovat jako vědci řešící daný problém a „experiences“ (zkušenosti) k praktické ilustraci daného jevu (viz [39], str. 95).

² V této souvislosti publikace [41], str.60 cituje R. Driver, která známé čínské přísloví „I listen and I forget, I look and I remember, I do and I understand“ (slyším a zapomenu, vidím a zapamatuji si, dělám a pochopím) výstižně přeformulovala do podoby „I listen and I forget, I look and I remember, I do and I am even more confused!“ (Slyším a zapomenu, vidím a zapamatuji si, dělám a jsem ještě víc zmatená!).

³ Dovolím si zde uvést vlastní zkušenost z laboratorních prací týkajících se měření proudu a napětí v sériovém a paralelním obvodu (viz kapitola 5.3): student měl miskoncepti ve smyslu „proud se v obvodu spotřebovává“ a vzhledem k tomu, že příslušný sériový obvod zapojil špatně, opravdu na jednom z ampérmetrů naměřil nulovou výchylku. Kdyby experiment v této chvíli skončil, došlo by k jeho utvrzení se ve špatné představě.

E. Etkina a kol. v článku [44] navrhuje dělit experimenty na „observational“ (pozorovací), určené k prvotnímu pozorování daného jevu a vyslovení hypotézy, „testing“ (testovací) k ověření správnosti hypotézy a „application“ (aplikační) určené k aplikaci daného konceptu na jiné situace.

Samotný experiment není samospasitelný. Měl by být nechán dostatečný čas na diskuzi mezi učitelem a žáky i mezi žáky samotnými o tom, co experimentem zjistili a k jakým závěrům došli. Studenti by měli s experimentem pracovat, měl by být integrální součástí výuky. Miller v článku [42] zmiňuje cyklus POE („Predict, observe, explain“ – předpověz, pozoruj, vysvětli) – žáci by měli předpovědět, jak experiment dopadne a po jeho pozorování by měli pozorované vysvětlit a konfrontovat se svou původní předpovědí.

Někteří autoři v této souvislosti zdůrazňují provázanost mezi praxí (experimentem) a teorií (nejde zde jen o teorii ve smyslu vzorců, ale hlavně o to, že o experimentech je třeba přemýšlet). V angličtině tuto provázanost často popisuje slovní spojení „hands-on, minds-on“, v češtině vystihuje totéž slogan vytvořený nezávisle L. Dvořákem, když chtěl vystihnout činnost na letních táborech pro středoškoláky: „Vlastníma rukama a hlavou“, který je také obsažen v názvu mé práce.

Watson v publikaci [41] zmiňuje i důležitost učitele jako mediátora a „překladatele“ pozorovaných poznatků žákům. Jeho role by měla být v tom, aby žákům pomohl porozumět experimentu a jeho vysvětlení.

5.2 Experimenty

Experimenty v této kapitole byly vybrány tak, aby názorně demonstrovaly daný jev, část z nich je přímo navázána na konkrétní miskoncepci uvedenou v kapitole 4.6. Všechny popsané experimenty byly prezentovány na konferencích v České republice i v zahraničí a setkaly se zájmem učitelů.

Část z dále uvedených experimentů byla sepsána do výukových textů k předmětu Praktika školních pokusů II (viz [45]). Experimenty z tohoto semináře jsou postupně převáděny do Sbírký fyzikálních pokusů (viz [34]). Dva z dále popsaných experimentů (Kutálení plechovky a Curieova teplota feromagnetika) tam převedla a doplnila teorií a videem Bc. Jana Machalická, které za to tímto děkuji.

U každého z dále popsaných experimentů uvádím:

- stručný popis experimentu,
- úroveň, pro kterou je experiment vhodný (ZŠ, SŠ, VŠ),
- k jakému účelu je vhodný experiment zařadit do výuky, cíl experimentu,
- do jaké kapitoly je experiment vhodný zařadit, po jakých tématech experiment navazuje, příp. jaké znalosti by studenti už měli mít,
- zda a kde byl experiment publikován; pokud byl publikován česky i anglicky, jsou uvedeny oba zdroje. Je-li experiment sepsán v online dostupném textu, je toto uvedeno také,
- zda je experiment původní nebo převzatý; u převzatých experimentů je uveden zdroj.

Přehled experimentů:

- Kutálení plechovky (elektrostatika, síla mezi brčkem a plechovkou)
- „Plastová plechovka“ (elektrostatika, rozložení náboje na vodiči a izolantu)
- Demonstrace diamagnetismu a paramagnetismu (magnetické vlastnosti látek)
- Diamagnetická levitace (magnetické vlastnosti látek)
- Curieova teplota feromagnetika (magnetické vlastnosti látek)
- Demonstrace Ampérova zákona (stacionární magnetické pole, měření magnetického pole uvnitř cívky s proudem)
- Vznik indukovaného napětí s LED (elektromagnetická indukce)
- Cívka v homogenním magnetickém poli (elektromagnetická indukce)
- Indukční nabíječka na mobilní telefon (aplikace elektromagnetické indukce)
- Transformátor „na baterku“ (transformátor)
- Indukované napětí (transformátor, odvození vztahu pro transformační poměr)
- Žárovka v primárním a sekundárním obvodu (transformátor, proud v zapojení naprázdno a nakrátko)
- Transformátor se dvěma sekundárními vinutími (transformátor, problémová úloha vedoucí k diskusi o magnetickém obvodu)

Kutálení plechovky

Kutálení plechovky je velmi jednoduchý elektrostatický experiment, který ale může sloužit k různým účelům na různých úrovních. K jeho provedení stačí pouze plechovka od nápoje a brčko nebo nabitá tyč. Pokud přiblížíme nabitě brčko nebo tyč k plechovce od nápoje položené na bok, začne se plechovka kutálet (viz obr. 5.1).



Obr. 5.1. Kutálení plechovky

Základní verze experimentu byla sepsána v textu [46] a poté převedena do sbírky fyzikálních pokusů [47].

Na úrovni 1. stupně ZŠ mohou žáci pouze zjišťovat, na jakou vzdálenost se plechovka k nabitěmu brčku přitahuje, případně může učitel uspořádat „závody“ o to, která plechovka nejrychleji přejede třídu. V tomto případě je experiment použit jako motivační – žáci se poprvé seznamují s tím, že se na sebe elektricky nabitá tělesa mohou působit na dálku (diskuze se žáky probíhá samozřejmě na úrovni jejich znalostí).

Stejný experiment lze využít i jako motivační na vyšších úrovních – pro studenty je fakt, že nabitě brčko přitahuje plechovku, obvykle velmi překvapivý. Pokud je experiment zařazen takto, je vhodný na začátek tématu elektrostatika, studenti k němu nepotřebují žádné předběžné znalosti; je ale vhodné se k němu vrátit po probrání elektrostatické indukce a vysvětlit ho.

Na úrovni 2. stupně ZŠ a na SŠ může být zařazen do tématu elektrostatické síly (resp. na SŠ ke Coulombovu zákonu) – žáci si pomocí něj mohou udělat lepší

představu o velikosti síly mezi brčkem/tyčí a plechovkou, pokud necháme plechovku kutálet nahoru po nakloněné rovině s měnící se strmostí.

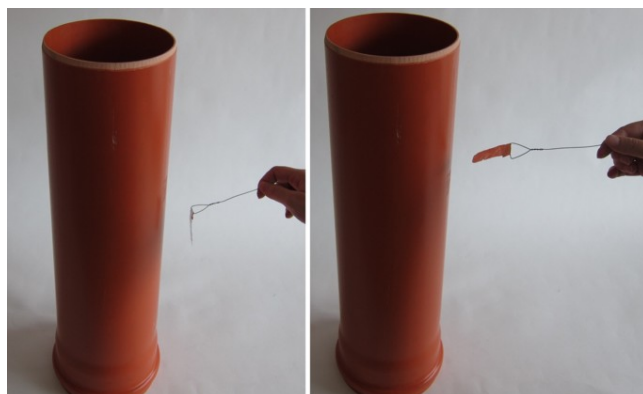
Experiment byl prováděn v rámci laboratorní práce se studenty SŠ. Studenti nejdříve zkusili nechávat plechovku vyjet po výrazně vyšším sklonu nakloněné roviny (30° - 45°), bylo pro ně velkým překvapením, že maximální sklon nakloněné roviny, který ještě plechovka vyjede, je pouze do 5° (záleží na náboji na brčku resp. tyči, hmotnosti plechovky a průhybu nakloněné roviny). Celá laboratorní práce je popsána v kapitole 5.4, pracovní list je k dispozici v příloze C1.

Na úrovni SŠ už lze se žáky udělat i odhad síly mezi brčkem (resp. nabitou tyčí) a plechovkou pomocí známého úhlu sklonu nakloněné roviny, na které se plechovka pomocí brčka (tyče) ještě udrží v klidu. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o řádový odhad, lze použít Coulombův zákon i přesto, že ani brčko (resp. tyč) ani plechovka nejsou bodové náboje. Postup tohoto výpočtu je zpracován v textu [48].

Na úrovni VŠ lze provést přesnější měření závislosti síly mezi brčkem a plechovkou na vzdálenosti mezi nimi. Sílu mezi tyčí a plechovkou lze počítat i teoreticky (v přiblížení nabitě přímky a nekonečně dlouhého vodivého válce) a tím daný problém využít jako motivaci pro výpočet elektrického pole metodou obrazů. Toto měření bylo prezentováno na konferenci GIREP-EPEC & PHEC 2009 a na konferenci DIDFYZ 2010 (viz [49]).

„Plastová plechovka“

Pokus reaguje na častou miskoncepci středoškolských studentů, kteří jsou přesvědčeni, že náboj na izolantu po několika sekundách zmizí (viz kapitola 4.6). Jako vhodný izolant byla zvolena plastová kanalizační trubka – je jednak antistatická, takže ji lze dobře nabít a náboj na ní dlouho vydrží a jednak je tvarem i velikostí podobná větší plechovce, kterou velká část studentů z pokusů z elektrostatiky dobře zná. Uspořádání experimentu je vidět na obr. 5.2 – konkrétní místo na plastové plechovce je nabito třením papírovým kapesníkem, jako indikátor náboje slouží alobalový lístek na držátku z kousku drátu.



Obr. 5.2. Indikátor náboje poblíž nenabitého místa (vlevo) a nabitého místa (vpravo) na „plastové plechovce“

Pokus je určen hlavně studentům SŠ, lze ho ale použít i na 2. stupni ZŠ. Cílem pokusu je hlavně ukázat rozdíl v rozložení náboje na plechovce a na „plastové plechovce“ – kanalizační trubce. Zařazení pokusu do výuky tématu „Rozložení náboje na vodiči a izolantu“ na SŠ ukazuje metodický materiál v kapitole 5.3. Na ZŠ lze experiment zařadit mezi základní pokusy týkající se vlastností elektrického náboje – jako srovnání chování náboje na vodivé plechovce a na izolantu.

Pokus je zpracován v textu [46] a ve Sbírce fyzikálních pokusů [50]. Na mezinárodní úrovni byl experiment prezentován na konferenci GIREP-MPTL 2014 (viz [51]), v ČR potom na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 18 (viz [52]).

Demonstrace diamagnetismu a paramagnetismu

Experiment demonstruje chování diamagnetického a paramagnetického materiálu ve vnějším magnetickém poli. Jeho cílem je, aby co nejjednodušší (a přitom přesvědčivou formou) ukázal existenci sil mezi diamagnetickým (resp. paramagnetickým) materiálem a magnetem.

Originální námět je převzat z článku [53], ve kterém je měřena diamagnetická síla mezi bismutem a magnetem.

Uspořádání našeho pokusu je vidět na obr. 5.3 – vzorek materiálu je umístěn na digitální váhy (na dostatečně vysoký nemagnetický stojánek, aby magnet neovlivňoval desku vah, obvykle stačí přibližně 25 cm), ke vzorku je seshora přibližován neodymový magnet. Jako vhodný diamagnetický materiál byl v našem

uspořádání použít bismut, jako paramagnetický materiál pak chrom. Vzhledem k velmi malé diamagnetické resp. paramagnetické síle (řádově mN pro vzorky o hmotnosti desítek gramů) je potřeba, aby použité váhy měly citlivost alespoň 0,01 g, lépe 0,001 g.



Obr. 5.3. Uspořádání experimentu pro demonstraci diamagnetismu a paramagnetismu

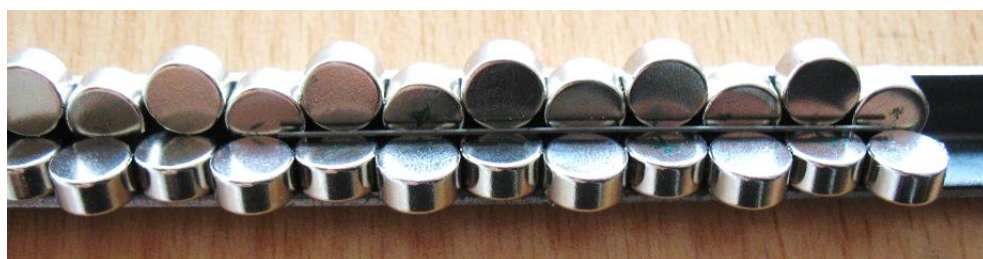
V diamagnetickém bismutu dojde po přiblížení magnetu k zeslabení magnetického pole uvnitř vzorku, bismut se tak od magnetu odpuzuje, díky čemuž se zvětší výchylka na vahách (pozorovat lze výchylku přibližně 0,01-0,02 g). V paramagnetickém chromu dojde naopak k zesílení magnetického pole, chrom se k magnetu mírně přitáhne a výchylka na vahách se zmenší.

Experiment je určen pro studenty SŠ, jeho zařazení je vhodné jako demonstrační experiment v rámci výkladu magnetických vlastností látek. Oproti klasičtějšímu uspořádání, ve kterém jsou vzorky materiálů umístěny na torzní vahadlo, je tento experiment pro studenty průkaznější. Experiment je v tomto jednoduchém uspořádání pouze kvalitativní – lze se studenty diskutovat, že mezi vzorkem a magnetem nějaká síla působí, zda se vzorek k magnetu přitahuje či se od něj odpuzuje, případně odhadovat řádovou velikost síly.

Experiment byl prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 16 (viz [54]), poté byl publikován v časopise Matematika-Fyzika-Informatika (viz [56]), sepsán byl i do textu [57] a do Sbírký fyzikálních pokusů [58].

Diamagnetická levitace⁴

Experiment netradičním způsobem demonstruje vlastnosti diamagnetických materiálů. Jako diamagnetikum je použita tuha do mikrotužky, ta se vznáší v „korýtku“ z neodymových magnetů. Uspořádání experimentu je vidět na obr. 5.4.



Obr. 5.4. Diamagnetická levitace – uspořádání experimentu

Výhodou experimentu je velmi jednoduché uspořádání a pomůcky, které studenti běžně znají ze svého okolí (na rozdíl od pyrolytického grafitu nebo bismutu, které jsou používány v jiných běžně známých uspořádáních).

Vzhledem k tomu, že odpudivá síla mezi magnety a diamagnetickým grafitem je výrazně menší než přitažlivá síla mezi magnety a feromagnetickým železem, je i velmi malé množství železa v tuze na překážku. Z tohoto důvodu byl měřen obsah železa v několika vzorcích tuh od dvou výrobců. Z měření vyšlo, že tuhy jsou pro experiment vhodné pouze tehdy, jestliže neobsahují ani stopové množství železa.

Experiment je vhodné zařadit do výuky několika způsoby, například:

- jako demonstrační k výkladu týkajícímu se magnetických vlastností látek na SŠ.
- jako motivační k úvodu kapitoly o magnetismu; v tom případě ho lze zařadit na ZŠ i SŠ s tím, že na ZŠ ho učitel nechá jen jako ukázkou bez vysvětlení.

⁴ Pozn.: První prototyp uspořádání vznikl na Soustředění mladých fyziků a matematiků v roce 2011, jeho autorem je účastník Soustředění Jan Homola. Poté byl experiment důkladně ověřen včetně zjištění složení grafitových tuh.

- vzhledem k tomu, že „korýtko“ lze poměrně jednoduše vyrobit, lze experiment v případě dostatku magnetů zařadit i jako netradiční laboratorní práci, ve které si aparaturu studenti sami vyrobí. Stejně tak je možné nechat zájemce aparaturu vyrobit jako dobrovolný domácí úkol.
- experiment je pro studenty velmi překvapivý – hodí se proto i jako motivační na předvánoční hodiny, fyzikální show, apod.

Experiment byl publikován v časopise Physics Education (viz [59], článek je k dispozici v příloze D1), česky byl experiment prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 16 v Olomouci v roce 2011 v rámci příspěvku o Soustředění mladých matematiků a fyziků (viz [55]), sepsán byl i do textu [57]. Spolu s videem je k dispozici ve Sbírce fyzikálních pokusů (viz [60]).

Curieova teplota feromagnetika

Experiment demonstruje Curieovu teplotu feromagnetických materiálů. Námět byl převzat z videa slovinské skupiny Fizik.si (viz [61]), která se věnuje fyzikálním experimentům.

Jako feromagnetikum je použito gadolinium, které má Curieovu teplotu okolo 20 °C. Uspořádání pokusu je tak velmi jednoduché – gadolinium je nejprve vychlazeno v nádobě se studenou vodou (případně s ledem), po vyndání je usušeno a je k němu přiložen magnet – ten se přitáhne. Následně je gadolinium ohřáto v nádobě s horkou vodou, po vyndání a usušení je k němu opět přiložen magnet, ten se tentokrát nepřitáhne. Celý postup je samozřejmě vhodné ještě jednou zopakovat.

Výhodou experimentu je jeho velmi jednoduché uspořádání, které nevyžaduje žádné složitější vysvětlování – experiment je tak pro studenty velmi názorný. Stejně tak je experiment velmi jednoduchý na přípravu (na rozdíl od tradičnějšího uspořádání, ve kterém je využit nikl s Curieovou teplotou přibližně 360 °C). Nevýhodou experimentu je naopak využití špatně dostupného prvku, jehož cena se pohybuje (za váleček o hmotnosti 25 g) okolo 1000 Kč.

Experiment je určen pro SŠ, je vhodné ho použít jako demonstrační v kapitole týkající se vlastností feromagnetických látek. Místo živé demonstrace lze samozřejmě v tomto případě využít i video.

Pokus byl prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 20 a je publikován ve sborníku z této konference (viz [62]). Experiment byl sepsán do textu [57] a do sbírky fyzikálních pokusů (viz [63]), kde je k dispozici i video pro prezentaci ve školách.

Demonstrace Ampérova zákona

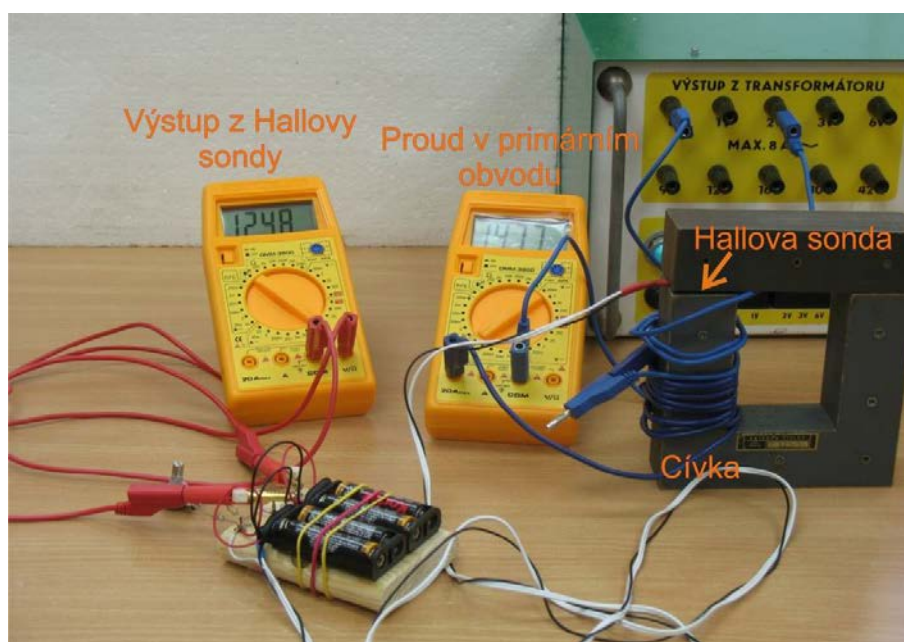
Cílem experimentu je demonstrovat Ampérův zákon celkového proudu (viz [64]). Z Ampérova zákona lze totiž odvodit, že velikost magnetické indukce v uzavřeném jádře, na kterém je nasazena cívka s N závitů, kterou protéká proud I , je:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l} \quad (1)$$

kde μ_0 resp. μ_r je permeabilita vakua resp. relativní permeabilita prostředí (v tomto případě materiálu jádra) a l je střední délka jádra, na kterém je cívka nasazena.

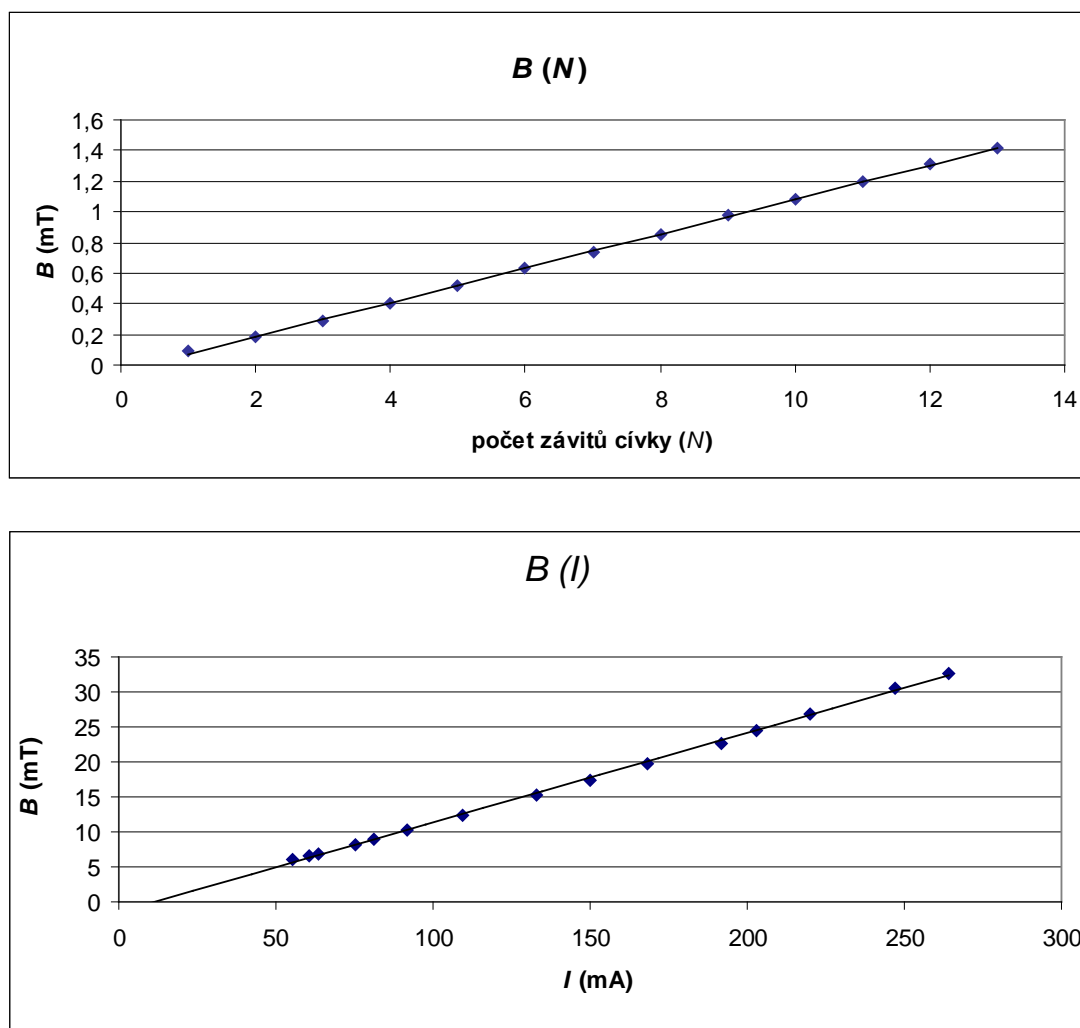
K měření magnetického pole uvnitř jádra lze využít malou Hallovu sondu, která je umístěna v mezeře jádra z rozkladného transformátoru.

Uspořádání celého experimentu je vidět na obr. 5.5. Levý multimetr měří napětí na výstupu Hallové sondy, pravý multimetr měří proud v cívce (na fotografii je cívka z měření závislosti mag. pole na počtu závitů cívky – proto je cívka ručně vinuta z vodiče). V tomto uspořádání lze demonstrovat lineární závislost magnetického pole na počtu závitů cívky i na proudu, který cívkou teče.



Obr. 5.5. Uspořádání experimentu pro demonstraci Ampérova zákona

Příklad výsledků měření je uveden na obr. 5.6. Měření závislosti magnetické indukce na počtu závitů cívky bylo provedeno při napětí cca 3 V pro 1-13 závitů cívky, kterými tekla konstantní proud. Měření závislosti magnetické indukce na proudu protékajícím cívkou bylo provedeno s cívkou 300 závitů, rozsah proudu byl 55-260 mA. Jak je vidět v grafech na obr. 5.6, závislost vychází v obou případech s dobrou přesností lineární, a to i přesto, že byla při měření zanedbána vzduchová mezera v jádře způsobená vložením Hallovy sondy⁵.



Obr. 5.6. Závislost magnetické indukce na počtu závitů cívky a na proudu, který cívkou prochází.

⁵ Závislost samozřejmě vychází lineární jen v omezeném rozsahu magnetické intenzity, ve kterém se neprojeví nelinearita hysterezní smyčky, tedy je-li dostatečně lineární závislost mezi B a H .

Experiment lze využít pro studenty středních škol jako demonstrační v rámci výkladu magnetického pole okolo cívky s proudem. Studenti mohou měření provést také v rámci skupinové nebo laboratorní práce, má-li učitel k dispozici dostatek Hallových sond (takto postavená laboratorní práce je ale vhodnější spíše pro studenty technických středních škol). Studentům vysokých škol může experiment sloužit k lepšímu pochopení Ampérova zákona v rámci úvodních kurzů elektřiny a magnetismu.

Experiment byl prezentován na mezinárodní konferenci GIREP-ICPE-MPTL 2010 a byl publikován ve sborníku z této konference (viz [65]). Česky byl prezentován na konferenci DIDFYZ 2010 a publikován ve sborníku z této konference (viz [49]).

Vznik indukovaného napětí s LED

Cílem experimentu je demonstrace elektromagnetické indukce. Jako indikátor indukovaného napětí jsou použity dvě LED zapojené antiparalelně (vhodné je použít LED různých barev). LED jsou připojeny k cívce 12 000 závitů. Je-li do cívky vkládán magnet, lze studentům ukázat, že:

- aby LED svítila, je potřeba vkládat magnet do dutiny cívky, ne „zboku“,
- při vkládání a vysouvání cívky má indukované napětí opačný směr (svítí jedna nebo druhá LED),
- čím rychleji magnet do cívky vkládáme, tím víc příslušná LED svítí.
- Výhodou tohoto uspořádání je i to, že LED reagují velmi rychle, na rozdíl od ručky měřicího přístroje na ně nemá vliv setrvačnost.

Experiment je vhodný jako motivační na začátek kapitoly týkající se elektromagnetické indukce. Využít ho lze pro žáky základních i středních škol. Samozřejmě je vhodné, aby byl tento experiment následován „klasickým“ experimentem, ve kterém je k cívce připojen ampérmetr nebo voltmetr. Má-li učitel dostatek pomůcek, mohou experiment provádět i žáci ve skupinách. Jejich úkolem pak je, aby pomocí cívky a magnetu rozsvítili LED.

Žáci ve variantě s LED oceňují, „že se tam něco děje“ a „opravdu se vyrábí energie“. Učitel může, pokud experiment použije jako demonstrační, situaci i mírně zdramatizovat tím, že nejdříve přikládá magnet k cívce z boku a teprve po chvíli

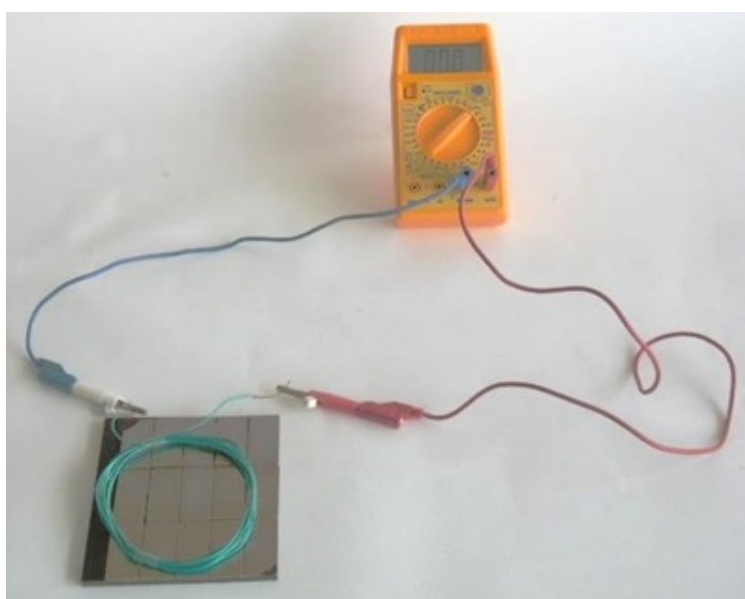
„náhodou“ vloží magnet do dutiny. V tom případě žáci mnohdy s napětím očekávají, jestli se LED rozsvítí.

Námět na experiment byl převzat z článku [66], byl ověřen a připraven pro využití v českých podmínkách. V této podobě byl prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 13 a publikován ve sborníku z této konference (viz [67]). Zpracován je i v textu [68].

Cívka v homogenním magnetickém poli

Experiment reaguje na častou miskoncepci žáků týkající se elektromagnetické indukce a Faradayova zákona. Žáci si často neuvědomují, že pokud deformujeme cívku v magnetickém poli, mění se magnetický indukční tok, a tedy se v cívce indukuje napětí. Někteří žáci jsou naopak přesvědčeni o tom, že se v cívce indukuje napětí, jestliže se otáčí okolo osy kolmé na svou plochu. Podrobněji je tato miskoncepce popsána v kapitole 4.6.

Místo obvyklého magnetu a pevné cívky je tento experiment uspořádán opačně – jako magnet je použita destička s nalepenými magnety tvořícími v těsné blízkosti destičky homogenní magnetické pole (poblíž destičky, ve vzdálenosti několika mm už pole zcela homogenní není), cívka je z měkkého drátu, aby byla dobře deformovatelná. Uspořádání pokusu je vidět na obr. 5.7.



Obr. 5.7. Cívka v homogenním magnetickém poli – uspořádání experimentu

Experimentem lze demonstrovat, že se v cívce indukuje napětí, pokud:

- cívku deformujeme (a měníme tak její plochu),
- cívku přibližujeme nebo vzdalujeme od magnetu (magnetické pole je homogenní jen v těsné blízkosti magnetů),
- cívku vysouváme z plochy magnetů (a měníme tak plochu, ve které magnetické indukční čáry prochází cívkou),
- otáčíme cívkou okolo osy rovnoběžné s plochou cívky (a měníme tak úhel, který svírá cívka se směrem magnetických indukčních čar).

V cívce se naopak žádné (resp. téměř žádné) napětí neindukuje, jestliže:

- cívka je v klidu (cívkou sice teče magnetický indukční tok, ale ten se nemění),
- cívkou otáčíme okolo osy kolmé na plochu cívky (magnetické pole je v podstatě homogenní, takže nedochází ke změně magnetického indukčního toku).

Jestliže do cívky umístíme jádro a cívku (mírně zvednutou nad plochu magnetů) deformujeme, nebude se v cívce také indukovat žádné napětí, protože většina magnetických indukčních čar prochází jádrem, takže změna plochy cívky okolo jádra nemá na magnetický indukční tok téměř žádný vliv.

Experiment je vhodné použít jako demonstrační při výkladu pojmu magnetický indukční tok na SŠ. Může studentům pomoci si vytvořit lepší představu o tomto pojmu a slouží tak k lepšímu pochopení elektromagnetické indukce.

Pokus je zpracován v textu [68] a ve Sbírce fyzikálních pokusů [69]. Na mezinárodní úrovni byl experiment prezentován na konferenci GIREP-MPTL 2014 (viz [51]), v ČR potom na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 18 (viz [52]).

Indukční nabíječka na mobilní telefon

Námětem pro tento experiment byl pokus Z. Poláka, ve kterém je použita indukční nabíječka na bezdrátovou myš (experiment je publikován ve sborníku z konference Dílny Heuréky 2012, viz [70]).

Místo indukční nabíječky na bezdrátovou myš je však v tomto experimentu použita nabíječka na mobilní telefon. Na ní je položena cívka s cca dvaceti závitů a

připojenou LED. Jestliže je nabíječka připojena k elektrické zásuvce, v cívce se indukuje napětí o vysoké frekvenci a připojená LED svítí. Nabíječka použitá v pokusu popsaném v textu [68] generuje magnetické pole s frekvencí asi 100 Hz, které je periodicky zapínáno a vypínáno v intervalech asi 0,5 s.

Experiment je vhodný pro studenty středních škol jako motivační k úvodu kapitoly o elektromagnetické indukci, případně ho lze využít i na předvánoční hodiny, fyzikální show apod. Vzhledem k tomu, že pole vysílané nabíječkou má dosah několik centimetrů, lze nabíječku přilepit pod stůl. LED tak bliká na prázdném stole zdánlivě bez přítomnosti jakéhokoliv zdroje. V tomto uspořádání je experiment pro studenty velmi překvapivý. Je však potřeba, aby učitel dbal na vhodné vysvětlení – ze zkušenosti se ukázalo, že „vysvětlení“ ve smyslu, že LED je v centru záření okolních mobilních telefonů a je jimi tak napájena, uvěřili i někteří návštěvníci propagační akce MFF UK.

Vysvětlení experimentu je vhodné nechat na samotných studentech po probrání elektromagnetické indukce. Sami by měli přijít na to, že někde poblíž cívky s LED je umístěn zdroj proměnného magnetického pole, díky kterému se indukuje napětí v cívce připojené k LED.

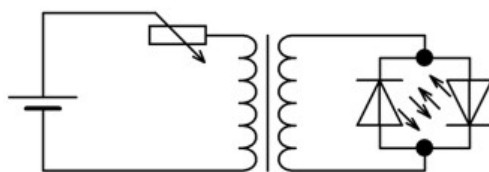
Vzhledem k tomu, že indukční nabíječky na telefony ještě nejsou příliš rozšířené, studenti je obvykle neznají. Většina z nich má telefon, který je potenciálně umí využít, i když ne všichni mají i „receiver“ – plochou cívku, kterou je potřeba připojit k baterii telefonu. Indukční nabíječka je pro studenty lákavá pomůcka, protože o ní mnozí z nich slyšeli, patří mezi v praxi používané předměty (není to „pouze školní pomůcka“), ale přitom se s ní mnozí z nich v praxi nikdy neseťkali (alespoň v době psaní práce; lze očekávat, že se bude dostávat do povědomí čím dál častěji).

Experiment byl prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 20 a byl publikován ve sborníku z této konference (viz [62]). Pokus je zpracován i v textu [68].

Transformátor „na baterku“

Cílem experimentu je zdůraznit, že k indukovaní napětí dochází pouze při změně magnetického indukčního toku, a tedy že transformátor funguje pouze při napájení proměnným (ale ne nutně střídavým) zdrojem elektrického napětí.

Schéma experimentu je vidět na obr. 5.8 – primární strana transformátoru je připojena k baterii cca 6 V, sériově je připojen reostat. Na sekundární straně jsou zapojeny dvě LED antiparalelně. Jako primární je použita cívka 300 závitů, sekundární je cívka 1200 závitů.



Obr. 5.8. Schéma experimentu „Transformátor na baterku“

Experiment je vhodný pro studenty středních škol. Lze ho použít buď jako demonstrační v úvodu výkladu o transformátoru, nebo jako problémový. Podle účelu, ke kterému učitel experiment využívá, lze zapojit nebo vynechat reostat.

Je-li experiment využit jako demonstrační, může učitel ukázat, že se některá LED rozsvítí (a tedy se indukuje napětí) při zapnutí/vypnutí baterie nebo při posunu jezdcе reostatu, tedy při změně proudu procházejícího primární cívku.

Současně lze ukázat změnu polarity indukovaného napětí při zapnutí/vypnutí baterie a při posunu jezdcе na jednu a druhou stranu. Pokud posouváme jezdcem různě rychle, je možné ukázat závislost velikosti indukovaného napětí na rychlosti změny primárního proudu.

Jestliže chce učitel využít experiment jako problémový, může studentům dát za úkol, aby pomocí příslušného transformátoru a baterie rozsvítili LED. Studenti si musí uvědomit, že k rozsvícení LED (a tedy k indukovaní napětí v sekundárním obvodu) je potřeba měnit proud v primárním obvodu – musí vypínat/zapínat baterii.

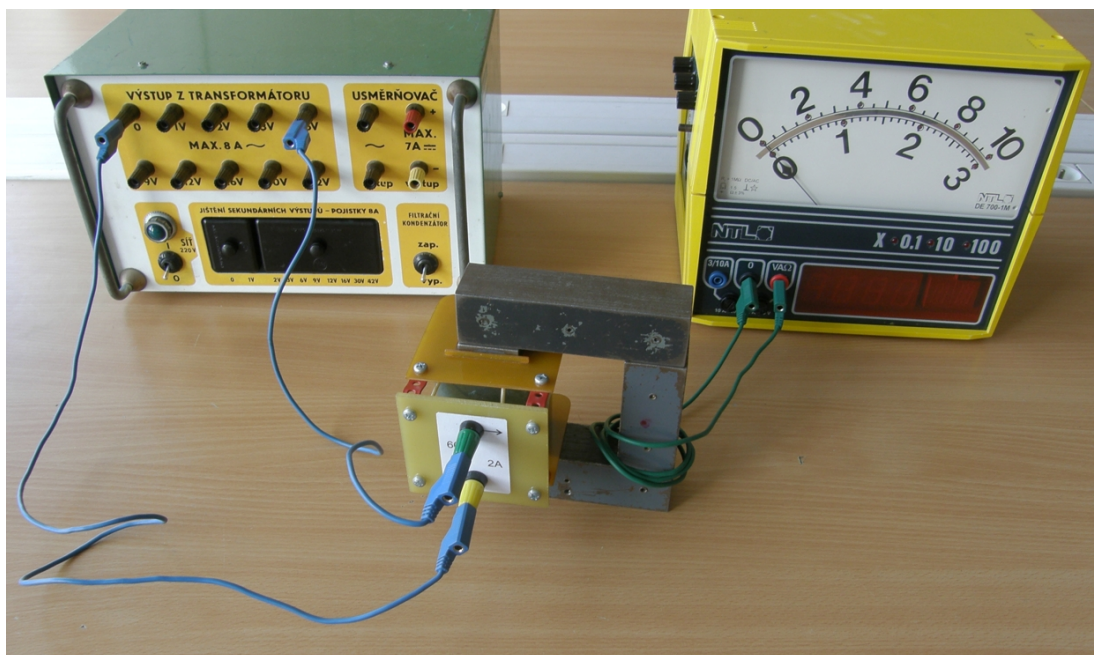
Experiment byl prezentován na konferenci Dílny Heuréky 2008, příspěvek je publikován ve sborníku z této konference (viz [71]). Zpracován je i v textu pro Praktika školních pokusů 2 (viz [72]) a ve Sběrce fyzikálních pokusů [73].

Indukované napětí

Cílem experimentu je odvodit vztah pro transformační poměr transformátoru. Experiment současně ukazuje, že se napětí indukuje v každém sekundárním závitě, „každý závit je důležitý“. Námět na experiment je vlastní, pokus vznikl z potřeby názorně demonstrovat, že se napětí indukuje v každém závitě.

Jako primární cívka je v tomto transformátoru použita cívka 600 nebo 300 závitů nasazená na uzavřené jádro z rozkladného transformátoru, místo sekundární cívky je použit dostatečně dlouhý vodič. Transformátor je připojen k napětí cca 6 V.

Z vodiče na sekundární straně transformátoru je nejdříve navinut jeden závit a připojen k voltmetru, postupně jsou přidávány další závity. Uspořádání pokusu je vidět na obr. 5.9.

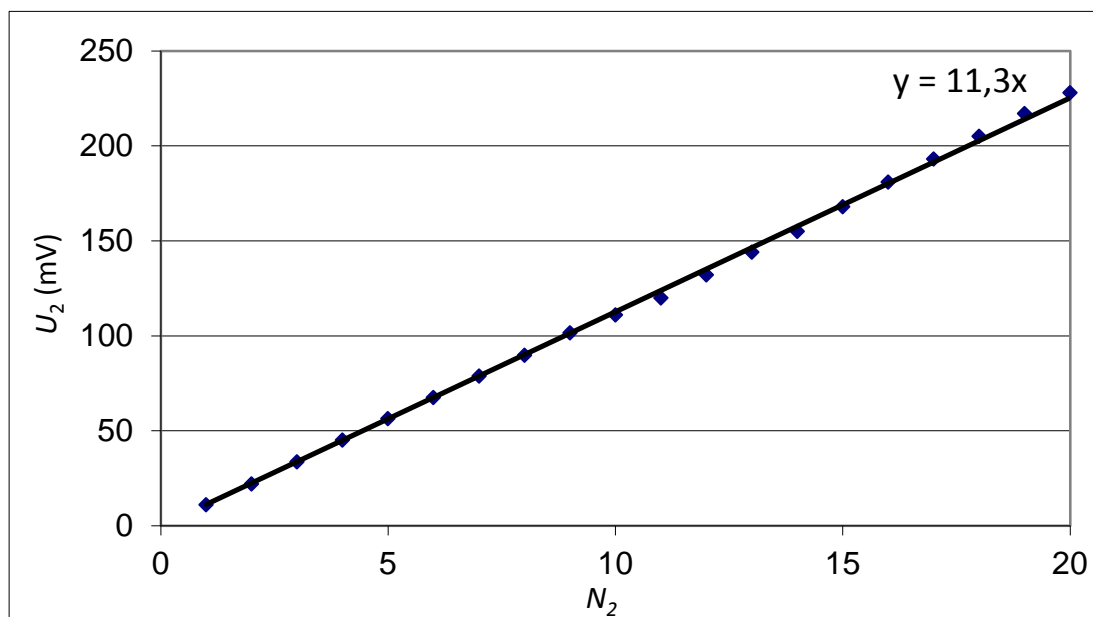


Obr. 5.9. Uspořádání pokusu Indukované napětí

Výsledné hodnoty jsou vynášeny do grafu závislosti sekundárního napětí na počtu sekundárních závitů. Výsledným grafem je přímá úměrnost, lze z něj vyčíst i to, že poměr U_2/N_2 je přibližně roven poměru U_1/N_1 .

Příklad takového grafu je vidět na obrázku 5.10. Měření bylo provedeno pro cívku 600 závitů a primární napětí ze školního transformátoru na rozsahu 6 V. Směrnice regresní přímky je přibližně 11. Protože sekundární napětí je v grafu vyneseno v milivoltech, je směrnice 11 mV/závit. Poměr $U_2:N_2$ tedy vychází přibližně

0,011 V/závit. Poměr $U_1:N_1$ je 6 V : 600 závitů = 0,01 V/závit. Odchylka je způsobena hlavně tím, že použitý zdroj dává na rozsahu 6 V napětí přibližně 6,6 V.



Obr. 5.10. Graf závislosti sekundárního napětí na počtu závitů sekundární cívky (měřeno pro primární cívku 600 závitů a primární napětí 6,6 V)

Experiment je vhodný pro studenty středních škol, lze ho použít jako alternativu k běžnějšímu pokusu, při kterém je transformační poměr ověřen pomocí kombinací několika cívek. Učitel může pokus provádět demonstračně při výkladu transformačního poměru, užitečnější ale je, pokud experiment provedou žáci (při skupinové práci nebo v rámci laboratorní práce).

Mezi výhody tohoto experimentu patří např.:

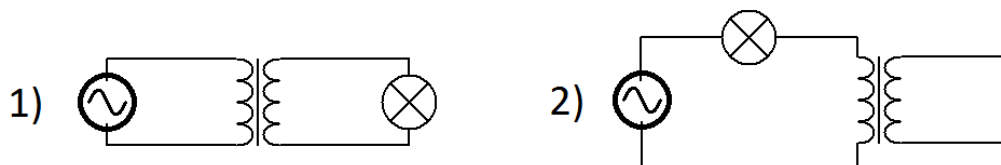
- studenti mohou vidět, že napětí se indukuje v každém závitě, pokud se přidá jeden závit, indukované napětí se zvětší o danou hodnotu odpovídající napětí na jeden závit,
- studenti mohou porozumět pojmu „napětí na závit“,
- experiment lze použít k vyvození transformačního poměru, není třeba transformační poměr „ověřovat“ pomocí několika kombinací cívek,
- studentům pomůže si uvědomit, co je „závit cívky“ a že velikost indukovaného napětí nezáleží na velikosti závitu, je-li ten navinut okolo jádra.

Experiment byl součástí workshopu na konferenci Dílny Heuréky 2008, účastníci si ho tak mohli sami vyzkoušet. Příspěvek je publikován ve sborníku z této konference (viz [71]). Zpracován je i v textu [72] a ve Sbírce fyzikálních pokusů [74].

Žárovka v primárním a sekundárním obvodu

Experiment ukazuje rozdíl v proudu procházejícím transformátorem v zapojení naprázdno a nakrátko. Experiment je vhodné použít jako problémový úkol pro studenty na SŠ po probrání tématu transformátor.

Transformátor použitý v pokusu je složen ze dvou cívek 300 závitů na uzavřeném jádře z rozkladného transformátoru, vhodný zdroj napětí je cca 6 V. V prvním kroku je na sekundární stranu transformátoru zapojena žárovka 3,5 V/0,3 A a je demonstrováno, že žárovka svítí. V 2. kroku je stejná žárovka zapojena sériově na primární stranu, sekundární strana je ponechána naprázdno (viz schéma na obr. 5.11).



Obr. 5.11. Schéma experimentu. Vlevo je 1. krok, vpravo 2. krok

Úkolem studentů je vysvětlit, proč v druhém kroku žárovka nesvítí a navrhnout, jak to udělat, aby i takto zapojená žárovka svítla. Úkol mohou studenti řešit buď ve skupinách během výuky, nebo mohou problém dostat jako dobrovolný domácí úkol. Svá řešení by studenti měli ověřit experimentem.

Při vysvětlení experimentu učitelem (nebo jako nápověda pro studenty) lze do obvodu zapojit ampérmetr (v prvním kroku do sekundárního obvodu, v druhém kroku do primárního obvodu) a změřit proud, který příslušným obvodem teče.

Vysvětlení experimentu (ať už studenty nebo učitelem) lze použít k podrobnější diskuzi o vazbě mezi primární a sekundární stranou transformátoru.

Experiment byl pod názvem „Kolik sekundárních žárovek je potřeba, aby svítla jedna primární?“ prezentován na konferenci Dílny Heuréky 2008, příspěvek je

publikován ve sborníku z této konference (viz [71]). V textu [72] je experiment zpracován včetně stručného vysvětlení a možných způsobů, jak zařídit, aby žárovka v primárním obvodu svítila.

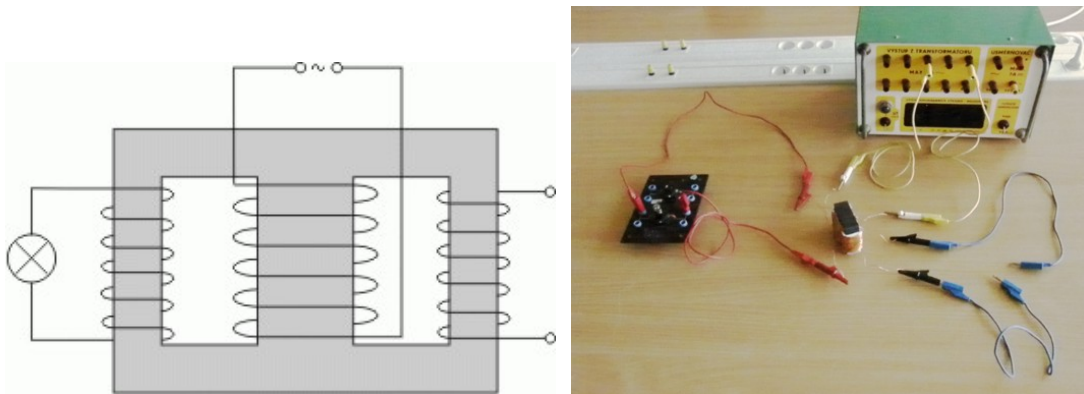
Transformátor se dvěma sekundárními vinutími

Hlavní součástí experimentu je transformátor s jedním primárním vinutím a dvěma sekundárními. Transformátor je navinut na jádro E s prostředním sloupkem o dvojnásobném průřezu, než mají oba krajní. Všechna vinutí mají 360 závitů, primární vinutí je na prostředním sloupku. Proto jde o transformátor 1:1. Samotný transformátor je vidět na obr. 5.12.



Obr. 5.12. Transformátor se dvěma sekundárními vinutími (krajní sloupky) a jedním primárním (prostřední sloupek)

Uspořádání pokusu je vidět na obr. 5.13. Primární strana je připojena ke zdroji napětí 4 V, k jednomu sekundárnímu vinutí je připojena žárovka 3,5 V/0,2 A, druhá sekundární strana je rozpojena (naprázdno).



Obr. 5.13. Uspořádání experimentu: Vlevo schéma, vpravo reálné zapojení (samotný transformátor je uprostřed obrázku). Primární vinutí transformátoru je připojeno ke zdroji napětí (žluté vodiče). Levá sekundární strana je připojena k žárovce (červené vodiče), druhá sekundární strana je naprázdno (modré vodiče).

Jestliže je pravá sekundární strana na obrázku 5.13 rozepnuta (tj. naprázdno), žárovka připojena k levému sekundárnímu vinutí nesvítí. Pokud ale pravou sekundární stranu zkratujeme (spojíme vodiče), žárovka se rozsvítí.

Experiment je vhodný jako problémová úloha pro pokročilejší středoškolské studenty nebo pro studenty úvodních kurzů vysokých škol. Jejich úkolem může být vysvětlit, jak je možné, že žárovku lze ovládat z elektricky zcela odděleného obvodu. Pokusem lze demonstrovat fungování magnetického obvodu, může tak sloužit k lepšímu pochopení chování transformátoru.

Námět na experiment byl převzat z článku [75], byly ale ověřeny vhodné parametry a experiment byl zpracován tak, aby byl dostupný pro české učitele.

Experiment byl prezentován na konferenci Veletrh nápadů učitelů fyziky 16 a je publikován ve sborníku z této konference (viz [54]), zpracován je i v textu [72] a ve Sbírce fyzikálních pokusů (viz [76]).

5.3 Metodické materiály

V následující kapitole jsou popsány scénáře hodin (samotné texty scénářů jsou v příloze). Hodiny jsou navrženy tak, aby studenti byli pokud možno aktivní a aby bylo téma propojeno s praxí – s tím, co studenti znají ze svého běžného života. Součástí scénářů jsou i některé experimenty z kapitoly 5.2.

Popsány jsou zde čtyři výukové celky: Rozložení náboje na vodiči a izolantu, Intenzita a potenciál, Kapacita a kondenzátor, Magnetismus. První tři výukové celky byly vybrány na základě vlastní zkušenosti – jde o témata z elektrostatiky, která se ukázala být pro studenty špatně uchopitelná a která jsou často spojena s miskoncepce studentů. Scénář hodiny týkající se magnetismu vznikl původně pro učitele zapojené v projektu Heuréka. Tento scénář je určen pro žáky ZŠ a týká se prvního seznámení s vlastnostmi magnetů a magnetického pole Země.

Každý z připravených metodických materiálů obsahuje kompletní scénáře hodin (z části formou přímé řeči, z části jde o popis činnosti učitele nebo žáka), délku daného tematického celku, cíle výuky a potřebné pomůcky. Na konci scénáře jsou i pracovní listy, na které je v textu odkazováno.

Všechny připravené materiály byly ověřeny na G Českolipská, na ZŠ Červený Vrch nebo G Špitálská. Podrobnosti k ověřování materiálů a zkušenosti s jejich využitím jsou uvedeny v kapitole 6.

Délka jednotlivých dále popsaných výukových bloků je jedna i více vyučovacích hodin, uvedené cíle hodiny jsou pro celý výukový blok.

Materiály jsou zde pouze stručně charakterizovány. Kompletní scénáře hodin jsou k dispozici v příloze B.

Rozložení náboje na vodiči a izolantu

Scénář hodiny se týká rozložení náboje na vodiči a izolantu a na vodičích různých tvarů. Určen je pro studenty SŠ, i když některé části lze použít i pro žáky 2. stupně ZŠ. První část tématu se týká porovnání rozložení náboje na vodiči a izolantu pomocí pokusu s „plastovou plechovkou“ (viz kapitola 5.2), druhá část hodiny pak propojuje rozložení náboje na vodičích různých tvarů s aplikacemi (Faradayova klec, sršení náboje,...). Délka tématu je 1-2 vyučovací hodiny.

Výuka je vedena převážně frontálně s demonstračními experimenty, některé problémy studenti řeší samostatně nebo je diskutují ve skupinách.

Cíle hodiny:

- Student porovná rozložení náboje na vodiči a izolantu.
- Student na příkladech z praxe popíše rozložení náboje na vodičích různých tvarů a důsledky tohoto rozložení pro dané praktické aplikace.

Kompletní scénář hodiny je k dispozici v příloze B1. Materiál byl ověřen na G Českolipská, zpětná vazba studentů je popsána v kapitole 6.1.

Intenzita a potenciál elektrického pole

Scénář hodiny se týká porozumění pojmu intenzita a potenciál elektrického pole. Téma je postaveno na analogii s gravitačním polem, s kterým mají studenti zkušenost. Přestože jde o téma poměrně teoretické a ve scénáři nejsou zařazeny téměř žádné pokusy, je scénář postaven tak, aby studenti byli aktivní – pracují nejdříve s mapou, potom s apletem zobrazujícím elektrické pole okolo bodových nábojů (viz [77]), diskutují také nad myšlenkovými experimenty.

Výuka je vedena z části jako skupinová práce se společným shrnutím, z části frontálně. Některé úkoly studenti řeší také samostatně, případně je diskutují ve dvojicích.

Cíle hodiny:

- Student porovná gravitační a elektrické pole z hlediska jejich grafického zobrazení
- Student vysvětlí pojmy intenzita a potenciál elektrického pole pomocí analogie s gravitačním polem
- Student samostatně nakreslí siločáry a ekvipotenciální čáry elektrického pole v okolí bodového náboje a homogenního pole
- Student počítá typové úlohy týkající se intenzity a potenciálu v okolí bodového náboje případně několika bodových nábojů

Kompletní scénář hodiny je k dispozici v příloze B2. Materiál byl ověřen na G Českolipská, zpětná vazba studentů je popsána v kapitole 6.1.

Poznámka: Aplet zobrazující intenzitu a ekvipotenciální čáry v okolí bodových nábojů naprogramoval Mgr. Pavel Böhm, kterému tímto děkuji.

Kapacita a kondenzátor

Scénář hodiny se týká zavedení pojmu kapacita, kondenzátor a odvození kapacity deskového kondenzátoru. Téma je určeno pro SŠ, i když lze předpokládat, že některé části jsou na kvalitativní úrovni použitelné i pro žáky 2. stupně ZŠ. Téma lze stihnout za 1 vyučovací hodinu, v případě samostatného měření studenty je potřeba počítat s délkou min. 2 vyučovací hodiny.

Výuka je vedena částečně frontálně s demonstračními experimenty, některé experimenty mohou studenti provádět i ve skupinách. Během výuky studenti některé problémy řeší samostatně nebo je diskutují ve skupinách.

Cíle hodiny:

- Student má možnost získat představu a vlastními slovy vyjádřit, co je kapacita vodiče (plechovky).
- Student srovná vhodnost skladování náboje na samotném vodiči (plechovce) a v kondenzátoru.
- Student formuluje hypotézy, na čem závisí kapacita kondenzátoru, tyto hypotézy ověří (ve skupině nebo ve spolupráci s učitelem).
- Student porovná konstrukci reálného kondenzátoru (svitkového, Leydenských lahví) s konstrukcí modelového kondenzátoru vyrobeného učitelem.

Kompletní scénář hodiny je k dispozici v příloze B3. Materiál byl ověřen na G Českolipská, zpětná vazba studentů je popsána v kapitole 6.1.

Magnetismus

Scénář výuky tematického celku magnetismus je určen pro 2. stupeň ZŠ k úvodnímu seznámení s magnetismem (obvykle v 6. nebo 7. třídě dle ŠVP). Délka tematického celku je 2 vyučovací hodiny, ale dle zájmu žáků ji lze roztáhnout i na 3 hodiny. V první vyučovací hodině žáci zkoumají základní vlastnosti magnetů, druhá (a případně třetí) hodina se týká nejdříve magnetického pole Země, poté doplňujících výběrových úkolů.

Výuka se skládá převážně ze samostatné nebo skupinové práce žáků. 2. vyučovací hodina je navržena tak, aby si žáci mohli vybrat z doplňujících úkolů to, co je nejvíc zajímavá. Získané informace/závěry poté žáci prezentují ostatním.

Cíle hodiny:

- Žáci si připomenou, co znají o magnetech a případně je doplní o nové znalosti získané pomocí experimentů.
- Žáci posoudí praktičnost využití magnetů v pro ně známých situacích.
- Žáci si volí, co je v tématu magnetismus zajímavá, a svůj výběr zdůvodní.
- Žáci vybírají ze získaných poznatků o magnetismu pro ně podstatné informace, třídí je, zpracovávají a prezentují je ostatním.

Scénář tematického celku byl primárně vytvořen jako inspirace pro učitele zapojené v projektu Heuréka. Takto navržená výuka byla ověřena na ZŠ Červený Vrch a na G Špitálská. Zpětné vazby jsou k dispozici v kapitole 6.

Celý scénář tematického celku včetně doplňujících úkolů je k dispozici B4.

5.4 Laboratorní práce

Laboratorní práce popsané v následující podkapitole jsou určeny studentům středních škol. Jejich délka je 2 vyučovací hodiny. Studenti si během laboratorních prací vyzkouší zajímavé, i když poměrně jednoduché pokusy a měření.

Laboratorní práce jsou postaveny tak, aby studenti získali vlastní zkušenost s probíranými jevy. Jejich obsahem jsou tak spíše jednodušší pokusy a ilustrativní měření. Z výsledků pokusů/měření poté studenti udělají obecnější závěr. Popsány jsou zde 4 laboratorní práce vzniklé pro potřeby výuky na Gymnáziu Českolipská: Coulombův zákon a kutálení plechovky, Kapacita a kondenzátor, Určení odporu neznámého rezistoru, Proud a napětí v obvodu. Všechny laboratorní práce byly ověřovány během let 2011-2016, zkušenosti z ověřování jsou popsány v kapitole 6.1.

Cílem laboratorních prací není trénink psaní protokolu, zadání je proto připraveno formou pracovního listu. Výjimkou je laboratorní práce týkající se měření odporu neznámého rezistoru, jejíž zadání je dostatečně krátké a pracovní list tak není efektivní. Připravené pracovní listy jsou k dispozici v příloze C.

Některé laboratorní práce využívají experimenty popsané v kapitole 5.2.

Coulombův zákon a kutálení plechovky

Laboratorní práce je rozdělena na tři části. První část je motivační, slouží k zopakování některých jednoduchých pokusů z elektrostatiky. V druhé části je úkolem studentů zjistit náboj na nabitém brčku pomocí síly, která působí mezi dvěma nabitými brčky, z nichž jedno se vznáší nad druhým (samotný experiment je popsán v článku [78]). Třetí část se týká experimentu Kutálení plechovky (viz kap. 5.1) – úkolem studentů je zjistit, jak velký sklon nakloněné roviny plechovka vyjede pomocí přitahování k nabitému brčku/tyči.

Laboratorní práce byla mimo jiné prezentována v roce 2015 na konferenci Jak získat žáky pro fyziku II., příspěvek vyšel v konferenčním sborníku – viz [79] a je k dispozici v příloze D3.

Pracovní list k této laboratorní práci je k dispozici v příloze C1.

Laboratorní práce byla ověřena na G Českolipská, zpětná vazba studentů je popsána v kapitole 6.1.

Kapacita a kondenzátor

Laboratorní práce Kapacita a kondenzátor je doplněním scénáře hodiny uvedeného v kapitole 5.3. Studenti mají možnost si během laboratorní práce vyzkoušet experimenty, které během hodiny viděli (obvykle z důvodu nedostatku pomůcek) pouze jako demonstrační.

Studenti tak během laboratorní práce:

- „Na vlastní kůži“ porovnají kapacitu plechovky a kondenzátoru vyrobeného ze dvou kelímků.
- Ověří, na čem závisí kapacita deskového kondenzátoru.
- Vyrobí model svitkového kondenzátoru a ověří vlastní hypotézu, jak zvětšit jeho kapacitu.

Náměty na některé experimenty na laboratorní práci (konkrétně kondenzátor z kelímků a deskový kondenzátor z knihy a listů alobalu) byly převzaty z publikace [80].

Laboratorní práce byla prezentována na konferenci Jak získat žáky pro fyziku? II.; příspěvek vyšel ve sborníku z této konference – viz [79] a je k dispozici v příloze D3. Pracovní list k této laboratorní práci je k dispozici v příloze C2.

Laboratorní práce byla ověřena na G Českolipská, zpětná vazba studentů je popsána v kapitole 6.1.

Určení odporu neznámého rezistoru

Cílem laboratorní práce je, aby se studenti seznámili s různými způsoby měření odporu a porovnali přesnost jednotlivých způsobů. Studenti na laboratorní práci dostanou neznámý rezistor (vhodné jsou reálné rezistory, které na sobě nemají hodnotu napsanou), úkolem studentů je určit odpor tohoto rezistoru čtyřmi způsoby, výsledné hodnoty porovnat a diskutovat přesnost jednotlivých měření.

Odpor rezistoru studenti určují pomocí Ohmova zákona, z VA charakteristiky daného rezistoru, pomocí ohmmetru a pomocí tabulky barevného značení odporů.

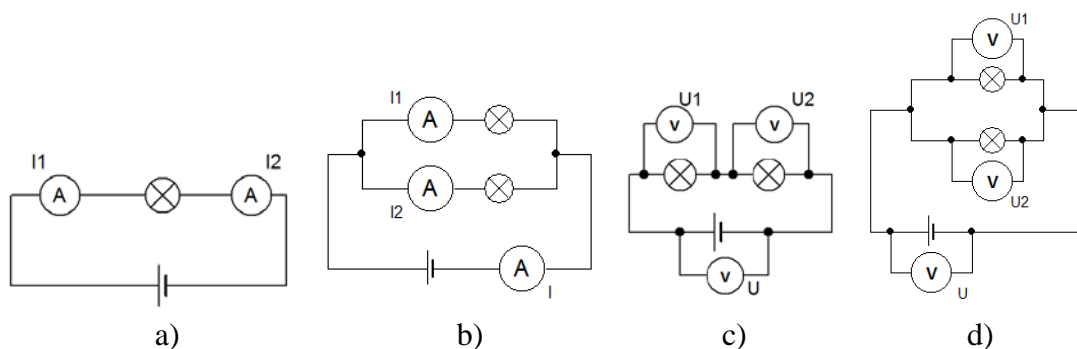
Studenti jsou obvykle překvapeni, že hodnoty zjištěné různými metodami se s rozumnou přesností shodují – rozdíly mezi hodnotami zjištěnými různými metodami se neliší o více než 1,5 %. K laboratorní práci se hodí rezistory o odporu stovek ohmů až kiloohmů, je vhodné, aby každá skupina studentů měla jinou hodnotu.

Laboratorní práce byla prezentována na konferenci Jak získat žáky pro fyziku? II.; příspěvek vyšel ve sborníku z této konference – viz [79] a je k dispozici v příloze D3.

Laboratorní práce byla ověřena na G Českolipská, zpětná vazba je popsána v kapitole 6.1.

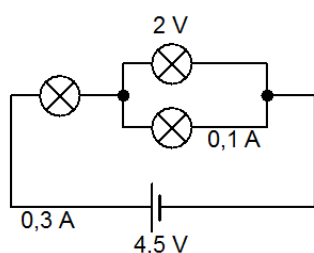
Proud a napětí v obvodu

Studenti v rámci laboratorní práce postupně měří proud a napětí v sériových a paralelních obvodech se dvěma žárovkami (viz obr. 5.14). Jejich úkolem je nejdřív předpovědět, jaký je vztah mezi měřenými hodnotami, a poté tento vztah ověřit měřením.



Obr. 5.14. Obvody pro měření proudu a napětí v sériovém a paralelním obvodu

V závěru laboratorní práce mají studenti za úkol aplikovat zjištěné obecné vztahy a určit proud a napětí na jednotlivých žárovkách v obvodu (viz obr. 5.15). Tento obvod je řešen pouze teoreticky, i když by samozřejmě bylo vhodné vypočtené hodnoty ověřit měřením.



Obr.5.15. Obvod pro určení proudu a napětí na jednotlivých žárovkách

Z důvodu názornosti jsou v laboratorní práci použity žárovky (přestože nemají konstantní odpor), neboť se zde používanými hodnotami proudu a napětí se závislost odporu žárovek na protékajícím proudu příliš neprojevuje.

Obvod a) obr. 5.14. reaguje na častou miskoncepci studentů týkající se toho, že se elektrina v obvodu spotřebovává. Tato miskoncepce se u několika studentů 2. ročníku gymnázia opravdu objevila (viz kapitola 6.1.2).

Laboratorní práce byla prezentována na konferenci Jak získat žáky pro fyziku? II; příspěvek vyšel ve sborníku z této konference – viz [79] a je k dispozici v příloze D3. Pracovní list k této laboratorní práci je k dispozici v příloze C3.

6. Zkušenosti z využití materiálů ve výuce

Tato kapitola shrnuje odezvy studentů a učitelů na připravené materiály a experimenty. V první části jsou zpětné vazby gymnaziálních studentů a žáků ZŠ týkající se připravených metodických materiálů a laboratorních prací. Popsány jsou kvalitativní zpětné vazby od studentů, cílem nebylo dělat precizní dotazníkové šetření. Některé metodiky byly na základě zkušeností z výuky a na základě reakcí studentů drobně upravovány, šlo převážně o zpřesňování některých formulací v pracovních listech. V příloze této práce jsou finální verze metodik po úpravách (viz příloha B). Samotné experimenty jsou do výuky studentů zařazovány průběžně, zpětné vazby proto nebyly k jednotlivým experimentům od studentů požadovány. Druhá část kapitoly obsahuje výsledky skupiny studentů, na kterých byly některé metodické materiály zkoušeny, v testu KTEM (viz kapitola 4). Některé pokusy byly zařazeny do výuky semináře Praktikum školních pokusů II na MFF UK; ve třetí části jsou tak reakce studentů – budoucích učitelů fyziky. Čtvrtá část obsahuje reakce učitelů – převážně účastníků seminářů projektu Heuréka, konference Dílny Heuréky v Náchodě a regionálního centra projektu Elixír do škol, kteří měli možnost se s připravenými materiály seznámit.

6.1 Zkušenosti z využití materiálů ve výuce

Většina prezentovaných materiálů určených pro studenty středních škol byla ověřována při mé vlastní výuce na gymnáziu Českolipská, výuky se každý rok účastnila vždy jedna třída 2. ročníku. Ověřování materiálů probíhalo postupně v průběhu let 2011-2016. Hodinová dotace v daných třídách byla 3 hodiny fyziky týdně, elektřina a magnetismus byly vyučovány v období cca březen až červen (na výuku tak vychází asi 40 hodin). Navíc do tohoto období spadají i dvě až tři dvouhodinové laboratorní práce, na které je třída dělená na poloviny.

Metodický materiál k tematickému celku Magnetismus byl ověřován Irenou Dvořákovou na ZŠ Červený Vrch na podzim 2015. Ověřování se účastnily dvě šesté třídy, jedna všeobecná a jedna se zaměřením na matematiku a přírodovědné předměty.

V dalším textu jsou použity citace z konkrétních vyjádření studentů. Tyto citace jsou pro přehlednost vyznačeny kurzivou.

6.1.1 Metodické materiály

Rozložení náboje na vodiči a izolantu

Výuka tématu zabrala dvě vyučovací hodiny. První hodina byla zaměřena na srovnání chování náboje na plechovce a „plastové plechovce“, druhá hodina se potom věnovala souvislosti mezi rozložením náboje na vodičích různých tvarů a příklady z praxe, kde se toto rozložení projevuje. Kompletní metodika je k dispozici v příloze B1.

V první verzi byla metodika testována ve školním roce 2014-2015, finální podoba (včetně pracovního listu) byla ověřována ve školním roce 2015-2016. Dále uvedené poznatky se týkají průběhu výuky podle finální verze metodiky.

Na začátku hodiny byli studenti požádáni o srovnání chování náboje na plechovce a plastové trubce (viz metodika v příloze B1). Někteří studenti byli po provedení příslušných experimentů překvapeni, že náboj na „plastové plechovce“ nezmizí, „nevypaří se“. Po provedení experimentů a společné diskuzi správné rozložení bez problémů přijali. Efekt této hodiny se projevil i v následné písemné práci po probrání celého tematického celku Elektrostatika, ve které více než polovina studentů na otázku „Uveď alespoň dvě vlastnosti elektrického náboje. Ke každé vlastnosti popiš experiment, kterým ji ukážeš.“ jako jednu z vlastností uvedla, že náboj se na plechovce rozloží po celém vnějším povrchu a na izolantu zůstane pouze v místě nabití.

Na začátku druhé vyučovací hodiny měli studenti rozdělit šest výroků do dvou skupin podle tvaru vodiče, kterého se výrok týká (viz pracovní list na konci metodiky v příloze B1). Rozdělení studenti provedli převážně správně, ale sami to komentovali tak, že je rozdělili spíše intuitivně a že to rozdělení nejsou schopni zdůvodnit. Výroky u studentů vzbudily společnou diskuzi nad blesky, telefonováním mobilním telefonem v moderních kancelářských budovách apod. Z reakcí studentů bylo zřejmé, že je téma velmi zaujalo. Současně bylo patrné, že studenti se zájmem uvádí další příklady z vlastní zkušenosti, kde se setkali s nějakou aplikací rozložení náboje na hrotu nebo Faradayovou klecí.

Intenzita a potenciál

Námět na takto pojatý scénář hodiny byl ověřován ve školním roce 2013-2014 a 2014-2015, poté byla celá metodika včetně pracovního listu sepsána. Finální verze metodiky byla ověřována ve školním roce 2015-2016. Dále uvedené poznatky jsou z ověřování finální verze metodiky.

Celé téma včetně následných úkolů zabralo 4 vyučovací hodiny. První hodina byla věnována analogii mezi popisem tíhového a elektrického pole. Studenti pracovali s pracovním listem (viz metodika v příloze B2), nejprve popisovali vlastnosti tíhového pole pomocí kousku mapy a formulovali definice pro pojmy vrstevnice, spádnice apod., poté podobně popisovali elektrické pole. Smyslem takto pojaté hodiny bylo, aby měli studenti možnost porovnat známé poznatky s těmi, s kterými se ještě nesetkali, ale které jsou analogické. Studenti byli ze začátku překvapeni jednoduchostí úkolu týkajícího se mapy a vrstevnic, v elektrickém poli se potom vyznali bez problémů. Na konci hodiny sami formulovali, že jim mapa pomohla a že pro ně bylo užitečné s ní začít, přestože úkol byl zdánlivě velmi jednoduchý. Během práce nad pracovním listem studenti sami formulovali, že „strmost kopce je, kolik vrstevnic musím projít, než ujdu metr“.

Druhá hodina byla věnována nejdříve upevnění poznatků – studenti měli za úkol nakreslit intenzitu a potenciál okolo jednoho náboje a mezi dvěma řadami opačně nabitých nábojů – jde o homogenní pole, ale tento pojem se studenti dozvěděli až poté. V druhé části hodiny studenti diskutovali, jak bez použití zraků zjistit strmost kopce. Samostatně vymysleli několik příkladů a odvození vztahu pro intenzitu elektrického pole (které vycházelo z jednoho z jejich příkladů) tak přijali bez problémů.

Třetí hodina byla věnována odvození vztahu pro potenciál. Během hodiny se ukázalo, že tento pojem pro studenty není zdaleka tak srozumitelný jako pojem intenzita elektrického pole a že s jeho pochopením mají pořád potíže. Studenti byli schopni popsat potenciál jako nadmořskou výšku a neměli problém s popisem ekvipotenciálních čar v elektrickém poli, protože ty vnímali jako vrstevnice. Odvození potenciálu pomocí intenzity (v analogii – velmi stručně – „Když půjdu do stejné výšky, mohu jít buď velmi strmým kopcem, ale krátkou vzdálenost, nebo

pozvolným kopcem, ale větší vzdálenost“) pro ně ale srozumitelné nebylo. V další práci tak bude hledána jiná metoda, jak studentům kvantitativní definici potenciálu přiblížit.

Čtvrtá hodina byla věnována opakování a shrnutí získaných poznatků (i vzhledem k tomu, že ve školním roce 2015-2016 byly mezi 3. a 4. hodinou týdenní prázdniny) a řešení výpočetních úloh. Pro shrnutí byla připravena aktivita s mravencem v elektrickém poli (viz metodika v příloze B2). Aktivita s mravencem vzbudila až překvapivě pozitivní reakce, studenti oceňovali, že „to je jiné, netradiční“. Stejně tak formulovali, že jim to pomohlo si poznatky utřídit a shrnout. Několik studentů vytvořilo i vlastní popis elektrického pole jako dobrovolný domácí úkol, žádali i o „mravence“ jako úlohu do testu.

Ve zpětné vazbě po probrání celého tematického celku studenti velmi oceňovali analogii s kopcem (s tíhovým polem), většina z nich byla přesvědčena, že jim k pochopení pomohla, protože „*si to potom dovedu lépe představit*“. Několik studentů formulovalo problém s přenosem poznatků z gravitačního pole na elektrické („*Ukázka s kopcem mi trochu pomohla si to představit... (Ale) nedokážu si to převést na ty náboje.*“), případně s rozdílem mezi intenzitou a potenciálem – k tomu některým z nich pomohla až aktivita s mravencem v elektrickém poli a jejich vlastní shrnutí, že potenciál je „jak je to vysoko“ a intenzita „jak je to strmé“.

Kapacita a kondenzátor

První verze takto pojaté hodiny byla použita ve školním roce 2014-2015, finální verze metodiky v podobě, v jaké je uvedena v příloze B3 pak byla ověřována ve školním roce 2015-2016.

Tematickému celku byla ve školním roce 2015-2016 věnována 1 vyučovací hodina, na kterou přímo (pro polovinu studentů v ten samý den) navazovala laboratorní práce. Experimenty v hodině tak byly prováděny pouze demonstračně, studenti si poté příslušné experimenty vyzkoušeli samostatně na laboratorní práci.

V první části hodiny studenti na pokusu s různě velkými plechovkami (viz metodika v příloze B3) konstatovali, že větší plechovka dá větší ránu a že obě plechovky mají stejný potenciál, protože jsou spojeny. Příslušnou vlastnost plechovky „kolik tam je

náboje, když je nabita na daný potenciál“ studenti navrhovali pojmenovat slovy objem, velikost, velikost povrchu apod., pojem kapacita bez problému přijali. Stejně tak neměli problém s výpočtem kapacity koule (a tedy odhadem kapacity plechovky).

V druhé části hodiny studenti ve skupinách prozkoumali kondenzátor a konstatovali, že „tam jsou dva kusy alobalu a nějaký papír“, srovnáním rány od plechovky a od kondenzátoru bez problémů formulovali, že kondenzátor má větší kapacitu.

Během hodiny nebyl dán velký důraz na teoretické odvození pole uvnitř dielektrika, studentům byla tato myšlenka jen naznačena. I přesto studenti samostatně dospěli k tomu, že kapacita deskového kondenzátoru závisí na ploše obou vodivých desek, na jejich vzdálenosti a na materiálu „toho izolantu mezi vodiči“. Na laboratorní práci navazující na tuto hodinu si studenti všechny pokusy vyzkoušeli samostatně (viz popis laboratorní práce v kapitole 5.4) včetně odvození vztahu pro kapacitu deskového kondenzátoru a tedy ověření jejich hypotézy, na čem tato kapacita závisí. Během laboratorní práce byli studenti překvapeni, že kapacita je nepřímo úměrná vzdálenosti obou desek, většina studentů čekala spíše přímou úměrnost.

Z odpovědí studentů na příslušnou otázku v písemné práci těsně po probrání celého tematického celku Elektrostatika většina studentů popsala kondenzátor jako „zařízení určené ke skladování náboje“ a jeho podobu jako „dva vodiče a mezi nimi izolant“.

Magnetismus

Výběrové úkoly týkající se magnetismu (druhá hodina v popsaném scénáři v příloze B4) byly ověřovány na podzim 2015 ve dvou šestých třídách na ZŠ Červený Vrch – jedna ze zapojených tříd byla všeobecná, jedna třída se zaměřením na matematiku a přírodovědné předměty.

Výběrovým úkolům byla věnována jedna vyučovací hodina. Žákům byla nejdříve stručně představena jednotlivá témata a poté si mohli vybrat, které téma je nejvíc zajímavé a tomu se jednotlivě nebo v malých skupinách věnovali. V matematické třídě si přibližně polovina žáků vybrala výrobu kompasu (1. úkol), druhá polovina si vybrala 3. úkol („Složitější magnety“). Zbylé dva úkoly si nevybral nikdo. V běžné

třídě si většina žáků vybrala výrobu kompasu, dva žáci si vybrali složitější magnety a tři žáci text o historii magnetů. Žáci, kteří měli své téma dokončené, si potom mohli vybrat i další.

Ve zpětné vazbě žáci hodinu oceňovali jako pěknou, ve většině zpětných vazeb žáci oceňovali, že si mohli vybrat, co budou dělat, i když se objevila i reakce „*Nelíbilo se mi, že jsme každý dělali něco jiného a že jsme si nemohli zkusit všechno*“. Žáci také oceňovali, že hodina byla nápaditá a že si „mohli hrát“. Atmosféra ve třídě je vidět na fotografiích na obrázku 6.1.



Obr. 6.1. Výběrové úkoly týkající se magnetů (vlevo: „Složitější magnety“, vpravo: „Výroba kompasu“)

6.1.2 Laboratorní práce

Laboratorní práce byly ověřovány ve vlastní výuce na Gymnáziu Českolipská, na tematický celek elektřina a magnetismus vycházejí dvě až tři laboratorní práce. Do výuky byly zařazovány tak, aby odpovídaly právě probíranému učivu; z tohoto důvodu byly v každém ze školních let 2011-2012 až 2015-2016 zařazeny vždy jen některé z připravených laboratorních prací.

K většině laboratorních prací (kromě měření odporu neznámého rezistoru) je připraven pracovní list. Hlavním důvodem pro využití pracovního listu je dát studentům písemné zadání, protože to je poměrně dlouhé. Smyslem tak není „ušetřit studentům práci s psaním protokolu“, i když studenti i to, že nemusí doma zpracovávat protokol, oceňují ve zpětných vazbách na laboratorní práci. Připravené pracovní listy jsou k dispozici v příloze C.

Elektrostatika

K tématu Elektrostatika byly připraveny dvě laboratorní práce: Coulombův zákon a kutálení plechovky a Kapacita a kondenzátor (pracovní listy k těmto laboratorním pracím jsou k dispozici v příloze C, jejich stručný popis je v kapitole 5.4). Během školních let 2011-2012 až 2015-2016 byla zařazena vždy jedna laboratorní práce z elektrostatiky (3× byla zařazena laboratorní práce týkající se Coulombova zákona a kutálení plechovky, 2× laboratorní práce týkající se kondenzátoru).

Na všech hodinách laboratorních prací týkajících se elektrostatiky byla velmi živá atmosféra, studenti aktivně pracovali a zkoušeli i další experimenty, které s tématem souvisely, ale nebyly napsány v pracovním listu. Zaujetí je vidět mimo jiné například z výroku studentky snažící se donutit plechovku k pohybu po nakloněné rovině: „*Tak pojed', ty potvoro, pojed'!*“ (viz fotografie na obr. 6.2) i z některých komentářů v hodnocení laboratorní práce.



Obr. 6.2. Zaujetí na laboratorní práci. Studentka své konání komentovala slovy „*Tak pojed', ty potvoro, pojed'!*“

Studenti takto pojaté laboratorní práce hodnotili velmi pozitivně. Oceňovali zejména:

- možnost si vyzkoušet experimenty, které si doma nezkusí, „sáhnout si“ na pokusy vlastníma rukama.
- zábavnost pokusů, možnost projevit svou kreativitu.

- připravené pracovní listy, s kterými se jim snadno pracovalo, a nemuseli doma zpracovávat výsledky měření.

Poslední bod může být způsoben z části i tím, že studenti se na žádných předchozích laboratorních pracích z fyziky s pracovním listem nesetkali, takže to pro ně bylo jistým způsobem nové.

Dojem studentů z laboratorních prací lze shrnout několika jejich citacemi ze zpětné vazby:

- *„Laborka byla jednoduchá (vyjma výpočtů v protokolu) a zábavná. Pokusy byly rychlé a ubíhaly svižně, tudíž odpadla nuda, která plyne z dlouhých a táhlých pokusů. Je o mnoho zábavnější si teorii z hodiny vyzkoušet v jednodušších pokusech.“*
- *„Laborka byla zábavná, nechávat se „kopat“ od plechovek bylo akční a strhující.“*
- *„Laborka byla jiná než všechny ostatní. Dostali jsme předepsaný papír, což mi ulehčilo nějaký to stresování před půlnocí v den odevzdání. Celková probíraná látka je velmi poutavá (v praxi) a dobře se na ní kouká a ještě lépe se provádí na vlastní kůži. Kdo by nechtěl dostat ránu od vlastnoručně vyrobeného kondenzátoru, no ne?“*

Během těchto laboratorních prací je potřeba dát pozor na některá možná úskalí. Ze zkušenosti lze říct, že:

- U laboratorní práce Coulombův zákon a kutálení plechovky je potřeba, aby učitel studentům v případě potřeby pomohl s výpočtem – pro některé studenty je výpočet příliš složitý, pokud nemají ještě zažitou práci s čísly v exponenciálním tvaru (a to i přesto, že předtím úlohy týkající se Coulombova zákona počítali během běžné výuky).
- Podložky pro kutálení plechovky po nakloněné rovině je potřeba mít dostatečně pevné, aby se neprohýbaly. Vzhledem k velmi malé síle mezi plechovkou a brčkem je i mírné prohnutí podložky překážkou. I tak je měření úhlu nakloněné roviny, „kterou plechovka ještě vyjede“ spíše orientační.

- U laboratorní práce Kapacita a kondenzátor se ukázala nutnost mít měřič kapacity pro každou skupinu studentů. Je-li k dispozici méně měřičů kapacity, studenti se začínají nudit a laboratorní práce ztrácí spád.
- Jako vhodná pomůcka pro nabíjení plechovek i kondenzátoru (v laboratorní práci týkající se kapacity) se ukázala být „magická hůlka“ Fun Fly Stick popisovaná i ve scénáři hodiny. Pro 5 skupin studentů bohatě dostačovaly dvě tyto hůlky.

Určení odporu neznámého rezistoru

Laboratorní práce se účastnily dvě třídy studentů druhého ročníku gymnázia během školních let 2011-2012 a 2012-2013. Laboratorní práce je popsána v kapitole 5.4, její zadání je pro studenty poměrně netradiční: dostanou součástku, o které nic neví a musí začít tím, že vymyslí, jak zjistit její parametry. Jako nejjednodušší se pro studenty ukázalo využití ohmmetru, naopak obtížné je měření VA charakteristiky – pro některé studenty bylo velmi problematické zapojit příslušný obvod s reostatem. Překvapivým způsobem určení hodnoty odporu byla pro studenty tabulka barevného značení, protože s tou se většina z nich nikdy nesešla. Vzhledem k tomu, že to byla až poslední z metod, kterými hodnotu zjišťovali, byli někteří až překvapeni, „že to vychází stejně“. Nejméně přesnou metodou bylo měření pomocí Ohmova zákona – velkou odchylku studenti často způsobili nevhodně zvoleným rozsahem ampérmetru. I přesto se od sebe naměřené hodnoty nelišily o více než 1,5 %.

Přestože laboratorní práce není zaměřena na konceptuální porozumění konkrétnímu tématu, ukázala se být (samotná laboratorní práce, ne zpracování protokolu) pro velkou část studentů poměrně zajímavá hlavně tím, že měli zjistit parametry součástky, o které „pouze pohledem“ nezjistili vůbec nic. Na druhou stranu ji část studentů hodnotila jako obtížnou a nezajímavou.

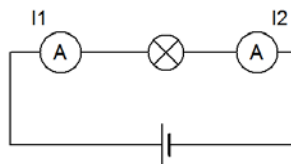
Zpracování protokolu k této laboratorní práci bylo pro část studentů velmi obtížné jednak kvůli nutnosti vložit obrázky elektrických schémat do protokolu, (který kvůli grafu bylo vhodnější psát na počítači) a jednak i kvůli samotnému zpracování grafu. Pro některé studenty to byla první laboratorní práce, kde „byli nuceni“ graf vytvořit v tabulkovém editoru, aby do něj mohli proložit spojnicí trendu.

Proud a napětí v obvodu

Laboratorní práce se účastnily v průběhu let 2011-2016 tři třídy druhého ročníku gymnázia. Pro studenty byl připraven pracovní list, který byl po ověření mírně upraven (hlavně byl přidán prostor na slovní formulaci zjištěných závěrů). Finální verze pracovního listu je k dispozici v příloze C3.

Laboratorní práce je zaměřena na konceptuální porozumění chování proudu a napětí v sériovém a paralelním obvodu. Studenti byli proto vedeni k tomu, aby nejdříve formulovali hypotézy o chování proudu a napětí v jednotlivých obvodech, poté provedli měření a své hypotézy potvrdili nebo vyvrátili, následně formulovali obecnější závěr. Na konci laboratorní práce své porozumění ověřili na několika úlohách.

Na začátku laboratorní práce tak byli studenti požádáni, aby odhadli vztahy mezi proudy/napětími v jednotlivých obvodech. Většina studentů dle vlastních slov vztahy spíše tipovala, o většině z obvodů neměli žádnou představu. I přesto se zde několikrát objevila miskoncepce „proud se spotřebovává“. V obvodu pro měření proudu v sériovém obvodu (viz obr. 6.3) několik studentů předpokládalo, že jeden z proudů bude větší (objevily se obě varianty – „větší je proud vlevo“ i „větší je proud vpravo“).

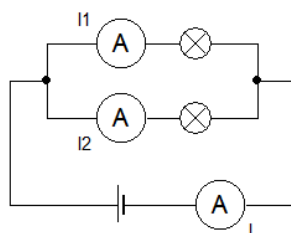


Obr. 6.3. Obvod pro měření proudu v sériovém obvodu

Jeden student ve školním roce 2015-2016 si dokonce tento odhad potvrdil měřením – vzhledem k chybě zapojení na ampérmetru vpravo od žárovky naměřil nulovou výchylku, což student pro svého spolupracovníka komentoval slovy „to je v pořádku, ten proud se v žárovce spotřeboval“. Po opravě zapojení a opakovaném měření byl naopak velmi překvapen, že je proud na obou místech v obvodu stejný.

Při zapojování se pro studenty jako nejtěžší obvod ukázal obvod pro měření proudu v paralelním obvodu (viz obr. 6.4) – problém jim dělalo hlavně správné zapojení

ampérmetru do větve a do hlavního obvodu. Stejný problém popisovali v rámci měření této laboratorní práce i učitelé na semináři Heuréky.

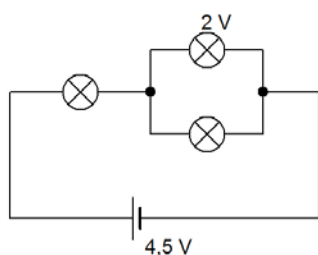


Obr. 6.4. Obvod pro měření proudu v paralelním obvodu

Obdobné aktivity se účastnili i žáci dvou tříd nižšího gymnázia (tercie) v rámci běžné výuky (výuka probíhala během dvou vyučovacích hodin). Žáci neměli zásadní problémy se zapojením obvodů pro měření napětí v sériovém a paralelním obvodu, poměrně snadno také z naměřených hodnot přišli na vzájemné vztahy (i když některé skupiny nejdříve vztahy popsaly pomocí „je větší“ resp. „je menší“). Většina žáků neměla žádnou představu o vztazích mezi jednotlivými napětími, i přes opakované upozornění se tak snažili odhadovat spíše konkrétní hodnoty. Jedna skupina během práce dospěla ze svých naměřených hodnot k obecnému závěru, že v sériovém obvodu je napětí na obou žárovkách a baterii v poměru 1:2:3⁶. Tato skupina žáků s dopomocí přišla na způsob, jak tuto hypotézu potvrdit nebo vyvrátit (tj. změřit proud i s jinými žárovkami), žáci poté samostatně měřením hypotézu vyvrátili. I žáci nižšího gymnázia měli největší problém se zapojením obvodu pro měření proudu v paralelním obvodu; ne všem žákům se obvod vůbec podařilo v daném čase zapojit.

Na konci laboratorní práce dostali studenti vyššího gymnázia (a na konci příslušné vyučovací hodiny i žáci nižšího gymnázia) několik úloh, ve kterých měli určit hodnotu napětí/proudu na žárovkách nebo v konkrétních místech elektrického obvodu (viz obr. 6.5).

⁶ Tato hypotéza má původ v naměřených hodnotách – vzhledem ke kombinaci žárovek jim opravdu napětí přibližně takto vyšlo.



Obr. 6.5. Ukázková úloha na konci laboratorní práce. Úkolem studentů je určit napětí na ostatních žárovkách.

Dokud měli studenti k dispozici jen vlastní naměřené hodnoty a z nich zformulované závěry, měli s aplikací poznatků problém. K lepšímu porozumění a aplikaci těchto vztahů jim pomohl vodní model a představa napětí jako „výšky, z které voda padá na vodní mlýnek“. Po ukázání této analogie řešili studenti obou ročníků různé úlohy zcela bez problémů.

6.2 Posun znalostí studentů

Z předchozí kapitoly je zřejmé, že pro studenty jsou materiály zajímavé. Studenti sami uváděli, že je práce bavila a že mají pocit, že jim pomohla k porozumění příslušnému jevu. K objektivnějšímu ověření vlivu připravených materiálů na porozumění příslušným jevům se jedna třída studentů účastnila upraveného výzkumu využívajícího test KTEM. Tito studenti (22 studentů v pretestu i posttestu) dostali pouze zkrácený test, ale byli požádáni, aby své odpovědi zdůvodnili (tato verze testu KTEM je uvedena v příloze A4). Jejich odpovědi tak mohou sloužit k lepšímu porozumění jejich miskoncepcím a tomu, nakolik jim k lepšímu porozumění výuka pomohla.

Zkrácený test obsahuje následující oblasti (v závorce jsou vždy uvedena čísla otázek) – viz kapitola 4 nebo test v příloze A):

- Rozložení elektrického náboje na vodiči a izolantu (1, 2)
- Coulombův zákon (3, 4)
- Kondenzátor (11, 12)
- Elektrický proud (13)
- Magnetické pole a magnetická síla (14, 16)
- Elektromagnetická indukce (17)

Studenti se účastnili výuky v období od poloviny února do poloviny června 2016 (celkem 36 vyučovacích hodin). Do výuky byly zařazeny metodické materiály Rozložení náboje na vodiči a izolantu, Intenzita a potenciál a Kapacita a kondenzátor. Součástí výuky byly i dvě laboratorní práce (Kapacita a kondenzátor a Proud a napětí v obvodu). Během výuky studenti viděli nebo samostatně prováděli experimenty (podrobnější popis experimentů je v kapitole 5.2):

- Kutálení plechovky
- „Plastová plechovka“
- Demonstrace diamagnetismu a paramagnetismu
- Diamagnetická levitace
- Curieova teplota feromagnetika
- Vznik indukovaného napětí s LED
- Cívka v homogenním magnetickém poli
- Indukční nabíječka na mobilní telefon

6.2.1 Výsledky studentů

Výsledky této skupiny studentů jsou uvedeny v tabulce 6.1. Tabulka obsahuje četnost jednotlivých odpovědí pro každou otázku (odpověď „X“ znamená, že student danou otázku nezodpověděl). Tučně jsou vyznačeny správné odpovědi, nejčastější miskoncepce jsou označeny kurzivou. Podrobnější komentář k výsledkům je uveden dále. Otázky jsou v komentáři popsány pouze zkráceně, kompletní znění testu je k dispozici v příloze A.

Tabulka 6.1. Četnost odpovědí studentů v upraveném testu

		A	B	C	D	E	X
1 (B)	PRE	0,0	31,8	<i>45,5</i>	18,2	4,5	0,0
	POST	4,5	77,3	<i>18,2</i>	0,0	0,0	0,0
2 (A)	PRE	22,7	0,0	4,5	13,6	<i>59,1</i>	0,0
	POST	81,8	0,0	0,0	0,0	<i>18,2</i>	0,0
3 (C)	PRE	<i>9,1</i>	<i>13,6</i>	63,6	0,0	<i>13,6</i>	0,0
	POST	<i>9,1</i>	4,5	81,8	0,0	4,5	0,0
4 (A)	PRE	9,1	<i>54,5</i>	<i>22,7</i>	0,0	13,6	0,0
	POST	22,7	<i>63,6</i>	<i>9,1</i>	4,5	0,0	0,0
11 (D)	PRE	13,6	<i>40,9</i>	<i>36,4</i>	9,1	0,0	0,0
	POST	0,0	<i>45,5</i>	4,5	45,5	0,0	4,5
12 (B)	PRE	27,3	59,1	4,5	4,5	4,5	0,0
	POST	<i>45,5</i>	45,5	0,0	0,0	4,5	4,5
13 (C)	PRE	<i>45,5</i>	13,6	4,5	4,5	<i>27,3</i>	4,5
	POST	27,3	0,0	36,4	<i>18,2</i>	<i>13,6</i>	4,5
14 (A)	PRE	18,2	<i>9,1</i>	18,2	<i>54,5</i>	0,0	0,0
	POST	36,4	27,3	9,1	<i>18,2</i>	9,1	0,0
16 (C)	PRE	<i>31,8</i>	27,3	18,2	9,1	13,6	0,0
	POST	27,3	<i>13,6</i>	54,5	4,5	0,0	0,0
17 (A)	PRE	13,6	<i>13,6</i>	<i>31,8</i>	<i>27,3</i>	13,6	0,0
	POST	18,2	<i>13,6</i>	<i>45,5</i>	<i>18,2</i>	4,5	0,0

Rozložení náboje na vodiči a izolantu

První dvě otázky se týkají rozložení náboje na vodiči a izolantu. V 2. otázce je vidět, že velká část studentů (alespoň dočasně) opustila miskoncepci týkající se toho, že náboj na izolantu „zmizí“ (odpověď E). Správnou odpověď zvolilo v této skupině studentů v posttestu více než 80 % studentů oproti necelým 35 % v původním testu (viz kapitola 4.6).

Ze zdůvodnění odpovědí na 2. otázku se zdá, že si studenti souvislost mezi tím, že izolant nevede a tedy se náboj nerozloží, uvědomili:

- *Plast nevodí náboj, proto zůstane jen na místě, kam byl přiveden.*
- *Materiál PET lahve (plast) není vodivý. Tudíž náboj zůstal tam, kde jsme se PET lahve dotkli.*
- *PET lahev nevodí, proto se náboj zdržuje u místa přenosu.*

Coulombův zákon

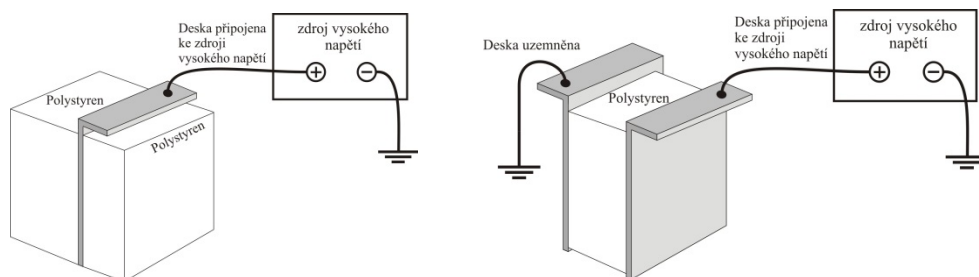
Otázky 3 a 4 se týkají Coulombova zákona – v otázce 3 studenti odpovídají na to, jak se změní síla, jestliže se jeden z nábojů zvětší 3×, v otázce 4 pak na to, jak se změní síla, jestliže původní náboje posuneme 2× dál od sebe. V otázce 3 vybralo správnou odpověď v posttestu více než 80 % studentů (což je obdobné jako v původní skupině, kde správně odpovědělo necelých 80 % studentů – viz kapitola 4.6). V otázce 4 byla v posttestu nejběžnější odpověď B, tedy „síla se zmenší a polovinu“ (téměř 65 % odpovědí v posttestu), správnou odpověď zvolilo necelých 23 % studentů. V původním testu jsou odpovědi podobné. Zdá se tak, že si studenti své miskoncepce týkající se toho, že pokud zvětšíme vzdálenost 2×, zmenší se 2× i síla, ponechali.

Kondenzátor

V otázce 11 jsou znázorněny kovové desky připojené ke zdroji vysokého napětí. Ve dvou případech jde pouze o jednu desku, ve zbylých třech o dvojici desek, z nichž jedna je uzemněná a druhá připojená ke zdroji vysokého napětí (dvojice desek tedy tvoří kondenzátor). U třech kondenzátorů se liší vzdálenost mezi deskami, případně

přítomnost nebo nepřítomnost dielektrika. Studenti měli určit, v kterém z případů je na desce připojené ke zdroji napětí největší náboj.

Studenti v posttestu nejčastěji vybírali dvě varianty (viz obr. 6.6): Jedna deska „obalená“ polystyrenem z obou stran (odpověď b) a dvě desky, mezi kterými je polystyren (odpověď d).



Obr. 6.6. Nejčastější odpovědi na otázku 11

Studenti, kteří zvolili správnou odpověď d (téměř 46 % v posttestu), rozpoznali, že se jedná o kondenzátor:

- *Mezi dvěma vodiči je izolant - je tak vytvořen kondenzátor, který shromáždí největší náboj.*
- *Protože jsme vytvořili kondenzátor.*

U studentů, kteří zvolili odpověď b, se jako nejčastější zdůvodnění objevilo, že „deska je izolovaná a náboj tak nemůže uniknout“:

- *Z obou stran je deska izolovaná výbornými izolanty. Proud tedy nikam nemíří a zůstává ho na onom místě co nejvíce.*
- *Polystyren zabraňuje unikání náboje.*

Oproti výsledkům původního testu zde došlo k posunu – v původním testu zvolilo správnou odpověď v posttestu 23 % studentů.

Otázka 12 se týká toho, jak se změní napětí na nabitém kondenzátoru, jestliže k němu připojíme druhý stejně velký nenabitý kondenzátor. Necelá polovina studentů zvolila v posttestu správnou odpověď b (přibližně 46 % studentů, oproti necelým 54 % v původním výzkumu), druhá, stejně velká skupina zvolila odpověď a (napětí se nezmění).

Ti, kteří zvolili odpověď b, ji často zdůvodňovali ve smyslu „napětí se rozdělí, kondenzátory se musí podělit“:

- *Náboj bude na obou stejný, protože se rozloží - na 1. kondenzátoru se tedy musí 2× zmenšit.*
- *Napětí se mezi nimi vyrovná, ten 1. se musí "podělit" s 2. o svoje napětí.*

Studenti, kteří zvolili odpověď a, si jí nebyli jistí a většinou zdůvodňovali, že jde pouze o tip.

V obou výzkumech zde došlo k poklesu správných odpovědí. Mou hypotézou je, že v pretestu je pro studenty varianta „napětí se rozdělí napůl“ poměrně přirozená, v posttestu v otázce hledají „něco víc“. Pro hlubší porozumění tomuto problému ale zatím není dostatek dat.

„Přepůlený drát“

Otázka 13 se týká toho, jak se změní proud ve vodiči, jestliže ho zkrátíme na polovinu a obě poloviny dáme vedle sebe. Správnou odpověď zvolilo v posttestu více než 36 % studentů, nejčastější špatnou odpověď (proud se zvětší dvakrát) zvolilo v posttestu přibližně 27 % studentů. Studenti, kteří volili odpověď a, ji často zdůvodňovali tak, že se zvětší průřez. Neuvědomili si ale, že se drát také zkrátí.

V původním testu zvolilo správnou odpověď v posttestu necelých 20 % studentů, nejčastějšími špatnými odpověďmi byly „proud se zvětší dvakrát“ (odpověď a, téměř 25 % studentů) a „nezmění se“ (odpověď e, více než 30 % studentů).

Magnetické pole a magnetická síla

V otázce 14 měli studenti určit, jak se natočí střelka kompasu poblíž cívky s proudem. Správnou odpověď v posttestu zvolilo více než 36 % studentů, častá byla i možnost b (přibližně 30 % studentů), která odpovídá opačnému směru (ze zdůvodnění plyne, že si spletli směr proudu). Odpovědi studenti zdůvodňovali hlavně pomocí pravidla pravé ruky. Pro studenty byla ale zajímavá i možnost d, ve které střelka míří směrem k cívice. Tuto možnost zvolilo více než 50 % studentů

v pretestu a téměř 20 % v posttestu. Velká část těchto studentů byla i v posttestu přesvědčena, že cívka střelku přitahuje:

- *Cívka přitahuje zbarvenou část střelky.*
- *Cívka pod proudem funguje jako magnet, takže tmavší část střelky se k ní otočí.*

V původním výzkumu zvolilo správnou odpověď v posttestu necelých 30 % studentů, odpověď b dalších přibližně 30 % studentů. Variantu d zvolilo v původním výzkumu téměř 45 % studentů v pretestu a více než 20 % v posttestu.

Otázka 16 se týká toho, jaká síla působí na vodič s proudem umístěný mezi dvěma magnety. Správnou odpověď zvolilo v posttestu téměř 55 % studentů (obdobně jako v původním výzkumu). Přibližně polovina těchto studentů svou odpověď zdůvodnila pomocí pravidla levé ruky, druhá polovina studentů ale odpověď pouze tipla.

Pro studenty byla zajímavá i odpověď „ve směru magnetické indukce“ (odpověď a, přibližně 27 % studentů, oproti téměř 25 % studentů v původním výzkumu). Je možné, že tyto odpovědi odpovídají miskonceptu týkající se toho, že síla míří ve směru magnetického pole, z výsledků to ale nelze dokázat, protože většina studentů svou odpověď pouze tipla, nijak přesněji ji nezdůvodnili.

Elektromagnetická indukce

V otázce 17 mají studenti určit, v kterých případech pohybu magnetu a smyčky se ve smyčce bude indukovat proud. Správnou odpověď zvolilo v posttestu přibližně 18 % studentů (což není o mnoho lepší než necelých 15 % studentů, kteří zvolili správnou odpověď v původním testu). Pro studenty účastníci se upraveného výzkumu byla hodně zajímavá i odpověď c, odpovídající tomu, že se magnet a smyčka hýbou směrem k sobě nebo od sebe (tuto možnost zvolilo v posttestu více než 45 % studentů), další možnosti jsou zastoupeny méně. Velká část studentů svou odpověď zdůvodnila tak, že se musí měnit magnetický indukční tok, resp. „počet magnetických indukčních čar procházejících smyčkou“. Toto zdůvodnění se objevovalo u studentů, kteří odpověděli správně, i u těch, kteří zvolili odpověď c:

- *Protože se mění počet indukčních procházejících skrz smyčku.*
- *Protože aby došlo k indukci, musí dojít ke změně mag. ind. toku.*

6.2.2 Srovnání výsledků s původním testem

Přestože upravený výzkum nelze vzhledem k velmi malému vzorku studentů považovat za kvantitativní, lze ze srovnání s původním výzkumem popsaným v kapitole 4 jisté závěry udělat.

K porovnání toho, zda došlo k posunu ve znalostech studentů, byl využit normalizovaný zisk (viz kapitola 2) počítaný pro jednotlivé otázky. Srovnání normalizovaného zisku jednotlivých otázek je v tabulce 6.2.

Tabulka 6.2. Porovnání normalizovaného zisku v původním výzkumu popsaném v kapitole 4 a upraveného výzkumu.

č. otázky	původní výzkum			upravený výzkum		
	pretest (%)	posttest (%)	zisk (%)	pretest (%)	posttest (%)	zisk (%)
1	26,7	49,8	31,5	31,8	77,3	66,7
2	13,5	33,4	23,0	22,7	81,8	76,5
3	72,5	76,3	13,8	63,6	81,8	50,0
4	15,4	28,4	15,4	9,1	22,7	15,0
11	12,3	23	12,2	9,1	45,5	40,0
12	63,9	53,8	-28,0	59,1	45,5	-33,3
13	9,9	19,2	10,3	4,5	36,4	33,3
14	16,6	27,7	13,3	18,2	36,4	22,2
16	31,6	53,1	31,4	18,2	54,5	44,4
17	14,2	14,9	0,8	13,6	18,2	5,3

Z tabulky je vidět, že ve většině otázek je normalizovaný zisk v upraveném výzkumu výrazně větší než v původním výzkumu. Výjimkou je otázka 12, kde v obou výzkumech úspěšnost studentů v posttestu menší. V otázce 4 jsou výsledky obou skupin studentů srovnatelné. V otázce 17 sice k jistému posunu došlo, ale ten je spíše zanedbatelný.

Z výše uvedeného se zdá, že materiály k jistému posunu porozumění studentů v daných konceptech pomohly. Kromě větší úspěšnosti studentů v posttestu (a tedy většího normalizovaného zisku) se zdá, že se studenti zbavili některých miskoncepcí. To je vidět například u otázky 11, u které skoro polovina studentů rozpoznala v zadání kondenzátor, i u otázky 2, ze které se zdá, že se velká část studentů zbavila miskoncepce „náboj se na izolantu neudrží“. Na druhou stranu, v některých

konceptech zásadní posun vidět není – to platí například pro elektromagnetickou indukci, kde sice velká část studentů správně zdůvodnila, že k indukování proudu je potřeba změna magnetického indukčního toku, ale v deformaci smyčky už tuto změnu nepostřehla. Další otázkou je, zda a případně za jak dlouho se studenti k původním špatným představám vrátí. Z tohoto důvodu bude v budoucnu stejné skupině studentů test zadán ještě jednou.

6.3 Zkušenosti z Praktik školních pokusů II.

Velká část pokusů popsaných v kapitole 5.2 byla ve školním roce 2014/2015 zařazena do semináře Praktikum školních pokusů II na MFF UK, určeného pro studenty prvního ročníku navazujícího magisterského studia učitelství fyziky. Seminář má hodinovou dotaci 8×4 hodiny, připraveno je tak 8 témat z elektřiny a magnetismu. Cílem semináře je, aby si studenti vyzkoušeli demonstrační i žákovské pokusy z elektřiny a magnetismu a případně se hlouběji zamysleli nad některými jevy a tím, jak příslušný jev pomocí experimentu srozumitelně vysvětlit žákům. Připravené materiály jsou studentům samozřejmě k dispozici elektronicky na webových stránkách [45], mohou je tak využít i později. Po skončení semináře byli studenti požádáni o písemnou zpětnou vazbu, která tak bude sloužit k případným úpravám semináře.

Ze zpětné vazby vyplynulo, že studenti na semináři oceňovali možnost vyzkoušet si jednotlivé experimenty a moci se nad nimi hlouběji zamyslet. Někteří studenti ve zpětné vazbě zmínili, že jim seminář pomohl se zbavit strachu z experimentů z elektřiny a magnetismu:

- *Na PŠP II jsem se hodně rozkoukala a přestala se bát dělat pokusy i měření z elektřiny.*
- *Elektřiny jsem se vždycky bála (malí trpaslíci, co běhají ve zdech) a praktikum jsem si kvůli tomu odložila o rok. Praktika mi moc pomohla s uchopením a pochopením elektřiny, i když vím, že ještě mám na čem pracovat.... Přestala jsem se bát elektřiny a vyzkoušela jsem si velmi mnoho experimentů, které jsem neznala. Ráda je využiji dál.*

Mezi tématy, která studenti zmiňovali jako ta, která je nejvíc zaujala, se nejčastěji objevovala elektrostatika a magnetismus:

- *Za mě výborné magnetické stacionární pole, kde je spousta poměrně jednoduchých pokusů, které jsou ale dost překvapivé a podle mého zatím nepříliš profláknuté.*

To, že byly do praktika zařazeny „nové a zatím neprofláknuté“ experimenty, oceňovali i další studenti.

6.4 Reakce učitelů

Během let 2008-2015 byly některé materiály, které jsem vyvíjela, představeny učitelům v rámci několika seminářů. Materiály byly zařazovány tak, aby byly užitečné vzhledem k programu příslušného semináře – zařazeny proto byly většinou nejen experimenty a materiály zpracované v této práci, ale i další, šířeji známé experimenty a experimenty vycházející z mé diplomové práce (viz [81]). Na všech seminářích bylo dbáno na aktivní práci účastníků, učitelé si všechny připravené experimenty samostatně zkoušeli. Materiály byly zařazovány na následující semináře (u každého semináře je pro přehlednost uvedeno téma a přibližný počet účastníků, podrobnosti o jednotlivých seminářích a zkušenosti z nich jsou potom popsány dále):

Workshop na konferenci Dílny Heuréky 2008

- téma: transformátor;
- workshopu se ve třech opakováních účastnilo přibližně 40 učitelů.

Setkání Klubu Světa Energie ČEZ

- Téma: transformátor;
- workshopu se účastnilo celkem přibližně 40 učitelů.

Cykly seminářů pro nové zájemce⁷ projektu Heuréka

- Téma: transformátor, v jednom běhu i elektrické obvody a elektromagnetismus;
- během tří cyklů se příslušného semináře účastnilo více než 60 učitelů.

⁷ Neformálně jsou tyto semináře označovány jako „učitelská školka“, toto označení budu nadále používat.

Setkání regionálního centra projektu Elixír do škol Nadace Depositum Bonum

- Téma: magnetismus a elektromagnetismus;
- setkání se účastnilo 15 učitelů.

„Učitelská školka II“ projektu Heuréka

- Téma: magnetismus;
- semináře se účastnilo 24 učitelů.

6.4.1. Workshop na konferenci Dílny Heuréky 2008

V rámci projektu Heuréka se každoročně koná víkendová konference Dílny Heuréky. Konference je složena pouze z workshopů – celkem jich je přibližně 15-20, trvají 1,5 hodiny a každý z nich se během víkendu obvykle 3× až 4× opakuje. Účastníci si tak vybírají program dle vlastní volby. Podrobnosti o konferenci lze získat buď na webových stránkách projektu Heuréka [82] nebo v dizertační práci I. Dvořákové [83].

V roce 2008 jsem na této konferenci vedla workshop s názvem „Transformujeme. Transformujeme? Transformujeme!“. Během třech opakování se tohoto workshopu zúčastnilo přibližně 40 učitelů včetně několika zahraničních hostů konference. V rámci workshopu si účastníci prakticky vyzkoušeli několik experimentů týkajících se převážně transformátoru. Mezi experimenty byly jednak ty, které jsou popsány v kapitole 5.2, zařazeny byly ale i další experimenty, jichž sice nejsem autorem (jde o experimenty, které jsou v literatuře poměrně široce známé), ale o kterých jsem přesvědčena, že mohou sloužit k lepšímu porozumění principu transformátoru. Část experimentů byla také převzata z mé diplomové práce (viz [81]). Z experimentů popsaných v kapitole 5.2 byly do workshopu zařazeny následující pokusy:

- Transformátor „na baterku“
- Indukované napětí
- Žárovka v primárním a sekundárním obvodu

Všechny experimenty jsou popsány v příspěvku ve sborníku z této konference (viz [71]).

Účastníci si experimenty s nadšením zkoušeli podle připraveného pracovního listu, u jednotlivých experimentů diskutovali nejen o jejich fyzikálním vysvětlení (některé

experimenty byly pro většinu účastníků zcela nové), ale i tom, jak je zařadit do výuky a vysvětlit je svým žákům. Na workshopu nebyla získávána žádná formální zpětná vazba, neformálně ho účastníci hodnotili jako zajímavý a přínosný. Atmosféru na workshopu zachycuje fotografie na obr. 6.7, případně další fotografie J. Reichla dostupné na webových stránkách [84] (fotografie 16-28).



Obr. 6.7 Workshop na konferenci Dílny Heuréky 2008

6.4.2. Setkání Klubu Světa Energie ČEZ

Klub Světa Energie ČEZ sdružuje převážně učitele fyziky. V rámci tohoto klubu pořádá společnost ČEZ pravidelná (obvykle dvoudenní) setkání, v rámci kterých se konají jednak exkurze na zajímavá místa spojená s energetikou a jednak přednášky pozvaných lektorů. Podrobnosti o těchto setkáních lze najít na webových stránkách [85].

V květnu 2009 jsem na tomto setkání vedla spolu s RNDr. P. Žilavým hodinovou přednášku týkající se transformátoru. Velká část prostoru byla věnována samostatné práci účastníků podle připravených pracovních listů. Experimenty použité na této „interaktivní přednášce“ vycházely jednak z mé diplomové práce, ale zařazeny byly novější experimenty – z těch, popsaných v kapitole 5.2, byly použity experimenty Indukované napětí a Žárovka v primárním a sekundárním obvodu.

Atmosféru na setkání lze vidět na fotografiích na obrázku 6.8 – účastníci si experimenty aktivně zkoušeli a živě o nich diskutovali.



Obr. 6.8. Ze setkání Klubu Světa Energie

Na konci setkání účastníci slovně hodnotili jednotlivé body programu. Z tohoto hodnocení je vidět, že přednáška účastníky zaujala:

- „Pěkně připravené a inspirující pokusy, které se dají využít v pedagogické praxi.“
- „Oceňuji zapojení všech účastníků a ukázkou zajímavých pokusů.“
- „Dobře připravená a inspirující.“
- „Výtečné zakončení dne.“
- „Motivující a přínosné pro učitelskou praxi.“

6.4.3. Semináře „Učitelské školky“

Učitelská školka je název semináře pro nové zájemce o projekt Heuréka, jedná se o deset víkendových seminářů během dvou let, seminářů se účastní cca 25 učitelů ze základních i středních škol. Podrobnosti o projektu Heuréka a seminářích „učitelské školky“ lze získat například v dizertační práci I. Dvořákové [83], na webových stránkách [82] nebo v příspěvku I. Dvořákové ve sborníku mezinárodní konference ICPE-EPEC 2013 (viz [86]).

Jeden z víkendových seminářů je věnován elektrickým obvodům a elektromagnetismu, v rámci třech běhů jsem na tomto semináři vedla část týkající se transformátoru. Učitelé si během tohoto bloku měli možnost vyzkoušet některé z experimentů, které jsou popsány v této práci. Zařazeny byly ale i další

experimenty, které jsou sice známé, ale učitelé je do výuky příliš často nezařazují, protože si s jejich prováděním nejsou příliš jisti (model indukční pece, růžková bleskojistka) a experimenty ukazující praktické aplikace transformátoru (indukční vařič⁸). Z experimentů popsaných v kapitole 5.2 byly do tohoto bloku zařazeny experimenty:

- Transformátor „na baterku“
- Indukované napětí
- Žárovka v primárním a sekundárním obvodu
- Indukční nabíječka na mobilní telefon

Na semináři v listopadu 2015 jsem vedla i blok týkající se elektromagnetické indukce, kam jsem mimo jiné zařadila pokusy:

- Vznik indukovaného napětí s LED
- Cívka v homogenním magnetickém poli

S učiteli jsme diskutovali i miskoncepce studentů týkající se elektromagnetické indukce, sami si měli možnost zodpovědět otázku 17 z testu KTEM, která se týká elektromagnetické indukce (viz test v příloze A3).

Do semináře v listopadu 2015 byly zařazeny i aktivity s měřením proudu a napětí v elektrickém obvodu (podle laboratorní práce, která je popsána v kapitole 5.4). Zkušenosti z této práce jsou podobné zkušenostem s prováděním laboratorní práce se studenty gymnázia – i učitelům dělalo největší problém zapojit obvod pro měření proudu v paralelním obvodu (viz kapitola 6.1.2), i když se zde samozřejmě už neobjevila miskoncepce týkající se „spotřeby“ elektrického proudu na žárovce.

Účastníci semináře na konci každého víkendu vyplňují zpětnou vazbu, ve které jednak číselně hodnotí „zajímavost“ a „užitečnost“ každého bloku na škále -2 (hrozné) až 2 (super) a jednak mají možnost ke každému bloku dopsat i slovní hodnocení. Průměrné hodnocení bloku o transformátoru v jednotlivých bězích „učitelské školky“ je v tabulce 6.3.

⁸ Některé experimenty s indukčním vařičem byly převzaty od P. Žilavého – viz [88]

Tabulka 6.3. Hodnocení bloku týkajícího se transformátoru na „Učitelské školce“ v jednotlivých dvouletých bžích (učitelé hodnotili na škále -2 (hrozné) až 2 (super))

	2010-2012	2012-2014	2014-2016
zajímavost	1,64	2,00	1,89
užitečnost	1,73	1,71	1,74

Ve slovním hodnocení se v odpovědi na otázku „Co se zvlášt líbilo“ blok týkající se transformátoru často objevoval. Učitelé oceňovali zejména pokusy s transformátorem připojeným k síťovému napětí (růžková bleskojistka, indukční pec), ale i odvození transformačního poměru, pokusy s indukčním vařičem a vysvětlení pojmů různých zapojení transformátoru (naprázdno a nakrátko).

Ve zpětných vazbách ze semináře z běhu „učitelské školky“ v letech 2014-2016 má blok týkající se elektromagnetické indukce hodnocení zajímavosti 1,95 a užitečnosti 1,79 (na škále -2 až 2).

6.4.4. Regionální setkání projektu Elixír do škol

V rámci projektu Elixír do škol Nadace Depositum Bonum se konají pravidelná každoměsíční setkání učitelů z daného regionu (podrobnosti o Nadaci i regionálních setkáních lze najít na webových stránkách [87]). Každé setkání je zaměřeno na nějaké téma, které si připraví vedoucí příslušného regionálního centra nebo jím domluvený lektor. V dubnu 2015 jsem vedla jedno ze setkání v regionálním centru na G Špitálská, jeho tématem byl elektromagnetismus a magnetické vlastnosti látek. V rámci setkání se učitelé seznámili s následujícími experimenty popsány v kapitole 5.2:

- Vznik indukovaného napětí s LED
- Cívka v homogenním magnetickém poli
- Indukční nabíječka na mobilní telefon
- Demonstrace diamagnetismu a paramagnetismu
- Diamagnetická levitace

Součástí setkání byly i další experimenty tak, aby bylo téma ucelené (demonstrace indukovaného napětí s voltmetrem, experimenty ukazující vířivé proudy, pokusy

s indukčním vaříčem, elektromagnetický vláček⁹). I tyto, většinou poměrně známé experimenty, byly pro některé účastníky nové.

Během setkání měli účastníci možnost se seznámit i s otázkou 17 z testu KTEM, která se týká elektromagnetické indukce (viz test v příloze A3). Účastníci si zkusili nejdříve otázku samostatně vyřešit a poté jsme diskutovali odpovědi studentů v této otázce a miskoncepce týkající se elektromagnetické indukce.

Na závěr setkání si všichni účastníci vyrobili pomůcku pro experiment Diamagnetická levitace.

Účastníci slovně oceňovali, že se setkali s pro ně novými experimenty, které názorně demonstrují dané jevy a které rádi zařadí do své výuky. Experiment s tuhou levitující v korýtku z magnetů zaujal podle reakcí účastníků úplně všechny. I ti, kteří se s nějakým experimentem na diamagnetickou levitaci setkali, konstatovali, že tenhle je lepší, protože si ho v principu mohou studenti vyrobit sami a že k němu nejsou potřeba žádné složité pomůcky. Jedna z účastnic na následujícím setkání vyprávěla, že *„ta levitující tuha byla tak pěkná, že jsem ji musela ukázat hned ve středu ve všech třídách, bez ohledu na to, co tam zrovna probíráme.“* (parafráze slovního sdělení).

6.4.5. Učitelská školka II.

Od září 2015 běží na Gymnáziu Špitálská v Praze 9 paralelní „učitelská školka“ Heuréky. Tento běh seminářů vedeme společně s RNDr. S. Gottwaldem. Seminářů se účastní přibližně 25 učitelů ze základních škol a gymnázií, z nichž někteří nemají vystudované učitelství fyziky, přestože fyziku učí. Jeden z bloků semináře v září 2015 byl věnován magnetismu. Učitelé si zde vyzkoušeli metodiku tak, jak je popsána v kapitole 5.3, včetně výběrových úkolů. V závěrečném hodnocení učitelé jednotlivé bloky semináře hodnotili na škále -2 až 2¹⁰, průměrné hodnocení bloku týkajícího se

⁹ Jedná se o poměrně nový experiment, který se ale stal v učitelské komunitě velmi rychle proslulým – z neizolovaného drátu je navinuta cívka, tou „projíždí“ baterie s magnety na obou koncích. Množství konkrétních provedení lze získat po zadání „Simplest electric train“ do Googlu, fyzikální princip kvalitativně rozebral L. Dvořák v článku [89].

¹⁰ Většina učitelů hodnotila dohromady zajímavost i užitečnost, z tohoto důvodu nejsou obě čísla hodnocení oddělena.

magnetismu bylo 1,92, volitelné úkoly hodnotili všichni účastníci číslem 2. Ve slovních komentářích učitelé volitelné úkoly velmi oceňovali:

- *„Volitelné úkoly jsou super. Vzhledem k velkým rozdílům mezi dětmi, jejich stylům učení a indiv. zvláštnostem. Určitě je budu také používat.“*
- *„Konečně jsem si vyrobila kompas, netušila jsem, jak je to primitivní.“*

Magnetismus se objevil i v odpovědi na otázku „Co se vám zvlášť líbilo“.

7. Závěr

V úvodu dizertační práce jsou zmíněny dva cíle této práce:

1. Zjistit, jaké typické miskoncepce mají studenti středních škol v oblasti elektřiny a magnetismu, a srovnat je s miskoncepce známými ze světa.
2. Připravit a ověřit materiály, které by měly studentům pomoci s porozuměním některým problematickým partiím elektřiny a magnetismu a s překonáním jejich miskoncepce.

Ráda bych tedy v závěru práce zhodnotila, jak byly tyto cíle naplněny.

První část práce (kapitoly 2 až 4) má výzkumný charakter a týká se prvního ze zmíněných cílů. V druhé kapitole je uveden přehled konceptuálních testů z elektřiny a magnetismu, které se používají ve světě (např. CSEM, BEMA, DIRECT a další); jsou zde uvedeny i základní vlastnosti těchto testů a z nich vycházejících výzkumů. Třetí kapitola uvádí přehled známých miskoncepce z vybraných oblastí elektřiny a magnetismu (elektrostatika, proud a napětí ve stejnosměrných obvodech, stacionární magnetické pole, elektromagnetická indukce). Zmíněny jsou zde i některé vlastnosti miskoncepce – velmi špatně se odbourávají, žáci se k nim často vrací po nějaké době po proběhlé výuce atd.

Čtvrtá kapitola obsahuje výsledky mého vlastního výzkumu. V její první části je popsán Konceptuální test z elektřiny a magnetismu (KTEM), důvody jeho vzniku a základní data o výzkumu. Finální verze testu obsahuje 18 otázek pokrývajících oblasti převážně elektrostatiky, magnetického pole a elektromagnetické indukce. Polovina otázek vychází z velmi známého testu CSEM [3], druhá polovina otázek byla vybrána tak, aby pokrývala oblasti z českého kurikula. Druhá část čtvrté kapitoly popisuje výsledky výzkumu a identifikované miskoncepce. Výzkumu se účastnilo přes 400 studentů středních škol a navíc i 78 studentů prvního ročníku MFF UK, program Fyzika. Výsledky českých studentů a jejich identifikované miskoncepce jsou srovnány s těmi, popsanými ve třetí kapitole. Mezi miskoncepce, které jsou podobné u českých studentů i u účastníků zahraničních studií, patří například Coulombův zákon – studenti jsou přesvědčeni, že náboje umístěné 2× dál, na sebe působí 2× menší silou. Zajímavá miskoncepce se týká také například

rozložení náboje na vodiči a izolantu – z výsledků zahraniční studie (konkrétně z výzkumu CSEM) plyne, že studenti nerozumí rozložení náboje na izolantu a odpověď týkající se tohoto rozložení volí vcelku náhodně. Naopak pro české studenty byla jednoznačně nejzajímavějším distraktorem (i v posttestu tuto možnost zvolilo téměř 50 % studentů) možnost ve smyslu „náboj na izolantu zmizí“.

Kapitoly 5 a 6 mají vývojový charakter a jejich obsah se týká převážně druhého ze zmíněných cílů. V páté kapitole popisují vlastní vyvinuté materiály, z nichž velká část přímo navazuje na zjištěné miskoncepce a je tak určena k tomu, aby žákům pomohla tyto miskoncepce překonat. Vyvinuty byly 4 metodické materiály – kompletní scénáře výukových celků (Rozložení náboje na vodičích a izolantech, Intenzita a potenciál, Kapacita a kondenzátor a Magnetické pole). Připraveny byly také čtyři laboratorní práce, které se týkají problematických partií elektřiny (Coulombův zákon a kutálení plechovky, Kapacita a kondenzátor, Určení odporu neznámého rezistoru, Proud a napětí v obvodu). Dále bylo popsáno a metodicky zpracováno 13 experimentů z oblasti elektřiny a magnetismu, které buď přímo navazují na některou konkrétní miskoncepti (např. experiment „Plastová plechovka“) nebo názorně ukazují některý z jevů elektřiny a magnetismu a mohou tak studentům pomoci k jeho lepšímu porozumění (např. experiment Demonstrace diamagnetismu a paramagnetismu). Všechny popsané experimenty byly publikovány ve sbornících z konferencí nebo jako články v českých či zahraničních časopisech. Část z těchto experimentů byla zahrnuta i do výuky semináře Praktika školních pokusů II, kde se s nimi mají možnost setkat studenti 1. ročníku navazujícího magisterského studia učitelství fyziky na MFF UK, tedy budoucí učitelé fyziky. Experimenty z tohoto semináře (včetně těch, popsaných v této dizertační práci) jsou převáděny do Sbírký fyzikálních pokusů (viz [34]), kde jsou k dispozici i pro další učitele fyziky.

Šestá kapitola obsahuje zkušenosti s využitím vyvinutých materiálů ve výuce se žáky i na seminářích pro učitele. V první části kapitoly jsou popsány zpětné vazby studentů, kteří se účastnili testování připravených materiálů, druhá část se týká toho, nakolik se u těchto studentů zlepšilo porozumění příslušným partiím elektřiny a magnetismu. V další části kapitoly jsou popsány zkušenosti ze seminářů pro

učitele, na kterých byly některé z připravených materiálů použity. Ověřování jednotlivých materiálů probíhalo postupně v průběhu let 2011-2016 ve vlastní výuce na Gymnáziu Českolipská, část metodického materiálu týkajícího se magnetismu byla ověřována ve dvou šestých třídách na ZŠ Červený Vrch. Materiály byly průběžně prezentovány na seminářích pro učitele zapojené v projektu Heuréka a v projektu Elixír do škol, část materiálů byla prezentována i na setkání Klubu Světa Energie ČEZ. S materiály se tak mělo možnost aktivně seznámit přibližně 150-200 učitelů fyziky.

Vyvinuté materiály budou k dispozici učitelům zapojeným v projektu Heuréka i dalším zájemcům včetně budoucích učitelů fyziky studujících na MFF UK. Ti se mají možnost s vybranými miskoncepce a na ně navázanými experimenty seznámit také na semináři Praktikum školních pokusů II. Připravené experimenty jsou také průběžně převáděny do Sbírkky fyzikálních pokusů [34].

Vzhledem k výše uvedenému si dovoluji konstatovat, že cíle zmíněné v úvodu byly z mého pohledu splněny, i když samozřejmě část této problematiky byla spíše pouze otevřena a bude vhodné na ni navázat v další práci. Plánuji proto dále vyvíjet a testovat další metodické materiály (otevřené je například téma stacionárního magnetického pole a elektromagnetické indukce), zajímavý bude i podrobnější výzkum týkající se hlubšího porozumění některým miskoncepce studentů a toho, jak tyto miskoncepce vznikají.

Seznam použité literatury

- [1] Mandíková D., Trna J.: *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Paido, Brno 2011. ISBN 978-80-7315-226-0
- [2] Scopus. [online]. [cit. 14. 5. 2016]. Dostupné z: <http://www.scopus.com/>
- [3] Maloney, D. P., O’Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., Van Hevelen, A.: *Surveying Students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism*. Am. J. Phys. vol. 69, S12-S23 (2001).
- [4] Barniol, P., Zavala, G.: *Test of understanding of Vectors: A reliable multiple-choice vector concept test*. Phys. Rev. Special Topics – Physics Education Research. Vol. 10, Issue 1 (2014) Dostupné online: <http://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.10.010121>
- [5] Zhang, Y., & Probst, D. K.: *SAGE off Stage: Teaching Electromagnetics with a Symbolic Computation Tool*. ASEE Annual Conference, Indianapolis, Indiana. (2014), Dostupné online: <https://peer.asee.org/22997>
- [6] L. Ding, R. Chabay and B. Sherwood, R. Beichner.: *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*. Phys. Rev. Special Topics – Physics Education Research. Vol. 2, Issue 1 (2006). Dostupné online: <http://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.2.010105>
- [7] *BEMA documents*. Test a hodnotící tabulky k testu BEMA. Dostupné na vyžádání od autorů testu BEMA
- [8] Engelhardt, P. V., Beichner, R. J.: *Students’ understanding of direct current resistive electrical circuits*. Am. J. Phys. Vol. 72., No. 1, p. 98-155 (2004)
- [9] Benegas, J., Flores, J.S.: *Efectiveness of Tutorials for Introductory Physics in Argentinean high schools*. Phys. Rev. Special Topics – Physics Education Research. Vol. 10, Issue 1 (2014). Dostupné online: <http://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.10.010110>
- [10] Li, J., Singh, Ch.: *Developing a magnetism conceptual survey and assessing gender differences in student understanding of magnetism*, AIP Conference Proceedings, 1413, 43-46 (2012), DOI: 10.1063/1.3679989
- [11] Li, J.: *Improving student’s understanding of electricity and magnetism*. Doctoral Dissertation. University of Pittsburgh. 2012. Dostupné online: <http://d-scholarship.pitt.edu/11767/>

- [12] *CU Electrodynamics Assessments*. [online]. [cit. 12. 10. 2015]. Dostupné online:
<http://www.colorado.edu/physics/EducationIssues/Electrodynamics/assessments.html>
- [13] Chasteen, S. V., Pollock, S. J.: *Tapping into juniors' understanding of E&M: The Colorado Upper-Division Electrostatics (CUE) Diagnostic*. AIP Conference Proceedings, 1179, (2009). Dostupné online:
<http://www.colorado.edu/sei/documents/Chasteen-PERC-2009.pdf>
- [14] Marx, J. D.: *Creation of diagnostic exam for introductory, undergraduate electricity and magnetism*. Doctoral Dissertation. Rensselaer Polytechnic Institute. New York, 1998. Dostupné online:
<http://perusersguide.org/items/detail.cfm?ID=3786>
- [15] Hestenes, D., Wells M., and Swackhamer, G.: *Force Concept Inventory*. Phys. Teach. 30, 141–151 (1992)
- [16] Raduta, C.: *General students' misconceptions related to Electricity and Magnetism*. Cornell University, Ithaca. Dostupné online:
<https://arxiv.org/abs/physics/0503132>
- [17] Baser, M., Geban, Ö.: *Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts*. Research in Science & Technological Education, 25:2 (2007), 243-267
- [18] Bilal, E., Erol, M.: *Investigating students' conception of some electricity concepts*. Latin American Journal of Physics Education. Vol. 3, No. 2, May 2009
- [19] Borgoon, J. N., Heddle, M. L., Duran, E.: *Re-Examining the Similarities Between Teacher and Students Conceptions About Physical Science*. J. Sci. Teacher. Educ. (2011). 22: 101-114
- [20] Driver R. a kol.: *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. Routledge Falmer, London and New York 2006. ISBN: 978-0-415-09767-3
- [21] Janoušková, S., Tomášek, V. a kol.: *TIMSS 2011. Úlohy z matematiky a přírodovědy pro 4. ročník*. Česká školní inspekce, Praha 2013
- [22] Hickey, R., Schibeci, R.A.: *The attraction of magnetism*. Phys. Educ. 34(6) November 1999

- [23] Atwood, R. K., Christopher, J. E., Combs, R. K., Roland, E. E.: *In-service elementary teachers' understanding of magnetism concepts before and after non-traditional instruction*. Science Educator. Spring 2010, Vol. 19. No. 1
- [24] Guisasola, J., Almudi, J. M., Zubimendi, J. L.: *Difficulties in learning the introductory magnetic field theory in the first years of university*. 2004, Science Education. Vol. 88, Issue 3. p. 443-464
- [25] Borges, A. T. a kol.: *Models of magnetism*. International Journal of Science Education. 1998. 20:3, 361-378
- [26] Tanel, Z., Erol, M.: *Students' difficulty in understanding the concepts of magnetic field strength, magnetic flux density and magnetization*. Latin American Journal of Physics Education. Vol. 2, No. 3, Sept. 2008
- [27] Saglam, M., Millar, R.: *Upper high school students' understanding of electromagnetism*. International Journal of Science Education, 2006, 28:5, 543-566
- [28] Guisasola, J., Almudi, J. M., Zuza, K.: *University students' understanding of electromagnetic induction*. International Journal of Science Education, 2013, Vol. 35, No. 16, 2692-2717
- [29] Beaty, W. J.: *High voltage misconception: static electricity*. [online]. [cit. 31. 1. 2016]. Dostupné online: <http://amasci.com/emotor/stmiskon.html>
- [30] *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Výzkumný ústav pedagogický. Praha, 2007. ISBN: 978-80-87000-11-3. Dostupné online: http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPG-2007-07_final.pdf
- [31] Koudelková, V.: *Jak středoškolští studenti rozumí elektřině a magnetismu*. In: DIDFYZ 2012. Zborník z medzinárodnej konferencie. Ed. M. Štubňa, M. Benko. Pobočka JSMF v Nitre, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 2013. ISBN: 978-80-558-0232-9
- [32] Svoboda E., Kolářová R.: *Didaktika fyziky základní a střední školy. Vybrané kapitoly*. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum. Praha 2006. ISBN: 80-246-1181-3
- [33] GŘONDILOVÁ, M. *Chyby studentů při práci s grafy*, Matematika – fyzika – informatika, Vol. 15, No. 6, 2005/2006, s. 352-362, ISSN 1210-1761

- [34] *Sbírka fyzikálních pokusů*. [online]. [cit. 20. 4. 2016].
Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz>
- [35] Šabatka, Z.: *Experimenty pro interaktivní fyzikální laboratoř: pokusy a teorie*. Dizertační práce. KDF MFF UK. Praha 2016. V tisku.
- [36] *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. Výzkumný ústav pedagogický. Praha 2007. Dostupné online: http://www.vuppraha.cz/wp-content/uploads/2009/12/RVPZV_2007-07.pdf
- [37] Dvořák, L. a kolektiv: *Lze učit fyziku zajímavěji a lépe? Příručka pro učitele*. Matfyzpress, Praha 2008. ISBN: 978-80-7378-057-9. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/vyzkum/NPVII/PriruckaProUcitele.pdf>
- [38] Abrahams, I.: *Does Practical Work Really Motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science*. Int. J. Sci. Ed., 31(17), 2335-2353, Oct. 1999
- [39] Bennett, J.: *Teaching and Learning Science*. Continuum, London 2003. ISBN: 0-8264-5532-8
- [40] van den Berg, E.: *The PCK of laboratory teaching: turning manipulation of equipment into manipulation of ideas*. Scientia in educatione. Vol. 4, No. (2), p. 74-92. ISSN: 1804-7106. Dostupné online: <http://www.scied.cz/index.php/scied/article/viewFile/86/72>
- [41] *Good practice in science teaching. What research has to say*. Ed. M. Monk, J. Osborne. Open University Press. Maidenhead 2003. ISBN: 0-335-20391-4
- [42] Miller K., Lasry N., Chu K., Mazur E.: *Role of physics lecture demonstrations in conceptual learning*. Phys. Rev. Special Topics – Physics Education Research (2013). Vol. 9 Issue 2. Dostupné online: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.9.020113>
- [43] Watson R., Prieto T., Dillon J. S.: *The effect of practical work on students' understanding of combustion*. J. Res. Sci. Teach. 32 (5), 487-502, May 1995
- [44] Etkina E., Van Heuvelen A., Brookes D.T., Mills D.: *Roles of Experiments in Physics Instruction – A process Approach*. Phys. Teach., Vol 40, September 2002
- [45] *Praktikum školních pokusů 2*. [online]. [cit. 13. 6. 2016].
Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/>

- [46] *Elektrostatika. Text pro Praktika školních pokusů 2.* [online]. [cit. 13. 6. 2016]. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/lib/exe/fetch.php?media=elektrostatika_2.docx
- [47] *Kutálení plechovky.* [online]. [cit. 5. 2. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/1711/kutaleni-plechovky>
- [48] Koudelková, V.: *Kutálení plechovek.* In: Fyzika; výukové materiály pro 2. stupeň ZŠ. Věda není žádná věda – Žákovský pokus jako východisko pro výuku přírodních věd ve školách (projekt OPVK). Conatex-Didactic učební pomůcky, s.r.o. Praha 2013. ISBN: 978-80-87936-04-7
- [49] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Experimenty z elektrostatiky a elektromagnetismu.* In: DIDFYZ 2010, Zborník príspevkov. Ed. J. Ondruška. Pobočka JSMF v Nitre, Univerita Konštantína Filozofa v Nitre, 2011. ISBN: 978-80-8094-988-4
- [50] *Rozložení náboje na vodiči a izolantu.* [online]. [cit. 3. 2. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/1831/rozlozeni-naboje-na-vodici-a-izolantu>
- [51] Koudelkova, V., Dvorak, L.: *High school students' misconceptions in electricity and magnetism and some experiments that can help students to reduce them.* In: Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice. Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 Conference. Ed. C. Fazio, R. M. S. Mineo. Università degli Studi di Palermo, 2015. ISBN: 978-88-907460-7-9. Dostupné online: <http://www1.unipa.it/girep2014/GIREP-MPTL%202014%20Conference%20Proceedings.pdf>
- [52] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Tři experimenty inspirované miskoncepce SŠ studentů v elektřině a magnetismu.* In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 18, Sborník z konference. Ed. M. Křížová. Hradec Králové 2013. ISBN: 978-80-7435-372-7. Dostupné online: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_18_\(Hradec_Kralove_2013\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_18_(Hradec_Kralove_2013).pdf)
- [53] Willems, P. L.: *Demonstrating Diamagnetism.* Phys. Teach. 35. 463 (November 1997)
- [54] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Dva experimenty s magnetickým polem (+1 jako bonus).* In: Sborník příspěvků z mezinárodní konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 16. Ed. R. Holubová. Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN: 978-80-244-2894-9.

Dostupné online:

[http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_\(Olomouc_2011\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_(Olomouc_2011).pdf), str. 129-133

- [55] Koudelková, V., Polák, Z., Reichl, J.: *Pár věcí z tábora, tentokrát na téma Není malých úkolů, jsou jen různá měřítka*. In: Sborník příspěvků z mezinárodní konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 16. Ed. R. Holubová. Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN: 978-80-244-2894-9. Dostupné online: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_\(Olomouc_2011\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_(Olomouc_2011).pdf), str. 134-142
- [56] Koudelková, V.: *Demonstrace dia- a paramagnetismu*. Matematika-Fyzika-Informatika, ročník 21, číslo 3. Dostupné online: http://mfi.upol.cz/old/MFI_21_pdf/FYZ_21_03.PDF
- [57] *Magnetické pole. Text pro Praktika školních pokusů 2*. [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/lib/exe/fetch.php?media=magneticke_pole_2.docx
- [58] *Demonstrace vlastností diamagnetických a paramagnetických látek*. [online]. [cit. 3. 2. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/971/demonstrace-vlastnosti-diamagnetickych-a-paramagnetickych-latek>
- [59] Koudelková, V.: *How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead*. Phys.Ed. 51(1), leden 2016
- [60] *Levitující tuha – demonstrace diamagnetismu*. [online]. [cit. 18. 3. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/1877/levitujici-tuha---demonstrace-diamagnetismu>
- [61] *Gadolinium – Science experiment*. YouTube. [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: <https://youtu.be/mrthB0n-Yd4>
- [62] Koudelková, V., Gottwald, S.: *Zkušenosti z Praktik školních pokusů II*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, Sborník z konference. Ed. V. Koudelková. Praha 2015. ISBN: 978-80-87343-58-6.
- [63] *Curieova teplota feromagnetik*. [online]. [cit. 25. 3. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/1723/curieova-teplota-feromagnetik>

- [64] Sedlák, B., Štoll, I.: *Elektřina a magnetismus*. Academia, Praha 2002. ISBN: 80-200-1004-1
- [65] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Four experiments on magnetic field at four Euros – Low-cost demonstration experiments on Classical Electrodynamics for future physics teachers*. Proceedings of selected papers of the GIREP-ICPE-MPTL Internation conference. Ed. W. Kaminski, M. Michelini. Udine, 2014. ISBN: 978-88-97311-32-4. str. 833-840
- [66] Lottis, D., Jaeger, H.: *LED's in Physics Demos: A Handful of Examples*, *Phys. Teach.*, 34 (3), 144-146 (1996)
- [67] Koudelková, V.: *Několik netradičních pokusů z magnetismu*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 13, Sborník z konference. Ed. K. Rauner. Plzeň 2008. ISBN: 978-80-7043-728-5. Dostupné online na: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_\(Plzen_2008\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_(Plzen_2008).pdf)
- [68] *Elektromagnetická indukce. Text pro Praktika školních pokusů 2.* [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/lib/exe/fetch.php?media=elektromagneticka_indukce_2.docx
- [69] *Cívka v homogenním magnetickém poli.* [online]. [cit. 15. 5. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/1730/civka-v-homogennim-magnetickem-poli>
- [70] Polák, Z.: *Střídavý proud*. In: Dílny Heuréky 2012, Sborník konference projektu Heuréka. Ed.: V. Koudelková, L. Dvořák. ISBN: 978-80-87343-11-1. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2012.pdf
- [71] Koudelková, V.: *Transformujeme? Transformujeme. Transformujeme!*. Dílny Heuréky 2008, Sborník konference projektu Heuréka. Ed. L. Dvořák. Prometheus, 2009. ISBN: 978-80-7196-397-4. str. 53-64. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2008.pdf
- [72] *Transformátory, generátory, motory. Text pro Praktika školních pokusů 2.* [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/lib/exe/fetch.php?media=transformatory_generatory_motory_2.docx
- [73] *Transformátor „na baterku“.* [online]. [cit. 20. 2. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/923/transformator-na-baterku>

- [74] *Indukované napětí*. [online]. [cit. 31. 5. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/904/indukovane-napeti>
- [75] Vanderkooy, J., Lowe, J.: *A magnetic circuit demonstration*. Am. J. Phys. 63, 6 (June 1995)
- [76] *Transformátor se dvěma sekundárními vinutími*. [online]. [cit. 5. 2. 2016]. Dostupné online: <http://fyzikalnipokusy.cz/902/transformator-se-dvema-sekundarnimi-vinutimi>
- [77] *Aplet „bodové náboje“*. [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/elmag/html/aplety/elmag1.html>
- [78] Dvořák, L.: *Low-cost electrostatic experiments*. Latin American Journal of Physics Education, Vol. 6, Suppl. I, August 2012, p. 153-158
- [79] Koudelková, V.: *Ukázky LP z elektřiny a magnetizmu*. In: „Jak získat žáky pro fyziku? 2. Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF. Ed. R. Seifert. JČMF, Praha 2015. ISBN: 978-80-7015-122-8
- [80] Dvořák, L., Šabatka, Z., Koudelková, V., Dvořáková, I.: *Náboje, proudy a elektrické obvody*. Výukový a metodický text. Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA. Praha 2012. ISBN: 978-80-87186-78-7. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/naboje.pdf>
- [81] Koudelková, V.: *Jak fungují věci*. Diplomová práce. MFF UK. Praha, 2007.
- [82] *Projekt Heuréka*. [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/>
- [83] Dvořáková, I.: *Fyzikální pojetí žáků a učitelů v projektu Heuréka*. Disertační práce. MFF UK, Praha 2011
- [84] *Heuréka – Náchod 2008*. [online]. [cit. 16.5. 2016]. Dostupné online: http://jreichl.com/fyzika/show/2008_nachod/obrazky/index.htm, fotografie 16-28
- [85] *Akce pro pedagogy*. [online]. [cit. 26. 5. 2016]. Dostupné online: <http://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-pedagogy/klub-svet-energie/akce.html>
- [86] Dvořáková, I.: *Active learning in the Heureka Project – teachers in the role of students*. In: ICPE-EPEC 2013 Conference Proceedings. Ed. L. Dvořák, V. Koudelková. Matfyzpress, Prague 2014. ISBN: 978-80-7378-266-5

- [87] *Regionální centra*. [online]. [cit. 14. 6. 2016]. Dostupné online: <http://nadacedb.cz/elixir-do-skol/region-centra>
- [88] Žilavý, P.: *Tajemství indukčního vaříče*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 13, Sborník z konference. Ed. K. Rauner. Plzeň 2008. ISBN: 978-80-7043-728-5. Dostupné online na: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_\(Plzen_2008\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_(Plzen_2008).pdf), str. 35-40
- [89] Dvořák, L.: *Magnety a vodiče v netradičních pokusech*. In: „Jak získat žáky pro fyziku? 2. Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF. Ed. R. Seifert. JČMF, Praha 2015. ISBN: 978-80-7015-122-8

Literatura použitá v přílohách:

- [B1.1] EGU – HV Laboratory, a.s. [online]. Dostupné na: <http://www.egu-vvn.cz/cs/>
- [B1.2] Sršení v okolí hrotu. [online]. Dostupné na: <http://fyzikalnipokusy.cz/759/srseni-v-okoli-hrotu>
- [B3.1] Dvořák, L., Šabatka, Z., Koudelková, V., Dvořáková, I.: *Náboje, proudy a elektrické obvody. Vzdělávací a metodický text. Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA*. Praha 2012. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/>

Seznam tabulek

Tabulka 4.1. Srovnání upravených otázek v původní a nové verzi testu

Tabulka 4.2. Srovnání otázky č. 1 v testu CSEM a KTEM

Tabulka 4.3. Úspěšnost studentů jednotlivých tříd v pretestu a posttestu

Tabulka 4.4. Obtížnost a citlivost otázek testu KTEM

Tabulka 4.5. Celkové výsledky účastníků testu (v procentech)

Tabulka 6.1. Četnost odpovědí studentů v upraveném testu

Tabulka 6.2. Porovnání normalizovaného zisku v původním výzkumu popsaném v kapitole 4 a upraveného výzkumu.

Tabulka 6.3. Hodnocení bloku týkajícího se transformátoru na „Učitelské školce“ v jednotlivých dvouletých bžích (učitelé hodnotili na škále -2 (hrozné) až 2 (super))

Seznam vlastních publikací relevantních k tématu dizertační práce

Články v časopisech

- [1] Koudelková, V.: *Demonstrace dia- a paramagnetismu*. Matematika-Fyzika-Informatika, ročník 21, číslo 3. Dostupné online: http://mfi.upol.cz/old/MFI_21_pdf/FYZ_21_03.PDF
- [2] Koudelková, V.: *How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead*. Phys.Ed. 51(1), leden 2016
- [3] Koudelková, V., Dvorak, L: *High school students' misconceptions in electricity and magnetism and some experiments that can help students to reduce them*. Il Nuovo Cimento C. Vol. 38, Issue 3. May-June 2015

Články ve sbornících z konferencí

- [4] Koudelková, V.: *Několik netradičních pokusů z magnetismu*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 13, Sborník z konference. Ed. K. Rauner. Plzeň 2008. ISBN: 978-80-7043-728-5. str. 172-176. Dostupné online na: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_\(Plzen_2008\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_13_(Plzen_2008).pdf)
- [5] Koudelková, V.: *Transformujeme? Transformujeme. Transformujeme!*. Dílny Heuréky 2008, Sborník konference projektu Heuréka. Ed. L. Dvořák. Prometheus, 2009. ISBN: 978-80-7196-397-4. str. 53-64. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2008.pdf
- [6] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Experimenty z elektrostatiky a elektromagnetismu*. In: DIDFYZ 2010, Zborník příspěvků. Ed. J. Ondruška. Pobočka JSMF v Nitře, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitře, 2011. ISBN: 978-80-8094-988-4
- [7] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Four experiments on magnetic field at four Euros – Low-cost demonstration experiments on Classical Electrodynamics for future physics teachers*. Proceedings of selected papers of the GIREP-ICPE-MPTL International conference. Ed. W. Kaminski, M. Michelini. Udine, 2014. ISBN: 978-88-97311-32-4. str. 833-840
- [8] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Dva experimenty s magnetickým polem (+1 jako bonus)*. In: Sborník příspěvků z mezinárodní konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 16. Ed. R. Holubová. Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN: 978-80-244-2894-9. str. 129-133
Dostupné online: [http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_\(Olomouc_2011\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_(Olomouc_2011).pdf), str. 129-133

- [9] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Netradiční experimenty z elektřiny a magnetismu (nejen) pro střední školu*. In: Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 5, Výuka fyziky v kontextu současné společnosti. Sborník z konference. Západočeská Univerzita v Plzni, Plzeň 2011. ISBN: 978-80-261-0030-0. str. 137-142
- [10] Koudelková, V., Polák, Z., Reichl, J.: *Pár věcí z tábora, tentokrát na téma Není malých úkolů, jsou jen různá měřítka*. In: Sborník příspěvků z mezinárodní konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 16. Ed. R. Holubová. Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN: 978-80-244-2894-9. str. 134-142.
Dostupné online:
[http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_\(Olomouc_2011\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_16_(Olomouc_2011).pdf), str. 134-142
- [11] Koudelková, V.: *Jak středoškolské studenti rozumí elektřině a magnetismu*. In: DIDFYZ 2012. Zborník z medzinárodnej konference. Ed. M. Štubňa, M. Benko. Pobočka JSMF v Nitre, Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre, 2013. ISBN: 978-80-558-0232-9
- [12] Koudelková, V., Dvořák, L.: *High school students' misconceptions*. In: ICPE-EPEC 2013 Conference Proceedings. ed. L. Dvořák, V. Koudelková. Matfyzpress. Praha 2013. ISBN: 978-80-7378-266-5. str. 898-905
- [13] Koudelková, V., Dvořák, L.: *Tři experimenty inspirované miskoncepce SŠ studentů v elektřině a magnetismu*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 18, Sborník z konference. Ed. M. Křížová. Hradec Králové 2013. ISBN: 978-80-7435-372-7. str. 137-142. Dostupné online:
[http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_18_\(Hradec_Kralove_2013\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_18_(Hradec_Kralove_2013).pdf)
- [14] Koudelkova, V., Dvorak, L.: *High school students' misconceptions in electricity and magnetism and some experiments that can help students to reduce them*. In: Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice. Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 Conference. Ed. C. Fazio, R. M. S. Mineo. Università degli Studi di Palermo, 2015. ISBN: 978-88-907460-7-9. str. 323-328. Dostupné online: <http://www1.unipa.it/girep2014/GIREP-MPTL%202014%20Conference%20Proceedings.pdf>
- [15] Koudelková, V., Dvořák, L., Dvořáková, I.: *Několik experimentů ze semináře „Elektřina a magnetismus krok za krokem“*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 14, konferenční sborník. Ed. Z. Bochníček, Z. Navrátil. Masarykova Univerzita, Brno 2009. ISBN: 978-80-210-5022-8. str. 128-132. Dostupné online:
[http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_14_\(Brno_2009\).pdf](http://vnuf.cz/sbornik/rocniky/Veletrh_14_(Brno_2009).pdf)
- [16] Koudelková, V., Gottwald, S.: *Zkušenosti z Praktik školních pokusů II*. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 20, Sborník z konference. Ed. V. Koudelková. Praha 2015. ISBN: 978-80-87343-58-6. str. 136-141

- [17] Koudelková, V.: *Ukázky LP z elektřiny a magnetizmu*. In: Jak získat žáky pro fyziku? 2. Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF. Ed. R. Seifert. JČMF, Praha 2015. ISBN: 978-80-7015-122-8

Kapitoly v knižních příručkách

- [18] Dvořák, L., Šabatka, Z., Koudelková, V., Dvořáková, I.: *Náboje, proudy a elektrické obvody*. Výukový a metodický text. Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA. Praha 2012. ISBN: 978-80-87186-78-7. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/naboje.pdf>
- [19] Dvořák, L., Dvořáková, I., Koudelková, V.: *Fyzika aktivně, aktuálně a s aplikacemi*. Výukový a metodický text. Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA. Praha 2012. ISBN: 978-80-87186-67-1. Dostupné online: http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/fyzika_aaa.pdf
- [20] Koudelková, V.: *Kutálení plechovek*. In: Fyzika; výukové materiály pro 2. stupeň ZŠ. Věda není žádná věda – Žákovský pokus jako východisko pro výuku přírodních věd ve školách (projekt OPVK). Conatex-Didactic učební pomůcky, s.r.o. Praha 2013. ISBN: 978-80-87936-04-7, str. 91-96

Přílohy

Příloha A – Konceptuální test z elektřiny a magnetismu

Příloha A1: Překlad vybraných otázek testu CSEM

Příloha A2: KTEM verze 1

Příloha A3: KTEM verze 3

Příloha A4: Zkrácený KTEM s prostorem na zdůvodnění

Poznámka: Formátování testů je vzhledem k originálu mírně upraveno.

Příloha A1: Překlad vybraných otázek testu CSEM (viz kapitola 4.1)

Jak rozumíme elektřinu a magnetismu?
Conceptual Survey in Electricity and Magnetism (CSEM)

U každé otázky zakroužkujte správnou odpověď (správná je vždy jen jedna možnost).
V každé otázce, ve které je zmíněn proud, je tento pojem chápán tradičně, tj. směr proudu je směr pohybu kladného náboje. V následujících úlohách budeme efekty spojené s magnetickým polem Země považovat za tak slabé, že je nebudeme uvažovat. Nezapomeňte, že termínem „částice“ se myslí objekt s nulovou velikostí a bez vnitřní struktury.

1. Dutá kovová koule je elektricky neutrální (nemá nadbytek žádného náboje). Náhle je do bodu P na této kouli přivedeno malé množství záporného náboje. Budeme-li po přivedeném náboji pátrat o pár sekund později, zjistíme jednu z následujících možností:
 - (a) Všechn přivedený náboj zůstal v okolí bodu P.
 - (b) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším povrchu kulové plochy.
 - (c) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším a vnitřním povrchu kulové plochy.
 - (d) Většina náboje je stále v bodě P, ale část se rozprostřela po povrchu kulové plochy.
 - (e) Nejistíme žádný náboj.

2. Dutá koule vyrobená z elektricky nevodivého materiálu je elektricky neutrální (nemá nadbytek žádného náboje). Náhle je do bodu P na vnější straně této koule umístěno malé množství záporného náboje. Pokud budeme po tomto přivedeném náboji o pár sekund později pátrat, zjistíme jednu z následujících možností:
 - (a) Všechn přivedený náboj zůstal přímo v bodě P.
 - (b) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil po vnějším povrchu kulové plochy.
 - (c) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším a vnitřním povrchu kulové plochy.
 - (d) Většina náboje je stále v bodě P, ale část se ho rozprostřela po povrchu kulové plochy.
 - (e) Nejistíme žádný náboj.

PRO OTÁZKY 3-5:

Dvě malé kuličky, každá z celkovým nábojem $+Q$, na sebe vzájemně působí silou o velikosti F .



Jednu z těchto kuliček nahradíme kuličkou, jejíž celkový náboj je $+4Q$.



3. Původní velikost síly působící na kuličku s nábojem $+Q$ byla F ; jaká je velikost síly, která na kuličku s nábojem $+Q$ působí nyní?
 - (a) $16F$
 - (b) $4F$
 - (c) F
 - (d) $F/4$
 - (e) jiná možnost
4. Jaká je velikost síly působící na kuličku s nábojem $+4Q$?
 - (a) $16F$
 - (b) $4F$
 - (c) F
 - (d) $F/4$
 - (e) jiná možnost

Následně posuneme kuličky s náboji $+Q$ a $+4Q$ tak, aby byly třikrát dále, než byly původně:

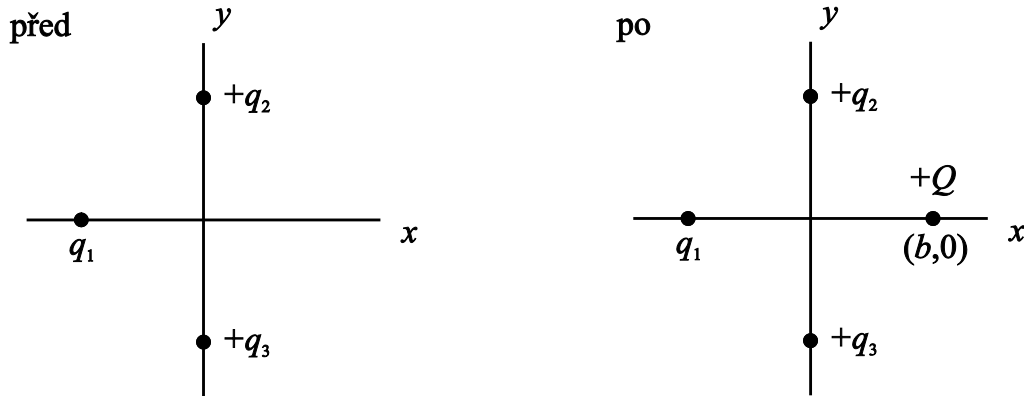


5. Jak velká síla bude nyní působit na kuličku s nábojem $+4Q$?
 - (a) $F/9$
 - (b) $F/3$
 - (c) $4F/9$
 - (d) $4F/3$
 - (e) jiná
7. Obrázek níže zachycuje částici (označena B), jejíž celkový náboj je $+1$ jednotka. Několik centimetrů nalevo se nachází jiná částice (označena A), která má celkový náboj -2 jednotky. Vyberte tu dvojici vektorů sil (šipek), která správně porovnává elektrickou sílu působící na částici A s elektrickou silou působící na částici B.

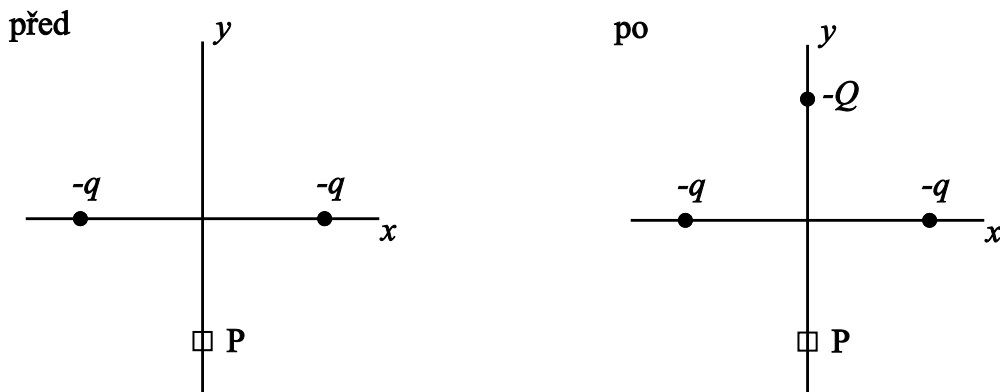


	síla působící na A	síla působící na B
(a)		
(b)		
(c)		
(d)		
(e)		

8. V situaci zachycené na obrázku níže působí dva kladné náboje q_2 a q_3 na náboj q_1 výslednou silou, která míří ve směru kladné osy x . Pokud přidáme do místa $(b,0)$ kladný náboj Q , co se stane s výslednicí sil působících na náboj q_1 ? (Všechny náboje jsou pevně fixovány ve svých pozicích, takže se nemohou hýbat.)



- Velikost výslednice sil se nezmění, protože je náboj Q na ose x .
 - Velikost výslednice sil se změní, ale její směr zůstane stejný.
 - Výslednice sil se zmenší a její směr se může změnit díky interakci náboje Q s kladnými náboji q_2 a q_3 .
 - Výslednice sil se zvětší a její směr se může změnit díky interakci náboje Q s kladnými náboji q_2 a q_3 .
 - Nelze určit bez znalosti velikosti náboje q_1 a Q .
9. Na obrázku níže má elektrické pole v místě P směr nahoru podél osy y . Co se stane s elektrickým polem v místě P, pokud je do místa na kladné části osy y přidán záporný náboj $-Q$? (Všechny náboje jsou pevně fixovány ve svých pozicích, takže se nemohou hýbat.)

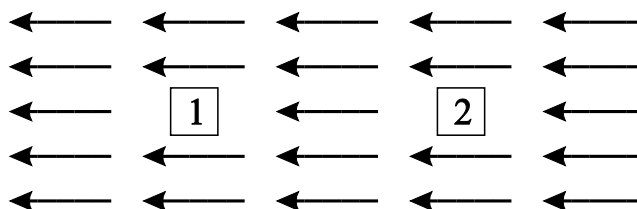


- Nic, protože je náboj $-Q$ na y -ové ose.
- Intenzita elektrického pole vzroste, protože náboj $-Q$ je záporný.
- Intenzita elektrického pole klesne a směr se může změnit díky vzájemnému působení mezi nábojem $-Q$ a dvěma negativními náboji $-q$.
- Intenzita elektrického pole vzroste a směr se může změnit díky vzájemnému působení mezi nábojem $-Q$ a dvěma negativními náboji $-q$.
- Nelze určit bez znalosti sil, kterými náboj $-Q$ působí na dva negativní náboje $-q$.

10. Kladný náboj je držen v klidu a je umístěn v homogenním elektrickém poli. (Homogenní pole je takové, které má ve všech místech stejný směr a velikost.) Pokud zmíněný kladný náboj vypustíme z klidu v homogenním elektrickém poli, jaký bude jeho následující pohyb?

- (a) Bude se pohybovat rovnoměrně, tj. se stále stejnou velikostí rychlosti, směr se může měnit.
- (b) Bude se pohybovat rovnoměrně přímočaře.
- (c) Bude se pohybovat rovnoměrně zrychleně.
- (d) Bude se pohybovat s rovnoměrně rostoucím zrychlením.
- (e) Zůstane v klidu na stejném místě, ve kterém byl na počátku.

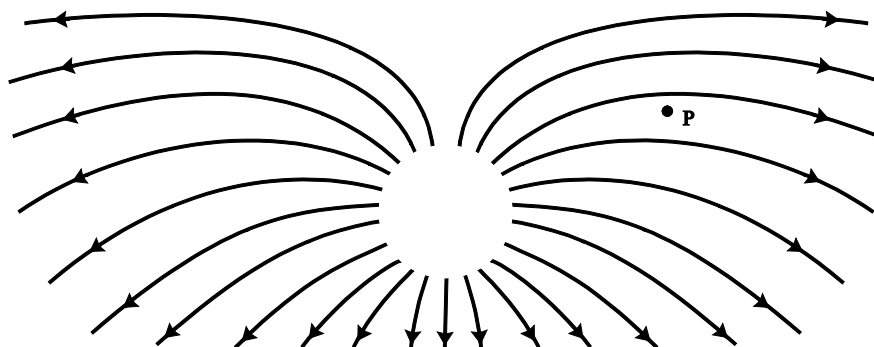
12. Kladný náboj může být umístěn na jedno ze dvou míst v homogenním elektrickém poli. Tato místa jsou vyznačena na následujícím obrázku.



Jaký je rozdíl mezi elektrickými silami, které by působily na zmíněný náboj v místech 1 a 2?

- (a) Síla působící na náboj je větší v místě 1.
- (b) Síla působící na náboj je větší v místě 2.
- (c) Síla působící na náboj je v obou místech nulová.
- (d) Síla působící na náboj je v obou místech stejná, ale nenulová.
- (e) Síla působící na náboj má v obou místech stejnou velikost, ale opačný směr.

NÁSLEDUJÍCÍ OBRÁZEK POPISUJÍCÍ ELEKTRICKÉ POLE POUŽIJTE PRO ÚLOHU 15.



15. Jaký je směr elektrické síly působící na záporný náboj v místě P na obrázku výše?

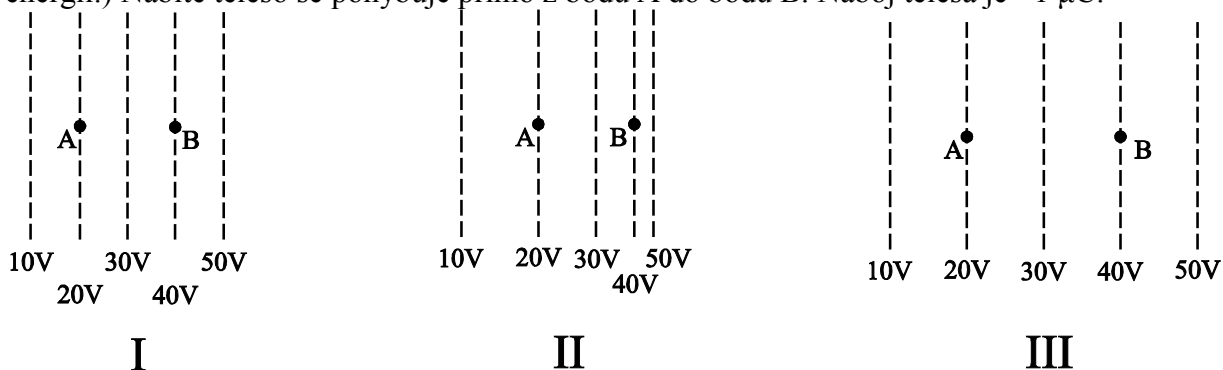
- (a) ←
- (b) ↙
- (c) →
- (d) ↗
- (e) síla je nulová

16. Elektron je umístěn na x -ové ose v místě, kde je elektrický potenciál $+10$ V. Která z následujících myšlenek nejlépe popisuje následný pohyb elektronu?

- (a) Elektron se bude pohybovat doleva ($-x$), protože má záporný náboj.
- (b) Elektron se bude pohybovat doprava ($+x$), protože má záporný náboj.
- (c) Elektron se bude pohybovat doleva ($-x$), protože elektrický potenciál je v daném místě kladný.
- (d) Elektron se bude pohybovat doprava ($+x$), protože elektrický potenciál je v daném místě kladný.
- (e) Bez dalších informací nelze předpovědět pohyb elektronu.

K OTÁZCE 17

Čárkované čáry na obrázku znázorňují ekvipotenciální hladiny elektrického pole. (Náboj, který se pohybuje podél hladin stejného potenciálu má konstantní elektrickou potenciální energii.) Nabitě těleso se pohybuje přímo z bodu A do bodu B. Náboj tělesa je $+1 \mu\text{C}$.

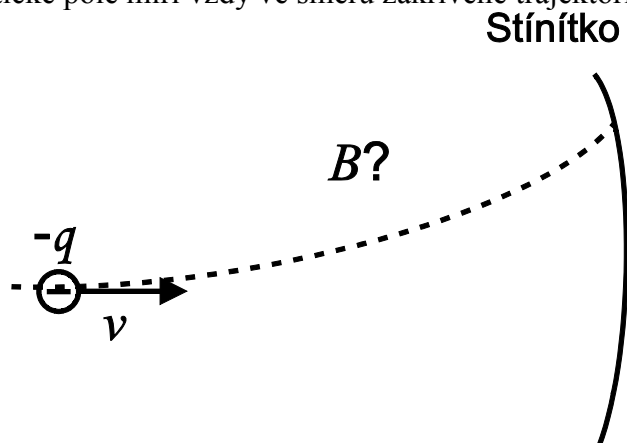


17. Porovnejte množství práce potřebné k přesunu nabitěho tělesa v jednotlivých případech.

- (a) Největší práce je potřeba v případě I.
- (b) Největší práce je potřeba v případě II.
- (c) Největší práce je potřeba v případě III.
- (d) V případech I a II je potřeba stejná práce, ale menší než v případě III.
- (e) Ve všech třech případech je potřeba stejné množství práce.

22. Elektron letí vodorovně, směrem ke stínítku. Působením magnetické síly zapříčiněné magnetickým polem se pohybuje podél trajektorie znázorněné na obrázku. Jaký je směr vektoru magnetické indukce magnetického pole?

- (a) Směrem k hornímu okraji stránky
- (b) Směrem ke spodnímu okraji stránky
- (c) Do stránky
- (d) Ven ze stránky
- (e) Magnetické pole míří vždy ve směru zakřivené trajektorie elektronu



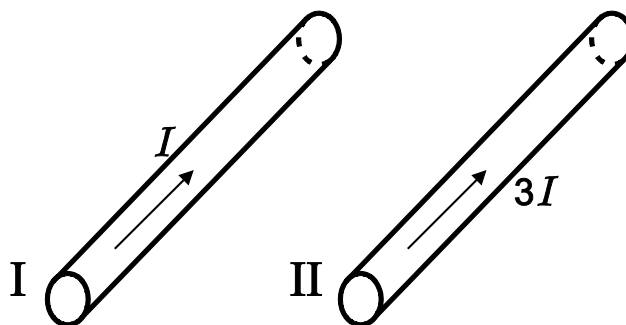
23. Vodičem 1 protéká velký proud I směrem ven ze stránky (\odot), jak ukazuje obrázek. Vodičem 2 protéká velký proud I směrem do stránky (\otimes). Jaký směr bude mít magnetické pole v bodě P?



- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e) žádný z uvedených

24. Dvěma paralelními vodiči I a II, které jsou blízko sebe, protéká proud I a $3I$, oba ve stejném směru. Porovnejte síly, kterými vodiče působí navzájem na sebe.

- (a) Vodič I působí větší silou na vodič II než vodič II na I.
- (b) Vodič II působí větší silou na vodič I než vodič I na II.
- (c) Vodiče na sebe působí stejně velkými přitažlivými silami.
- (d) Vodiče na sebe působí stejně velkými odpuzivými silami.
- (e) Vodiče na sebe nepůsobí žádnými silami.



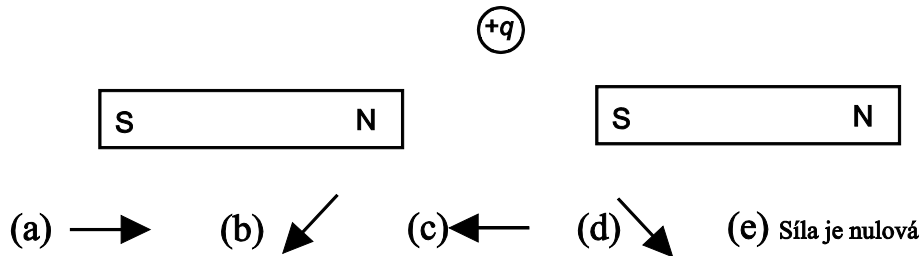
26. Obrázek ukazuje vodič, kterým prochází velký elektrický proud I ven z papíru (\odot). Kterým směrem bude orientované magnetického pole v bodech A a B?

The diagram shows a wire with a current I flowing out of the page, represented by a circle with a dot in the center. Two points, A and B, are marked with dots. Point A is to the left of the wire, and point B is above the wire.





Options for the magnetic field direction at points A and B:

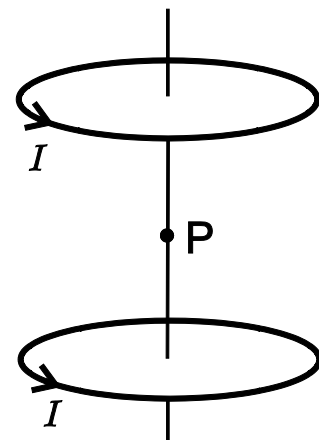
- (a) At A: down; at B: left
- (b) At A: right; at B: down
- (c) At A: up; at B: right
- (d) At A: left; at B: up
- (e) Žádná z uvedených možností

27. Kladně nabitá částice ($+q$) je v klidu v rovině mezi dvěma upevněnými tyčovými magnety (viz obrázek). Magnet nalevo je třikrát silnější než magnet napravo. Která z následujících možností nejlépe vystihuje výslednou **magnetickou** sílu působící na nabitou částici?

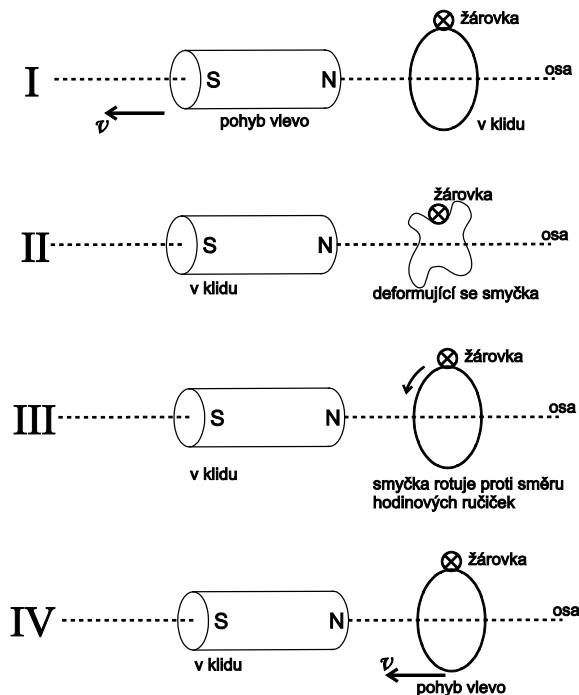


28. Dvěma stejnými smyčkami, tvořenými vodiči, protéká stejný proud I . Umístění smyček je naznačeno na obrázku. Která šipka nejlépe reprezentuje směr magnetického pole v bodě P uprostřed mezi smyčkami?

- a) 
 b) 
 c) 
 d) 
 e) V bodě P žádné magnetické pole není

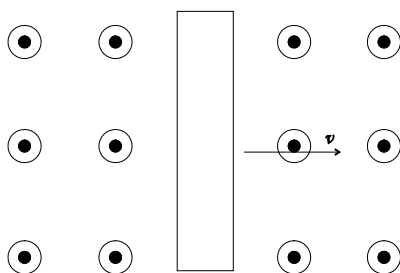


29. Pět obrázků zobrazuje válcový magnet a malou žárovku připojenou ke koncům smyčky z měděného drátu. Rovina kovové smyčky je kolmá k ose magnetu. Zda se magnet nebo smyčka pohybují, je naznačeno na příslušném obrázku. Rychlost v je znázorněna přímou šipkou, směr otáčení je znázorněn zakřivenou šipkou. V kterém případě se žárovka rozsvítí?



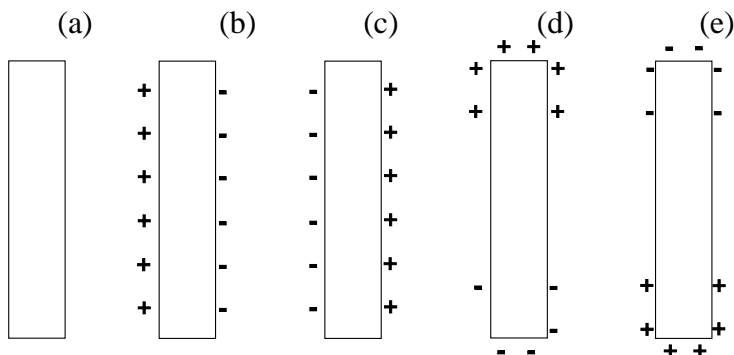
- (a) I, III, IV (b) I, IV (c) I, II, IV (d) IV (e) V žádném z uvedených

31. Elektricky neutrální kovová tyčka se pohybuje stálou rychlostí v směrem vpravo v homogenním magnetickém poli vystupujícím dopředu z papíru. Magnetické pole je vytvořeno pomocí velkých cívek, které nejsou na obrázku znázorněny.

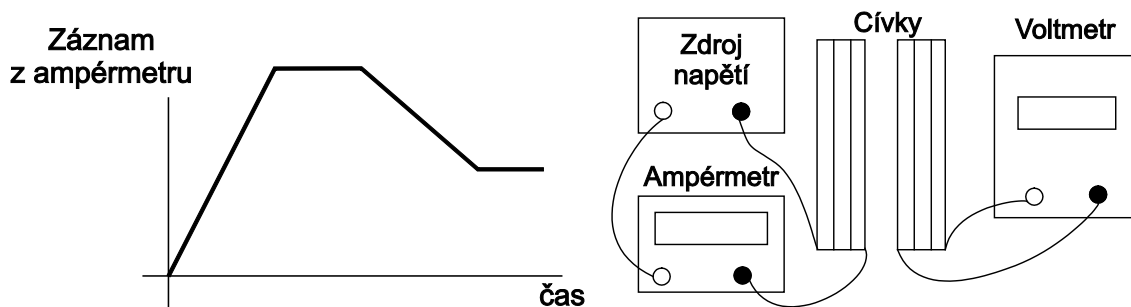


B ven ze stránky

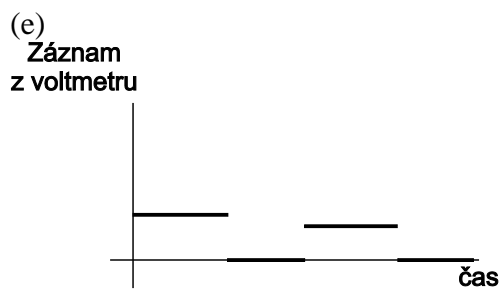
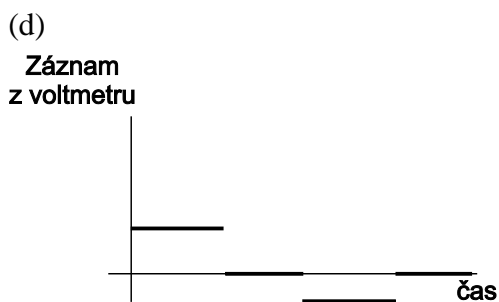
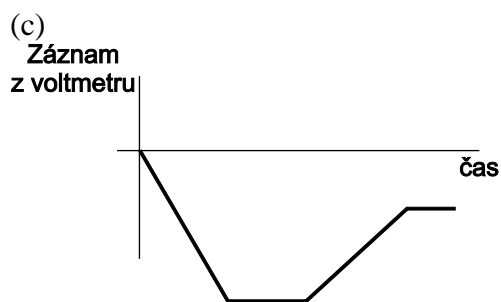
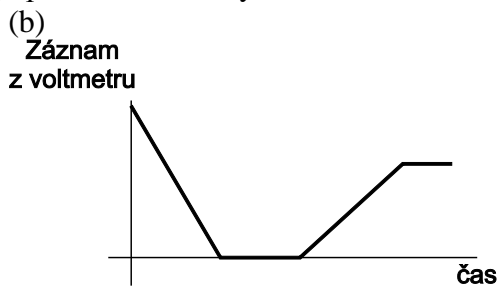
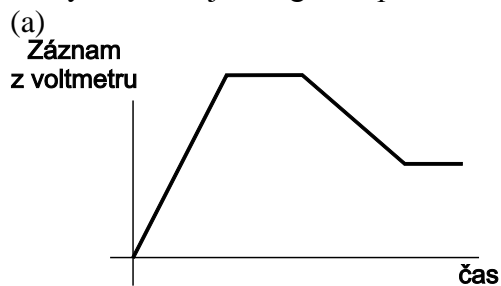
Který z následujících obrázků nejlépe popisuje rozložení náboje na povrchu kovové tyčky?



32. Ke zdroji proměnného napětí je připojena sériově cívka a ampérmetr. Graf ukazuje časový průběh zobrazený na ampérmetru. Hned vedle první cívky je druhá cívka, která je připojena k voltmetru.



Který z následujících grafů správně ukazuje průběh zobrazený na voltmetru?



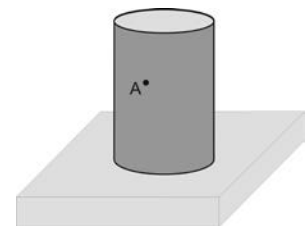
Příloha A2: KTEM verze 1

Konceptuální test z Elektřiny a Magnetismu (KTEM)

U každé otázky zakroužkujte v odpovědní kartě správnou odpověď (správná je vždy jen jedna možnost). U otázky č. 5 doplňte znaménka nábojů.

V každé otázce, ve které je zmíněn proud, je tento pojem chápán tradičně, tj. směr proudu je směr pohybu kladného náboje. Efekty magnetického pole Země v úlohách považujte za natolik slabé, že je není třeba uvažovat. Termínem „částice“ myslíme objekt s nulovou velikostí a bez vnitřní struktury.

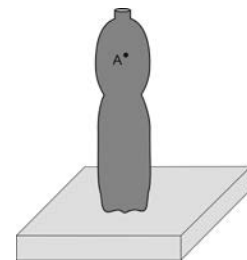
- 1) Prázdná, elektricky neutrální plechovka je umístěna na izolační podložku. V jednu chvíli je do místa A na vnějším povrchu plechovky přivedeno malé množství náboje.



Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme:

- a) Všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) Přivedený náboj se rozložil po celém vnějším povrchu plechovky.
- c) Přivedený náboj se rozložil po celém vnějším i vnitřním povrchu plechovky.
- d) Většina náboje zůstala poblíž místa A, ale část se ho rozprostřela po povrchu plechovky.
- e) Nejistíme žádný náboj.

- 2) Prázdná, otevřená, elektricky neutrální PET láhev je umístěna na izolační podložku. V jednu chvíli je do místa A na jejím vnějším povrchu přivedeno malé množství náboje.



Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme:

- a) Všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším povrchu PET lahve.
- c) Přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším i vnitřním povrchu PET lahve.
- d) Část náboje se rozprostřela po celém povrchu PET lahve, ale většina ho zůstala v místě A.
- e) Nejistíme žádný náboj.

PRO OTÁZKY 3 A 4

Dvě malé kuličky, každá s celkovým nábojem $+Q$, na sebe vzájemně působí silou o velikosti F .



Jednu z těchto kuliček nahradíme jinou, jejíž celkový náboj je $+3Q$.



3) Původní velikost síly, která působila na kuličku s nábojem $+Q$, byla F . Jaká je velikost síly, která na kuličku s nábojem $+Q$ působí nyní?

- a) $F/3$ b) F c) $3F$ d) $9F$ e) jiná možnost

Místo kuličky s nábojem $+3Q$ použijeme znovu kuličku s nábojem $+Q$. Kuličky posuneme tak, aby byly dvakrát dále, než byly původně.

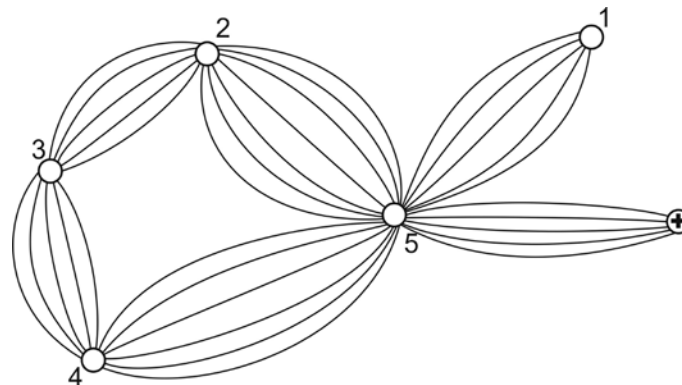


4) Jak velká síla bude nyní působit na levou kuličku?

- a) F b) $F/2$ c) $F/4$ d) $4F$ e) jiná možnost

PRO OTÁZKY 5 A 6

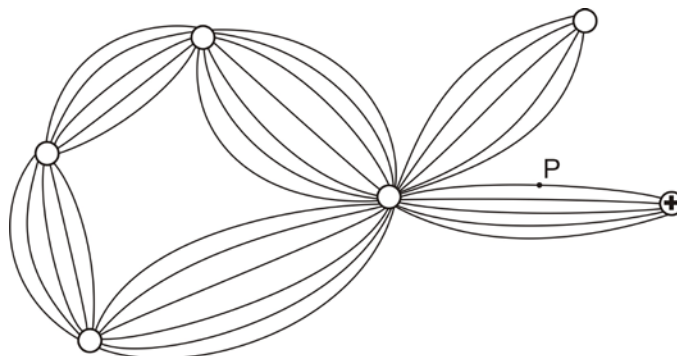
Na obrázku jsou naznačeny náboje a siločáry mezi nimi. Všechny náboje mají stejnou velikost, ale liší se znaménkem.



5) Znaménko jednoho z nábojů je na obrázku vyznačeno. Doplňte do odpovědní karty znaménka ostatních nábojů (označených 1-5).

- 1..... 2..... 3..... 4..... 5.....

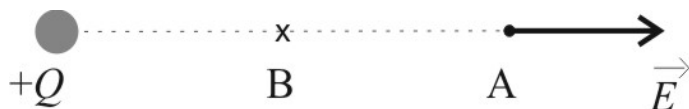
- 6) Do bodu P přidáme záporný náboj. Jaký směr bude mít síla, která na něj bude v tomto místě působit?



- a) \longrightarrow b) \longleftarrow c) \uparrow d) \downarrow e) síla je nulová

PRO OTÁZKY 7 A 8

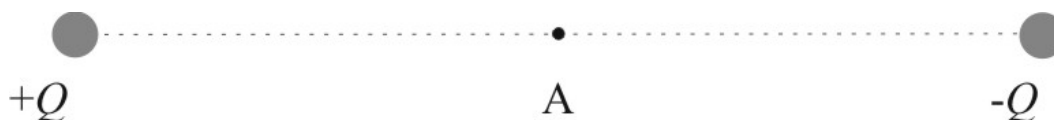
Na obrázku zachyceném níže je znázorněn vektor elektrické intenzity v určité vzdálenosti (v bodě označeném A) od kladného náboje.



- 7) Jaký bude vektor elektrické intenzity v místě označeném B (uprostřed mezi nábojem a bodem A)?

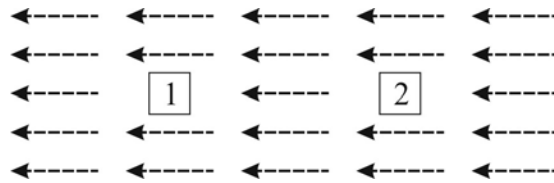
- a) Stejně velký
 b) Dvakrát větší
 c) Čtyřikrát větší
 d) Dvakrát menší
 e) Čtyřikrát menší

- 8) Jak bude vypadat vektor elektrické intenzity v původním bodě (označeném A) po přidání záporného (stejně velkého) náboje tak, že bod A je přesně uprostřed mezi oběma náboji?



- a) \longrightarrow
 b) \longleftarrow
 c) \longrightarrow
 d) \longleftarrow
 e) síla je nulová

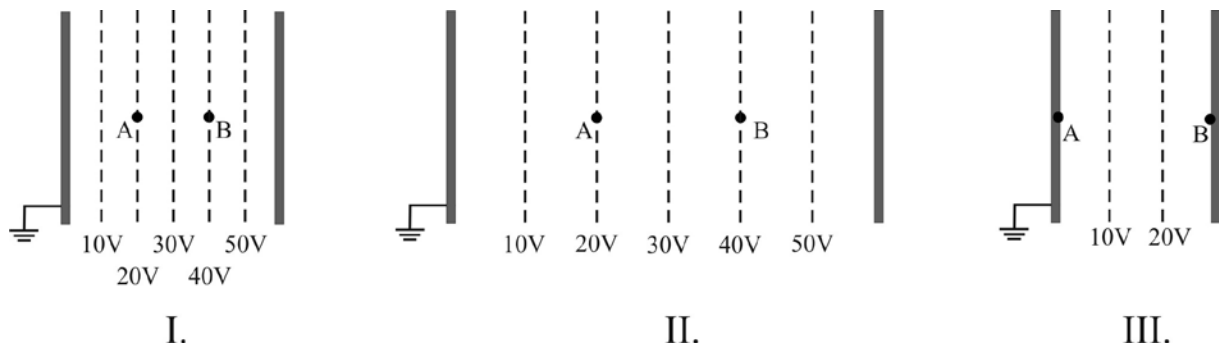
- 9) Kladný náboj může být umístěn na jedno ze dvou míst v homogenním elektrickém poli. Tato místa jsou vyznačena na následujícím obrázku.



Jaký je rozdíl mezi elektrickými silami, které by působily na zmíněný náboj v místech 1 a 2?

- Síla působící na náboj je větší v místě 1.
- Síla působící na náboj je větší v místě 2.
- Síla působící na náboj je v obou místech nulová.
- Síla působící na náboj je v obou místech stejná, ale nenulová.
- Síla působící na náboj má v obou místech stejnou velikost, ale opačný směr.

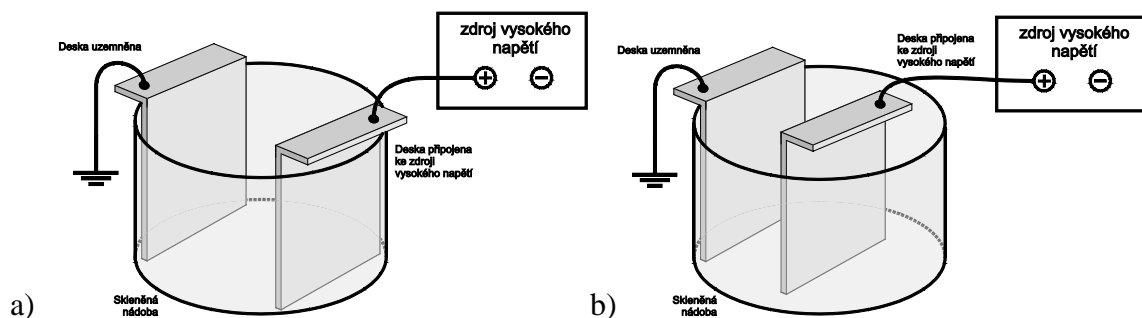
- 10) Na obrázku jsou znázorněny desky kondenzátoru a evipotenciální hladiny elektrického pole mezi nimi (náboj, který se pohybuje podél hladin stejného potenciálu, má konstantní elektrickou potenciální energii). Nabitá kulička se pohybuje přímo z bodu A do bodu B mezi těmito deskami. Náboj kuličky je $+10 \text{ nC}$.

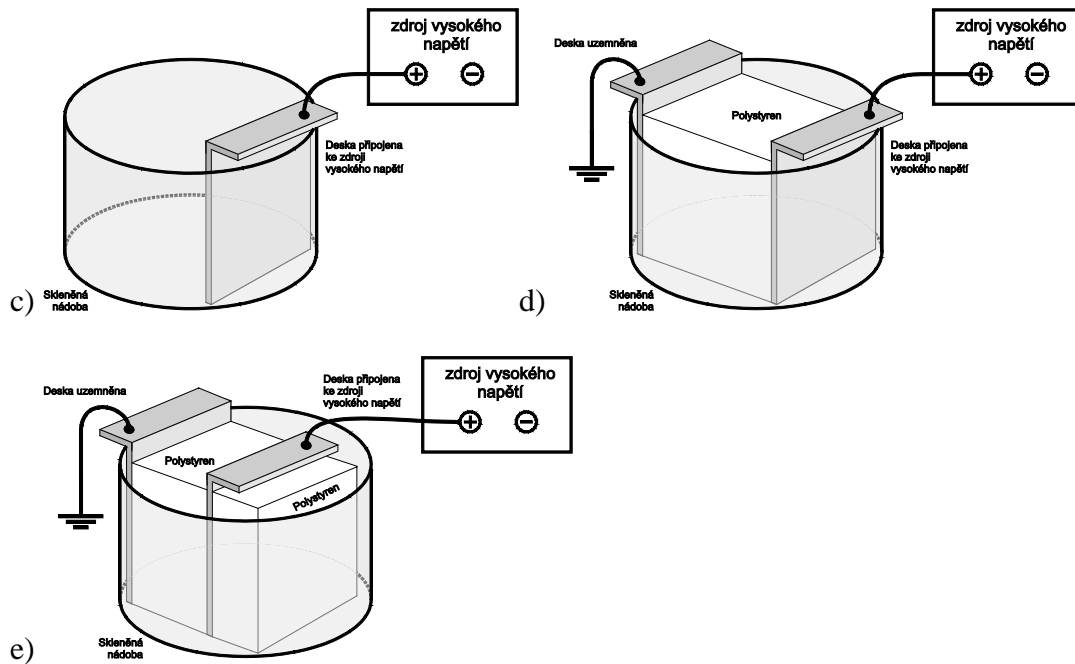


Porovnejte množství práce potřebné k přesunu kuličky z jedné desky na druhou.

- Největší práce je potřeba v případě I.
- Největší práce je potřeba v případě II.
- Největší práce je potřeba v případě III.
- Ve všech třech případech je potřeba stejné množství práce.
- Jiná možnost.

- 11) Všechny desky na obrázcích jsou připojeny ke stejnému zdroji vysokého napětí. Ve kterém uspořádání je na desce největší elektrický náboj?

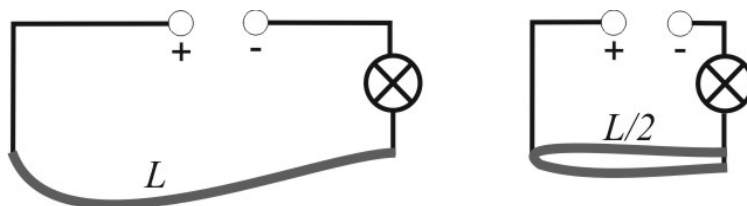




12) Kondenzátor s kapacitou C je nabitý na napětí U . Paralelně k němu připojíme druhý kondenzátor o stejné kapacitě, který ale není nabitý. Jak se změní napětí na původně nabitým kondenzátoru?

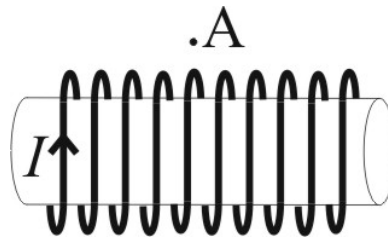
- a) Zůstane stejné
- b) Zvětší se dvakrát
- c) Zmenší se dvakrát
- d) Klesne na nulu
- e) Jiná možnost

13) Drát délky L je připojen přes spotřebič ke zdroji napětí tak, že jím prochází proud I . Jak se změní proud procházející drátem, jestliže ho přepůlíme a do obvodu vložíme obě poloviny „vedle sebe“?



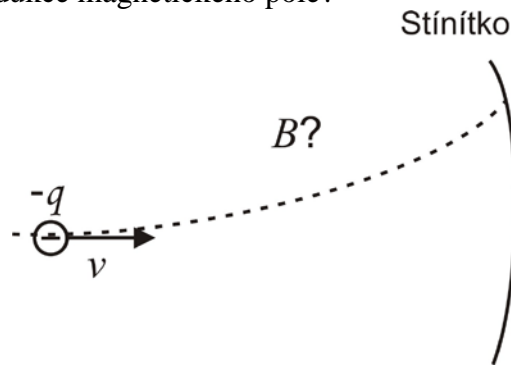
- a) Zvětší se dvakrát
- b) Zmenší se dvakrát
- c) Zvětší se čtyřikrát
- d) Zmenší se čtyřikrát
- e) Nezmění se

14) Na obrázku je cívka, kterou protéká proud ve směru šipky. Jakým směrem bude mířit strelka kompasu umístěného v bodě A?



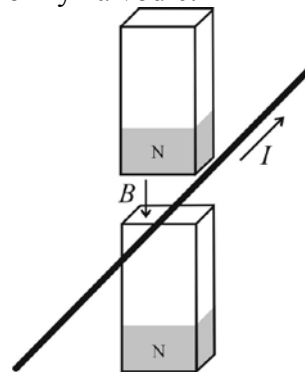
- a) \longrightarrow b) \longleftarrow c) \uparrow d) \downarrow e) jiná možnost

15) Elektron letí vodorovně, směrem ke stínítku. Působením magnetické síly zapříčiněné magnetickým polem se pohybuje podél trajektorie znázorněné na obrázku. Jaký je směr vektoru magnetické indukce magnetického pole?



- a) Směrem k hornímu okraji stránky
 b) Směrem ke spodnímu okraji stránky
 c) Kolmo na stránku – za ni
 d) Kolmo na stránku – před ni
 e) Magnetické pole míří vždy ve směru zakřivené trajektorie elektronu

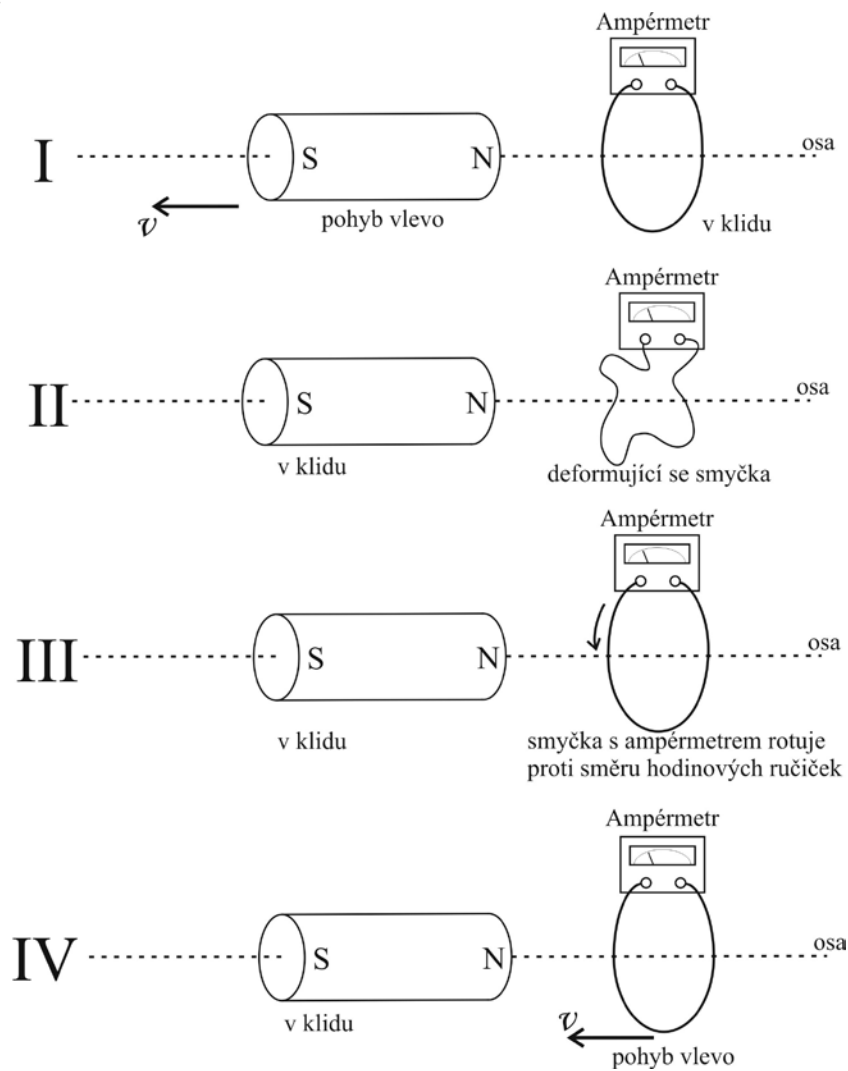
16) Na obrázku je vodič, kterým prochází proud I , umístěn mezi póly dvou magnetů tak, že vektor magnetické indukce je kolmý na vodič.



Jaký směr má magnetická síla, která působí na vodič?

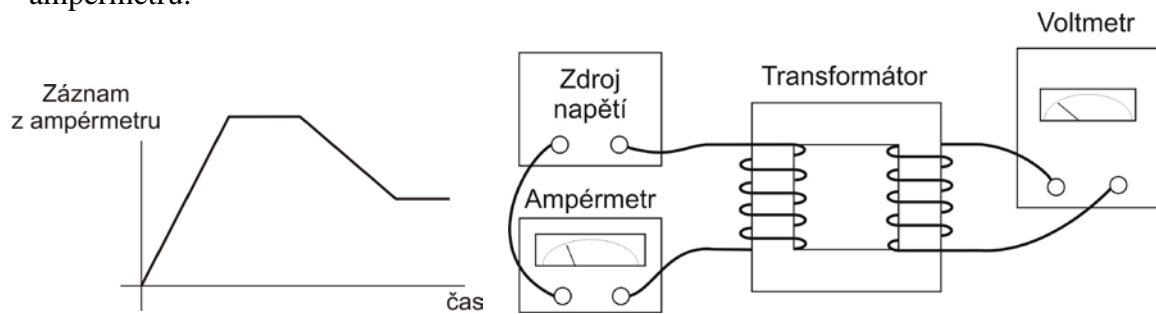
- a) Ve směru siločar
 b) Ve směru vodiče
 c) Kolmo na směr siločar a vodiče
 d) Jiný směr
 e) Žádná síla na vodič nepůsobí

17) Pět obrázků zobrazuje válcový magnet a citlivý ampérmetr připojený ke koncům smyčky z měděného drátu. Rovina smyčky je kolmá k ose magnetu. Zda se magnet nebo smyčka pohybují, je naznačeno v příslušném obrázku – rychlost v je znázorněna přímkou šipkou, směr otáčení je znázorněn zakřivenou šipkou. V kterém případě ampérmetr ukáže nějakou výchylku?

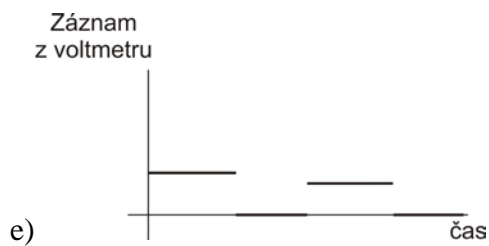
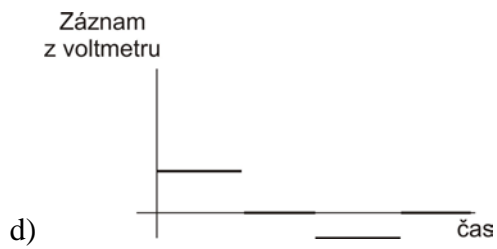
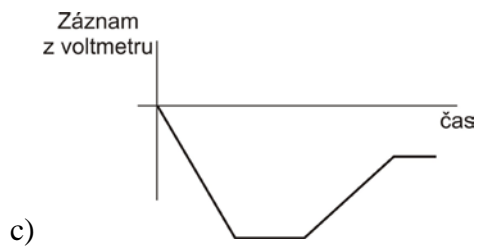
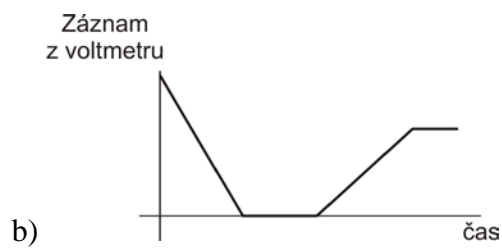
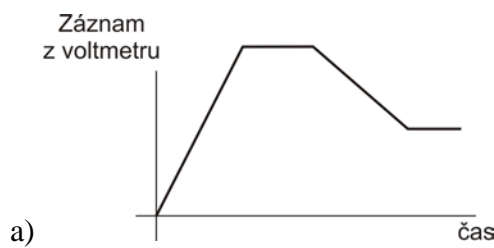


- a) I, III, IV b) I, IV c) I, II, IV d) IV e) jiná možnost

18) Transformátor (dvě cívky se stejným počtem závitů na uzavřeném jádře) je napájen ze zdroje proměnného napětí. Sériově ke zdroji je připojen ampérmetr. K druhé straně transformátoru je připojen voltmetr. Graf ukazuje časový průběh proudu zobrazený na ampérmetru.



Který z následujících grafů správně ukazuje průběh napětí zobrazený na voltmetru?



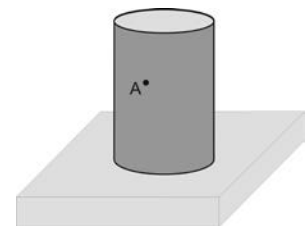
Příloha A3: KTEM verze 3

Konceptuální test z Elektřiny a Magnetismu

U každé otázky zakroužkujte v odpovědní kartě správnou odpověď (správná je vždy právě jedna možnost).

V každé otázce, ve které je zmíněn proud, je tento pojem chápán tradičně, tj. směr proudu je směr pohybu kladného náboje. Efekty magnetického pole Země v úlohách považujte za natolik slabé, že je není třeba uvažovat. Termínem „částice“ myslíme objekt s nulovou velikostí a bez vnitřní struktury.

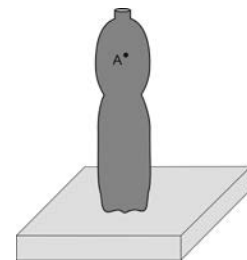
- 1) Prázdná nenabitá plechovka je umístěna na izolační podložce. V jednu chvíli je do místa A na vnějším povrchu plechovky přivedeno malé množství náboje.



Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme, že:

- a) všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším povrchu plechovky.
- c) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším i vnitřním povrchu plechovky.
- d) většina náboje zůstala poblíž místa A, ale část se ho rozprostřela po povrchu plechovky.
- e) nezjistíme žádný náboj.

- 2) Prázdná otevřená nenabitá PET láhev je umístěna na izolační podložce. V jednu chvíli je do místa A na jejím vnějším povrchu přivedeno malé množství náboje.



Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme, že:

- a) všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším povrchu PET lahve.
- c) přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším i vnitřním povrchu PET lahve.
- d) část náboje se rozprostřela po celém povrchu PET lahve, ale většina ho zůstala v místě A.
- e) nezjistíme žádný náboj.

PRO OTÁZKY 3 A 4

Dvě malé kuličky, každá s celkovým nábojem $+Q$, na sebe vzájemně působí silou o velikosti F .



Jednu z těchto kuliček nahradíme jinou, jejíž celkový náboj je $+3Q$.



3) Původní velikost síly, která působila na kuličku s nábojem $+Q$, byla F . Jaká je velikost síly, která na kuličku s nábojem $+Q$ působí nyní?

- a) $F/3$ b) F c) $3F$ d) $9F$ e) jiná možnost

Místo kuličky s nábojem $+3Q$ použijeme znovu kuličku s nábojem $+Q$. Kuličky posuneme tak, aby byly dvakrát dále, než byly původně.

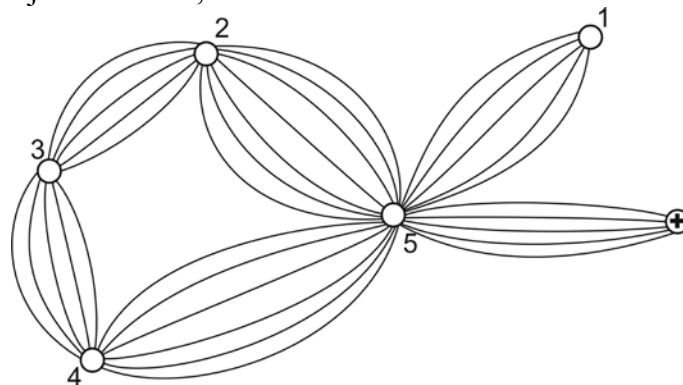


4) Jak velká síla bude nyní působit na levou kuličku?

- a) $F/4$ b) $F/2$ c) F d) $4F$ e) jiná možnost

PRO OTÁZKY 5 A 6

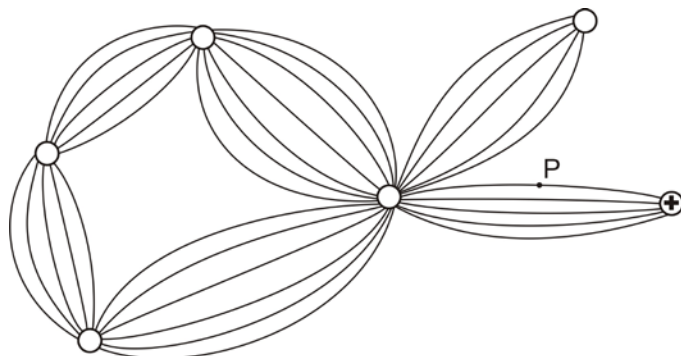
Na obrázku jsou naznačeny nabitě kuličky a některé elektrické siločáry mezi nimi. Náboje všech kuliček mají stejnou velikost, ale liší se znaménkem.



5) Znaménko jednoho z nábojů je na obrázku vyznačeno. Jaká jsou znaménka ostatních nábojů? Čísla odpovídají číslům nábojů v obrázku.

- a) 1 – 2 + 3 – 4 + 5 –
 b) 1 + 2 – 3 + 4 + 5 –
 c) 1 + 2 + 3 – 4 + 5 –
 d) 1 + 2 – 3 + 4 – 5 +
 e) jiná varianta

- 6) Do bodu P přidáme kuličku se záporným nábojem. Jaký směr bude mít síla, která na ni bude v tomto místě působit?



- a) ← b) → c) ↓ d) ↑ e) síla je nulová

PRO OTÁZKY 7 A 8

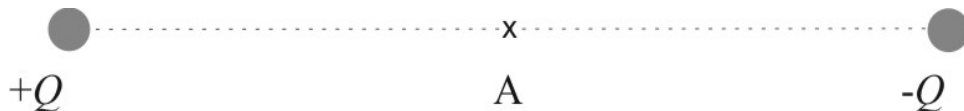
Na obrázku zachyceném níže je znázorněn vektor elektrické intenzity v určité vzdálenosti (v bodě označeném A) od kladně nabitě kuličky.



- 7) Jaký bude vektor elektrické intenzity v místě označeném B (uprostřed mezi nabitou kuličkou a bodem A)?

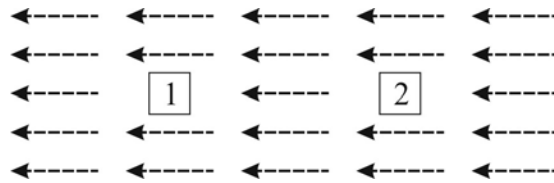
- a) Stejně velký
 b) Dvakrát menší
 c) Čtyřikrát menší
 d) Dvakrát větší
 e) Čtyřikrát větší

- 8) Jaký bude vektor elektrické intenzity v původním bodě (označeném A) po přidání opačně nabitě kuličky do takového místa, že bod A je přesně uprostřed mezi oběma kuličkami?



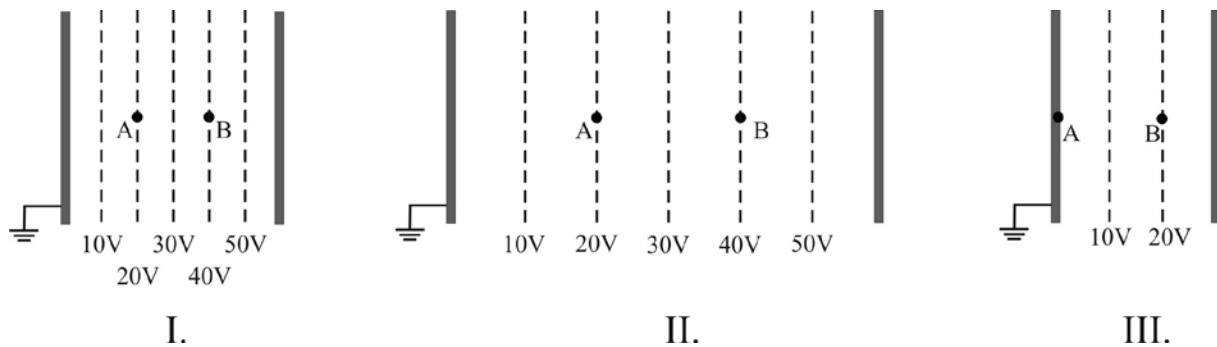
- a) →
 b) ←
 c) →
 d) ←
 e) intenzita je nulová

- 9) Kladně nabitá částice může být umístěna na jedno ze dvou míst v homogenním elektrickém poli. Tato místa jsou vyznačena na následujícím obrázku.



Jaký je rozdíl mezi elektrickými silami, které by působily na zmíněnou částici v místech 1 a 2?

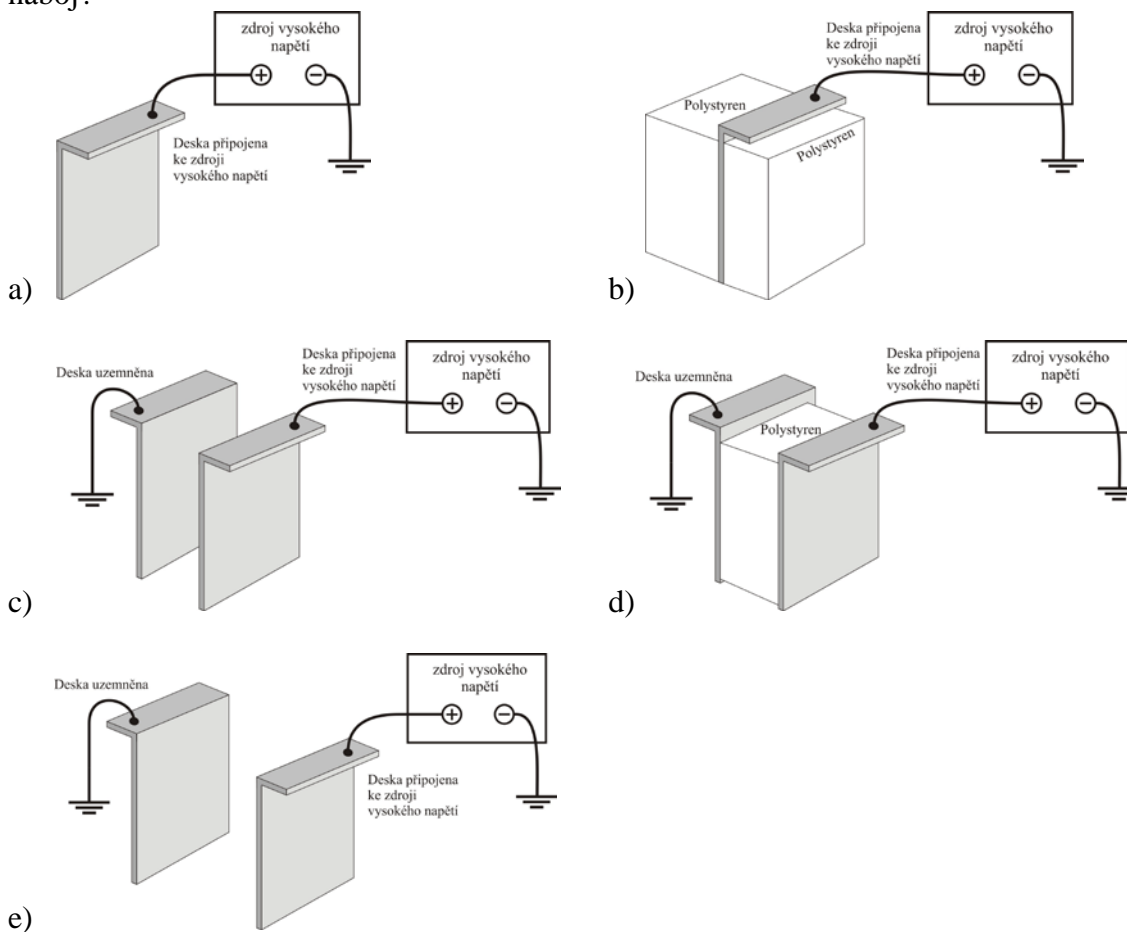
- Síla působící na náboj je větší v místě 1 než v místě 2.
 - Síla působící na náboj je větší v místě 2 než v místě 1.
 - Síla působící na náboj je v obou místech stejná, ale nenulová.
 - Síla působící na náboj má v obou místech stejnou velikost, ale opačný směr.
 - Síla působící na náboj je v obou místech nulová.
- 10) Na obrázku jsou znázorněny desky kondenzátoru a ekvipotenciální hladiny elektrického pole mezi nimi. Nabitá kulička se pohybuje přímo z bodu A do bodu B mezi těmito deskami. Náboj kuličky je $+10 \text{ nC}$.



Porovnejte práci potřebnou k přesunu kuličky z bodu A do bodu B.

- Největší práce je potřeba v případě I.
- Největší práce je potřeba v případě II.
- Největší práce je potřeba v případě III.
- Ve všech třech případech je potřeba stejná práce.
- Jiná možnost.

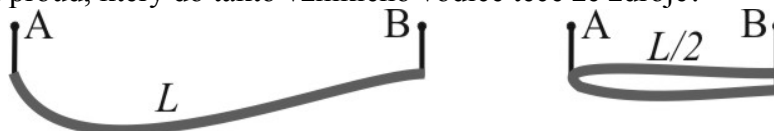
11) Všechny desky na obrázcích jsou kovové a jsou připojeny ke stejnému zdroji vysokého napětí. Ve kterém uspořádání je na desce připojené ke zdroji napětí největší elektrický náboj?



12) Kondenzátor s kapacitou C je nabitý a je na něm napětí U . Paralelně k němu připojíme druhý kondenzátor o stejné kapacitě, který ale není nabitý. Jak se změní napětí na původně nabitém kondenzátoru?

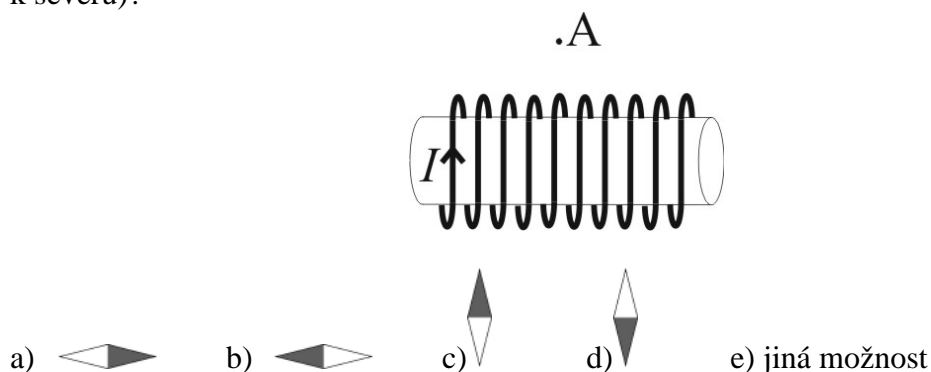
- a) Zůstane stejné
- b) Zmenší se dvakrát
- c) Zvětší se dvakrát
- d) Klesne na nulu
- e) Jiná možnost

13) Na obrázku je část elektrického obvodu – drát délky L je připojen ke kontaktům zdroje konstantního napětí (kontakty jsou označeny A a B). Drátem v tomto uspořádání prochází proud I . Poté drát ohneme na polovinu a ke zdroji připojíme obě poloviny „vedle sebe“. Jak se změní proud, který do takto vzniklého vodiče teče ze zdroje?

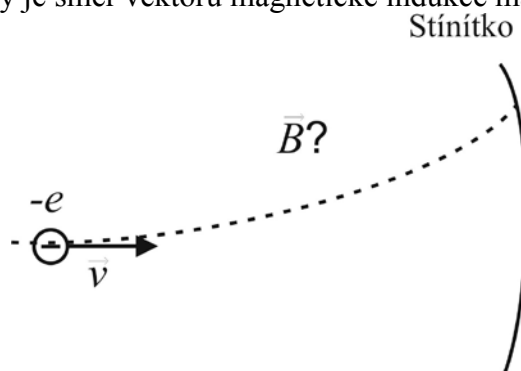


- a) Zvětší se dvakrát
- b) Zmenší se dvakrát
- c) Zvětší se čtyřikrát
- d) Zmenší se čtyřikrát
- e) Nezmění se

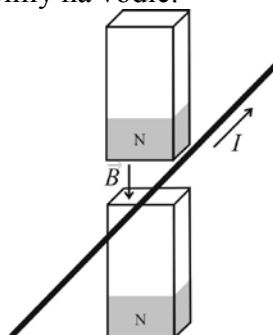
- 14) Na obrázku je cívka, kterou protéká proud ve směru šipky. Jakou orientaci bude mít strelka kompasu umístěného v bodě A (tmavší část strelky míří v zemském mag. poli k severu)?



- 15) Elektron letí vodorovně, směrem ke stínítku. Působením magnetické síly zapříčiněné homogenním magnetickým polem se pohybuje po části kružnice znázorněné na obrázku čárkovanou čarou. Jaký je směr vektoru magnetické indukce magnetického pole?



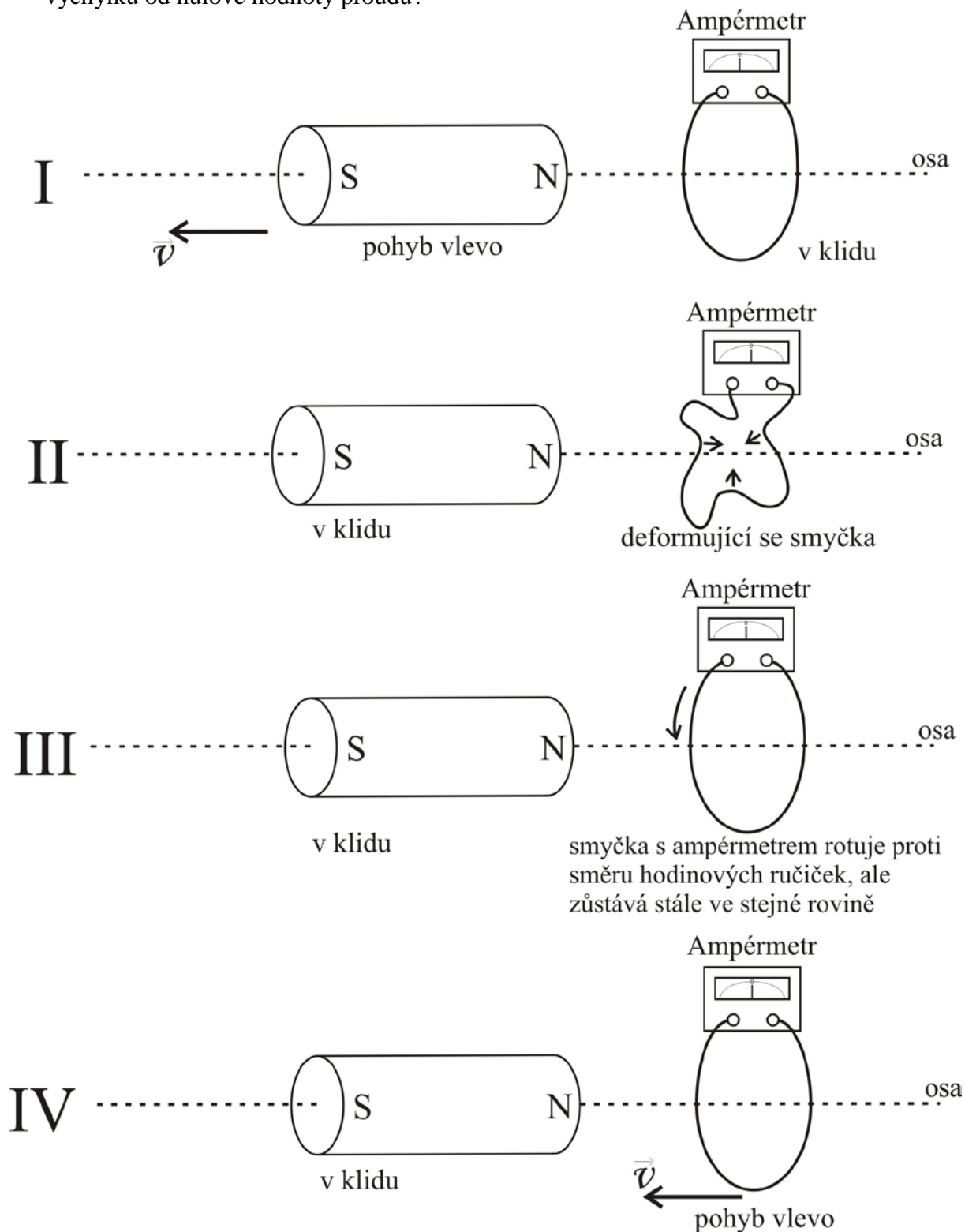
- a) Směrem k hornímu okraji stránky kolmo na směr rychlosti
 b) Směrem k dolnímu okraji stránky kolmo na směr rychlosti
 c) Kolmo na stránku – za ni
 d) Kolmo na stránku – před ni
 e) Magnetické pole míří vždy ve směru zakřivené trajektorie elektronu
- 16) Na obrázku je vodič, kterým prochází proud I , umístěn mezi póly dvou magnetů tak, že vektor magnetické indukce je kolmý na vodič.



Jaký směr má magnetická síla, která působí na vodič v prostoru mezi magnety?

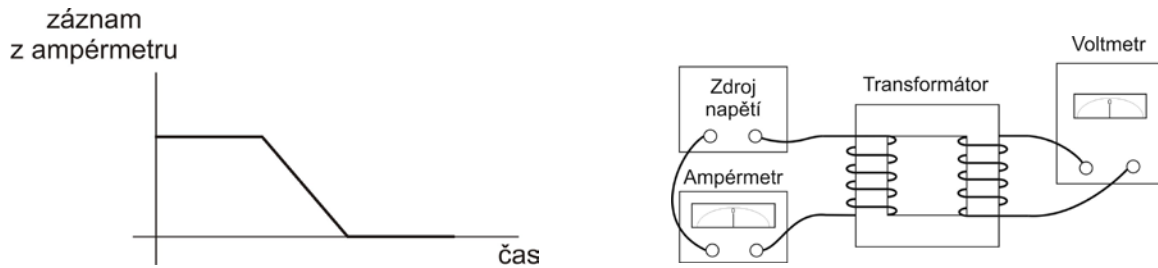
- a) Ve směru magnetické indukce \vec{B}
 b) Ve směru vodiče
 c) Kolmo na směr magnetické indukce a současně kolmo na vodič
 d) Jiný směr
 e) Žádná síla na vodič nepůsobí

17) Pět obrázků zobrazuje válcový magnet a citlivý ampérmetr připojený ke koncům smyčky z měděného drátu. Rovina smyčky je kolmá k ose magnetu. Zda se magnet nebo smyčka pohybují, je naznačeno v příslušném obrázku – rychlost \vec{v} je znázorněna přímou šipkou, směr otáčení je znázorněn zakřivenou šipkou. V kterém případě ampérmetr ukáže nějakou výchylku od nulové hodnoty proudu?

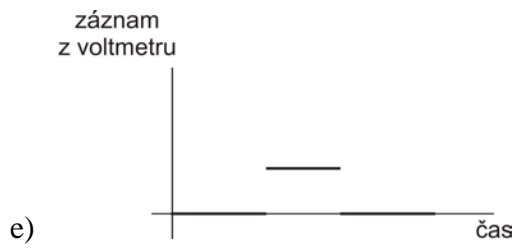
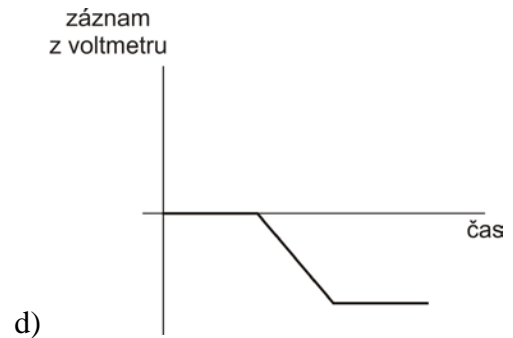
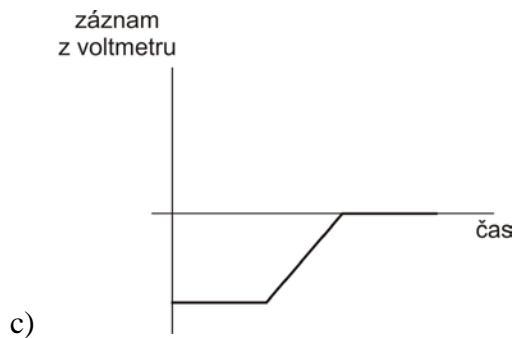
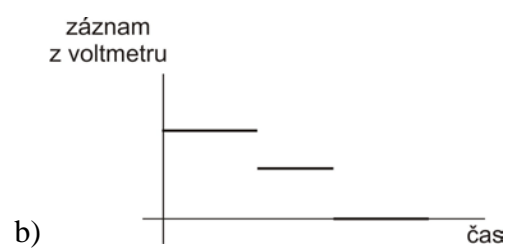
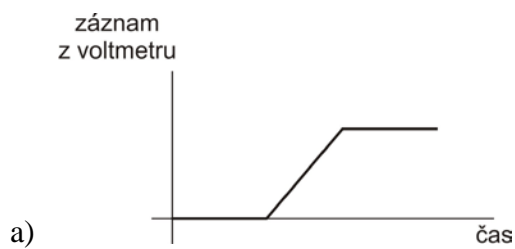


- a) I, II, IV b) I, III, IV c) I, IV d) IV e) jiná možnost

18) Transformátor (dvě cívky se stejným počtem závitů na uzavřeném jádře) je napájen ze zdroje proměnného napětí. Sériově ke zdroji je připojen ampérmetr. K druhé straně transformátoru je připojen voltmetr. Graf ukazuje časový průběh proudu zobrazený na ampérmetru.



Který z následujících grafů nejlépe ukazuje průběh napětí zobrazený na voltmetru?



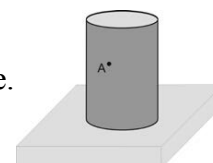
Příloha A4: Zkrácený test KTEM s prostorem na zdůvodnění

Konceptuální test z elektřiny a magnetismu

U každé otázky zakroužkujte správnou odpověď (správná je vždy právě jedna možnost), svou odpověď také zdůvodněte.

V každé otázce, ve které je zmíněn proud, je tento pojem chápán tradičně, tj. směr proudu je směr pohybu kladného náboje. Efekty magnetického pole Země v úlohách považujte za natolik slabé, že je není třeba uvažovat. Termínem „částice“ myslíme objekt s nulovou velikostí a bez vnitřní struktury.

- 1) Prázdná nenabitá plechovka je umístěna na izolační podložce. V jednu chvíli je do místa A na vnějším povrchu plechovky přivedeno malé množství náboje.

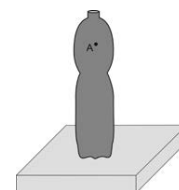


Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme, že:

- a) všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším povrchu plechovky.
- c) přivedený náboj se rozložil po celém vnějším i vnitřním povrchu plechovky.
- d) většina náboje zůstala poblíž místa A, ale část se ho rozprostřela po povrchu plechovky.
- e) nezjistíme žádný náboj.

Zdůvodnění:

- 2) Prázdná otevřená nenabitá PET láhev je umístěna na izolační podložce. V jednu chvíli je do místa A na jejím vnějším povrchu přivedeno malé množství náboje.



Budeme-li po náboji pátrat o několik sekund později, zjistíme, že:

- a) všechny přivedený náboj zůstal poblíž místa A.
- b) přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším povrchu PET lahve.
- c) přivedený náboj se rovnoměrně rozložil na vnějším i vnitřním povrchu PET lahve.
- d) část náboje se rozprostřela po celém povrchu PET lahve, ale většina ho zůstala v místě A.
- e) nezjistíme žádný náboj.

Zdůvodnění:

PRO OTÁZKY 3 A 4

Dvě malé kuličky, každá s celkovým nábojem $+Q$, na sebe vzájemně působí silou o velikosti F .



Jednu z těchto kuliček nahradíme jinou, jejíž celkový náboj je $+3Q$.



3) Původní velikost síly, která působila na kuličku s nábojem $+Q$, byla F . Jaká je velikost síly, která na kuličku s nábojem $+Q$ působí nyní?

- a) $F/3$ b) F c) $3F$ d) $9F$ e) jiná možnost

Zdůvodnění:.....

Místo kuličky s nábojem $+3Q$ použijeme znovu kuličku s nábojem $+Q$. Kuličky posuneme tak, aby byly dvakrát dále, než byly původně.

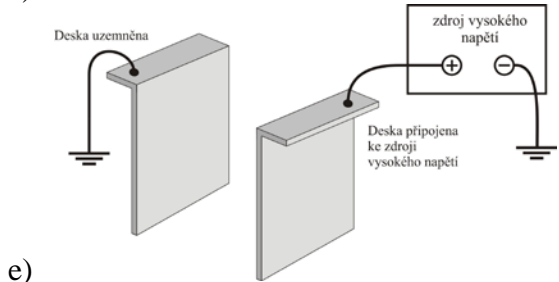
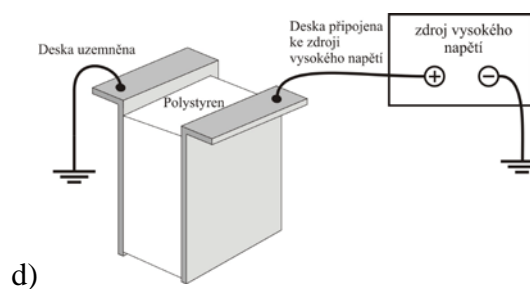
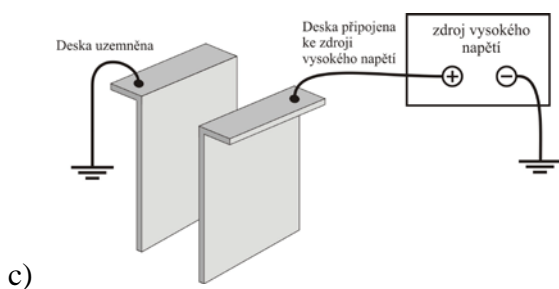
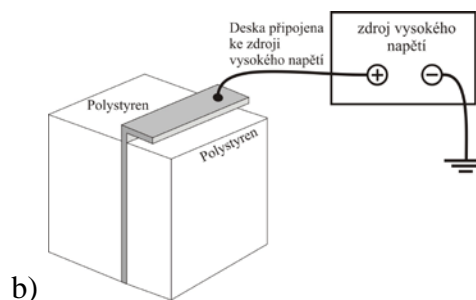
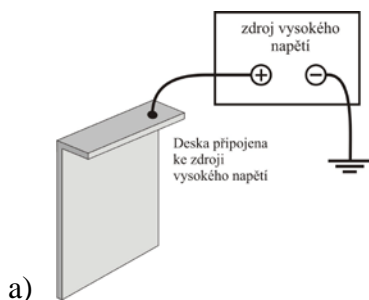


4) Jak velká síla bude nyní působit na levou kuličku?

- a) $F/4$ b) $F/2$ c) F d) $4F$ e) jiná možnost

Zdůvodnění:.....

5) Všechny desky na obrázcích jsou kovové a jsou připojeny ke stejnému zdroji vysokého napětí. Ve kterém uspořádání je na desce připojené ke zdroji napětí největší elektrický náboj?



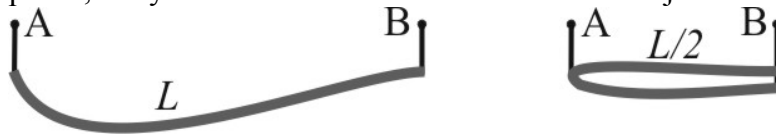
Zdůvodnění:.....

6) Kondenzátor s kapacitou C je nabitý a je na něm napětí U . Paralelně k němu připojíme druhý kondenzátor o stejné kapacitě, který ale není nabitý. Jak se změní napětí na původně nabitém kondenzátoru?

- a) Zůstane stejné
- b) Zmenší se dvakrát
- c) Zvětší se dvakrát
- d) Klesne na nulu
- e) Jiná možnost

Zdůvodnění:.....

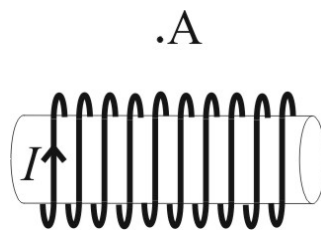
7) Na obrázku je část elektrického obvodu – drát délky L je připojen ke kontaktům zdroje konstantního napětí (kontakty jsou označeny A a B). Drátem v tomto uspořádání prochází proud I . Poté drát ohneme na polovinu a ke zdroji připojíme obě poloviny „vedle sebe“. Jak se změní proud, který do takto vzniklého vodiče teče ze zdroje?



- a) Zvětší se dvakrát
- b) Zmenší se dvakrát
- c) Zvětší se čtyřikrát
- d) Zmenší se čtyřikrát
- e) Nezmění se

Zdůvodnění:.....

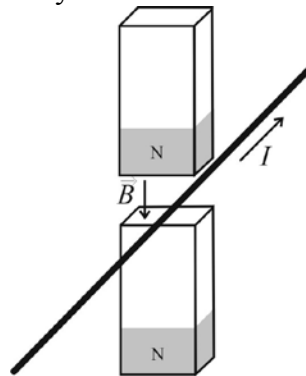
8) Na obrázku je cívka, kterou protéká proud ve směru šipky. Jakou orientaci bude mít střílka kompasu umístěného v bodě A (tmavší část střílky míří v zemském mag. poli k severu)?



- a)
- b)
- c)
- d)
- e) jiná možnost

Zdůvodnění:.....

- 9) Na obrázku je vodič, kterým prochází proud I , umístěn mezi póly dvou magnetů tak, že vektor magnetické indukce je kolmý na vodič.

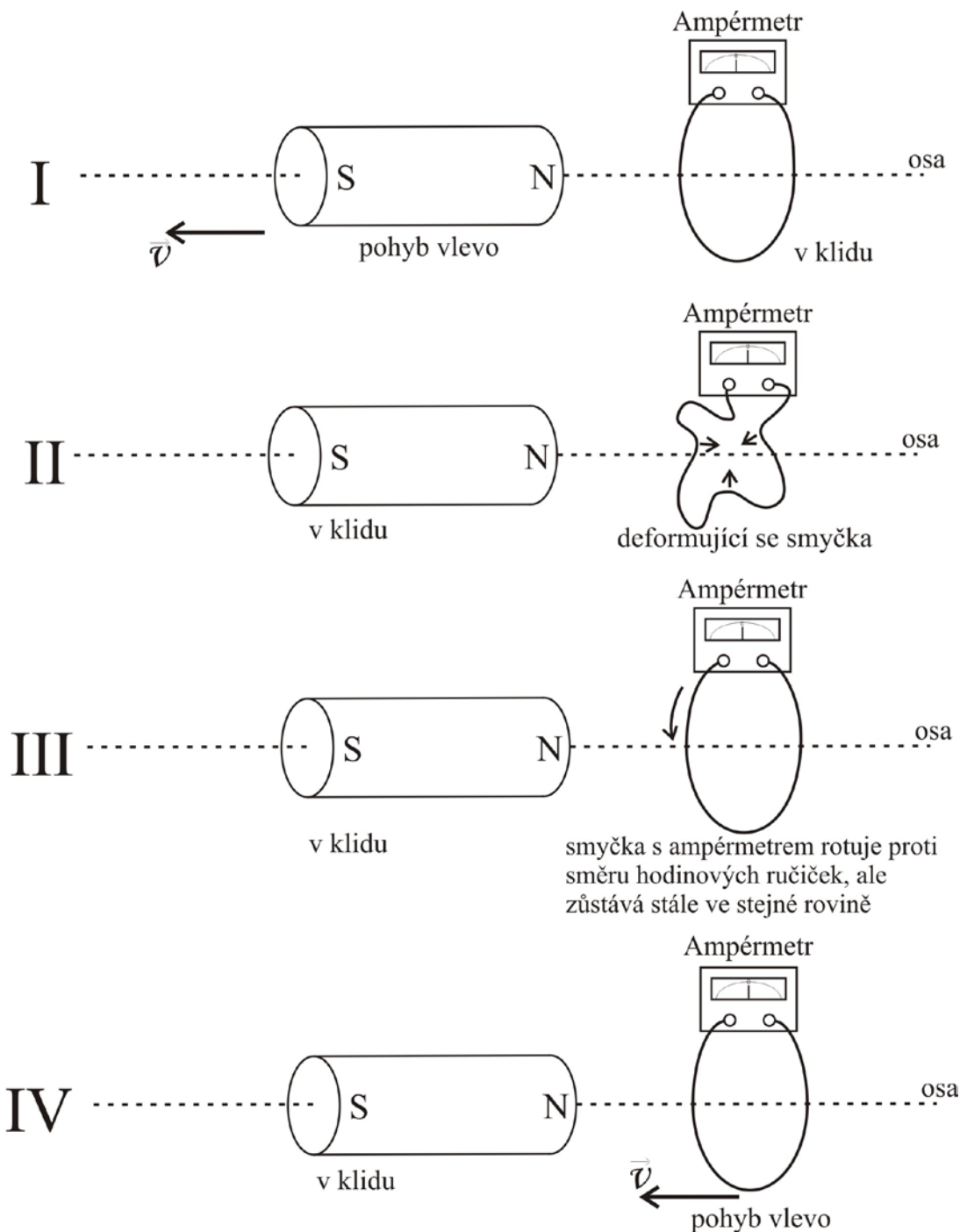


Jaký směr má magnetická síla, která působí na vodič v prostoru mezi magnety?

- a) Ve směru magnetické indukce \vec{B}
- b) Ve směru vodiče
- c) Kolmo na směr magnetické indukce a současně kolmo na vodič
- d) Jiný směr
- e) Žádná síla na vodič nepůsobí

Zdůvodnění:.....

10) Pět obrázků zobrazuje válcový magnet a citlivý ampérmetr připojený ke koncům smyčky z měděného drátu. Rovina smyčky je kolmá k ose magnetu. Zda se magnet nebo smyčka pohybují, je naznačeno v příslušném obrázku – rychlost \vec{v} je znázorněna přímou šipkou, směr otáčení je znázorněn zakřivenou šipkou. V kterém případě ampérmetr ukáže nějakou výchylku od nulové hodnoty proudu?



- a) I, II, IV b) I, III, IV c) I, IV d) IV e) jiná možnost

Zdůvodnění:.....

Příloha B – Metodické materiály

Příloha B1: Rozložení náboje na vodiči a izolantu

Příloha B2: Intenzita a potenciál

Příloha B3: Kapacita a kondenzátor

Příloha B4: Magnetismus

Příloha B1: Rozložení náboje na vodiči a izolantu – metodický text

Studenti v první části hodiny porovnají rozložení náboje na vodiči a izolantu podobných tvarů. Druhá část hodiny je věnována propojení informací o rozložení náboje na nepravidelných vodivých tělesech s vlastní zkušeností studentů týkající se sršení náboje a Faradayovy klece.

Téma je koncipováno na 1-2 vyučovací hodiny, dle zájmu studentů.

Cíle hodiny:

- Student porovná rozložení náboje na vodiči a izolantu.
- Student na příkladech z praxe popíše rozložení náboje na vodičích různých tvarů a důsledky tohoto rozložení pro dané praktické aplikace.

Předpokládám, že studenti znají základní vlastnosti elektrického náboje a viděli několik pokusů, ve kterých byla použita nabitá plechovka a alobalový lístek.

1) Rozložení náboje na vodiči a izolantu

Pomůcky: Plechovka na izolační podložce, kanalizační trubka, flanel a tyč, několik alobalových lístků (včetně jednoho na držátku)

U: Během dnešní hodiny se podíváme na to, jak se rozloží náboj na vodiči a srovnáme to s tím, jak se rozloží na izolantu. Začneme tím, co už znáte.

Učitel postaví na stůl plechovku na izolační podložce.

U: Jak se rozloží náboj na této plechovce?

S: Všude na vnější straně.

Učitel nechá někoho ze studentů předvést experiment, kterým toto rozložení ukáže (student pověsí několik lístků na vnější i vnitřní stranu plechovky a ukáže, že se po nabití plechovky zvednou jen lístky z vnější strany).

Pokud studenti experiment ještě neviděli, s velkou pravděpodobností odpoví, že se náboj rozloží „všude“. V tom případě je učitel nechá vymyslet experiment, kterým by tuto hypotézu potvrdili nebo vyvrátili. Studenti snadno přijdou na to, že je na plechovku potřeba umístit několik lístků z vnější i vnitřní strany. Poté někdo ze studentů experiment provede. To, proč se náboj rozloží pouze na vnější straně plechovky, není potřeba zatím komentovat.

Učitel postaví na stůl plastovou kanalizační trubku.¹¹

U: A teď to srovnáme s tím, když nabiju tuto „plastovou plechovku“. Sice to není úplně plechovka, ale pro srovnání nám postačí. Zkuste každý nejdřív odhadnout, jak se chování náboje na plechovce a na plastové trubce liší. Tj. odpovězte si každý sám na následující otázky (pro plechovku i plastovou trubku):

- Když ji na jednom místě nabiju, tak...
- Když ji nabiju na víc místech, tak...
- Když chvíli počkám a pak budu zjišťovat, jestli tam náboj je, tak...

Učitel nechá žákům čas na rozmyšlení a napsání odpovědí, poté je vyzve, aby udělali skupiny po cca 4 a v nich probrali své odpovědi a zkusili je zdůvodnit.

Učitel vyzve jednotlivé skupiny, aby prezentovaly své závěry (vždy po jednotlivých otázkách) a zdůvodnění.

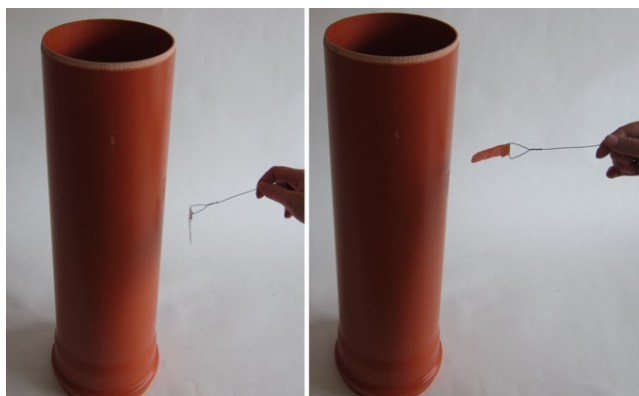
Pozn. Lze očekávat, že odpovědi týkající se plechovky nebudou studentům dělat problémy (mají s ní zkušenost), odpovědi týkající se „plastové plechovky“ bývají pro studenty náročnější. Studenti si musí uvědomit, že náboj se na izolantu nemůže volně pohybovat.

Pokud vznikne ve třídě diskuze nad jednotlivými odpověďmi, může ji učitel nechat chvíli běžet. V každém případě je ale potřeba, aby učitel nebo někdo ze studentů provedl experiment, kterým odpověď na každou ze tří otázek ověří. Závěry je vhodné psát na tabuli.

K ověření rozložení náboje na plastové plechovce je vhodné použít alobalový lístek na držátku (viz obr. B1.1.). Pokud má učitel zatemnění, může ukázat i to, že v nabitém místě blikne doutnavka (bliknutí je ale velmi slabé).

Pozn. Kanalizační trubku je potřeba před experimentem vybit. Jako vhodný způsob se ukázalo ji otřít vlhkým kapesníkem a nechat uschnout.

¹¹ Plastová kanalizační trubka byla zvolena jako vhodný izolant ze dvou důvodů: jednak je tvarem podobná plechovce a jednak není na rozdíl od většiny plastových nádob využívaných v domácnosti antistatická a lze ji proto dobře nabít. Experiment s touto plastovou trubkou je podrobněji popsán v kapitole 5.2.



Obr. B1.1. Alobalový lístek poblíž nenabitého (vlevo) a nabitého (vpravo) místa na kanalizační trubce

Na tabuli postupně vzniká tato tabulka:

	plechovka	kanalizační trubka
Když ji na jednom místě nabiju, tak...	náboj se rozloží po celém vnějším povrchu.	náboj zůstane v místě nabití.
Když ji nabiju na více místech, tak...	náboj se rozloží po celém vnějším povrchu, je jedno, na kolika místech ji nabím.	náboj zůstane pouze na místech nabití.
Když chvíli počkám a pak budu zjišťovat, jestli tam náboj je, tak...	náboj bude stále na celém vnějším povrchu.	náboj bude pořád pouze v místech nabití, nikam dál se nerozloží.

Po provedení experimentů není pro studenty problém formulovat závěr, že na plechovce se náboj rozloží všude po vnějším povrchu (bez ohledu na to, kolikrát a na kterých místech plechovku nabijeme). Naopak na „plastové plechovce“ zůstane náboj vždy pouze v místě nabití. Je vhodné, aby se ve zdůvodnění experimentů objevilo, že náboj se na izolantu nemůže pohybovat – zůstane pouze tam, kde je izolant nabit. Studenti by si měli uvědomit i jiné případy, odkud znají nabití izolantu – nabití plastové tyče, brčka apod. Měli by si propojit, že i v těchto případech náboj na tyči zůstane a „nikam se nevypaří“.

Poté učitel nechá žáky, aby se vrátili ke svým odhadům a zamysleli se nad tím, které odpovědi měli dobře, a případně, jak během hledání odpovědi uvažovali.

2) Rozložení náboje na vodičích různých tvarů

Pomůcky: pracovní list (seznam výroků), elektrostatický větrník, zdroj vysokého napětí, případně ukázka Faradayovy klece.

Učitel rozdává studentům pracovní list se seznamem výroků (viz příloha k metodice) a nechá jim čas se nad jednotlivými výroky zamyslet. Studenti by v každé popsané situaci měli najít vodivé těleso a podle jejich tvaru je rozdělit na dvě skupiny – „dutiny“ a „hroty“.

Seznam výroků:

- a) Ve výtahu má mobilní telefon špatný signál.
- b) Za vlhka je od vedení vysokého napětí slyšet „sršení“.
- c) Blesk udeří spíše do hromosvodu než do střechy, protože hromosvod je tenký drát a končí výš než střecha.
- d) Řidiči ve stojícím autě se za bouřky nic nestane, ani když do auta udeří blesk.
- e) Za bouřky je větší pravděpodobnost, že blesk udeří do osamělého stromu na poli než do stromu uprostřed lesa.
- f) Z mikrovlnné trouby se nedostane ven mikrovlnné záření, protože je kovová a v okénku má kovovou síť.

Učitel nechá studentům čas na samostatnou práci (úkoly 1 a 2 v pracovním listu), poté se studenti rozdělí do skupin po cca 4 a své závěry diskutují se spolužáky (úkoly 3, 4 a 5).

Jednotlivé skupiny poté popíší, jak výroky rozdělily a jak jednotlivé skupiny nazvaly. Studenti by měli dospět k tomu, že do skupiny „dutiny“ (je samozřejmě možné, že ji nazvou jinak) patří výroky a, d, f. Naopak do skupiny „hroty“ patří výroky b, c, e.

Studenti mohou jmenovat vlastní zkušenosti, kdy se s popsányými nebo dalšími podobnými situacemi setkali.

Učitel poté se studenty diskutuje rozložení náboje na vodičích různých tvarů:

Na pravidelném kulovém dutém vodiči (náboj se rozloží pravidelně po vnějším povrchu)

Studenti by měli vlastními slovy vysvětlit, proč se náboj nerozloží i vevnitř dutiny. Pokud mají o náboji a jeho vlastnostech dostatečnou představu, mohou situaci popsat slovy ve smyslu

„náboje se odpuzují, proto se budou snažit se od sebe dostat, co nejdál to jde – uvnitř by byly zbytečně blízko“. Učitel může tuto představu poté zpřesnit.

Učitel poté představu zobecní i pro libovolnou nepravidelnou dutinu a sdělí studentům, že se taková dutina označuje jako Faradayova klec a spolu se studenty uvede další příklady, kdy se s tím, že v dutině není elektrické pole, mohou setkat. Mezi příklady může být například plechovka (uvnitř plechovky se také nerozloží náboj)¹², špatný mobilní signál v některých moderních kancelářských budovách apod. (dle zkušeností studentů). Má-li učitel Van de Graffův generátor, je vhodné se studenty diskutovat jeho princip – náboj se z pásu přesouvá do dutiny, odkud se přemisťuje na vnější stranu koule; do dutiny lze tak přenášet stále další náboj, aniž by se vyrovnal potenciál.

Učitel může studentům také ukázat video s člověkem zavřeným uvnitř auta, do kterého udeří výboj z Teslova transformátoru (vhodná videa lze najít např. na stránkách laboratoře vysokého napětí EGU HV laboratory [B1.1]).

Pozn. Je pravda, že slabý signál ve výtazích a železobetonových kancelářských budovách a záření, které nevychází z mikrovlnné trouby kvůli kovovým stěnám (a kovové mřížce zepředu), se zdaleka netýká jen elektrostatiky. Stále se ale jedná o princip Faradayovy klece a ten je vhodné studentům ilustrovat na příkladech, se kterými se setkávají. Pokud se na to studenti zeptají, učitel by jim samozřejmě měl použití těchto příkladů zdůvodnit, jinak není na této úrovni potřeba to, že se jedná o elektromagnetické pole resp. o elektromagnetické záření, zpřesňovat. Učitel se k tomu může vrátit při výuce elektromagnetismu případně elektromagnetického vlnění.

Na hrotech

Učitel zavede pojem „plošná hustota náboje“ jako podíl náboje a plochy. Poté pomocí obrázku studentům vysvětlí, že na hrotech je větší plošná hustota náboje, protože hrot je „v průměru nejdál“ od všech ostatních nábojů rozložených na povrchu tělesa. Vzhledem k tomu je na hrotech také největší elektrická intenzita. Učitel studentům sdělí označení „sršení náboje z hrotu“ a ukáže některé experimenty, kde k sršení dochází – elektrický větrníček, sršení náboje k plamenu svíčky apod., sršení z hrotu van de Graaffova generátoru apod.

¹² Je vhodné, aby učitel upřesnil, že vzhledem k tomu, že plechovka je z jedné strany otevřená, část náboje bude i na její vnitřní straně.

Nemá-li učitel k dispozici pomůcky k provedení experimentů naživo, může žákům sršení náboje z hrotu ukázat alespoň ve formě videa (viz [B1.2]).

Studenti mohou diskutovat vlastní zkušenosti se sršením z hrotu, učitel může případně připomenout známou poučku týkající se chování v otevřeném prostoru za bouřky – je lepší si lehnout a „nevyčuhovat“ nad okolní terén.

[B1.1] EGU – HV Laboratory, a.s. [online]. Dostupné na: <http://www.egu-vvn.cz/cs/>

[B1.2] Sršení v okolí hrotu. [online]. Dostupné na: <http://fyzikalnipokusy.cz/759/srseni-v-okoli-hrotu>

Rozložení náboje na vodičích různých tvarů

pracovní list

1) Zamyslete se nad následujícími výroky. Máte s některým z nich vlastní zkušenost?

- Ve výtahu má mobilní telefon špatný signál.
- Za vlhka je od sloupů vysokého napětí slyšet „sršení“.
- Blesk udeří spíš do hromosvodu než do střechy, protože hromosvod je tenký drát a končí výš než střecha.
- Řidiči ve stojícím autě se za bouřky nic nestane, ani když do auta udeří blesk.
- Za bouřky je větší pravděpodobnost, že blesk udeří do osamělého stromu na poli, než do stromu uprostřed lesa.
- Z mikrovlnné trouby se nedostane ven mikrovlnné záření, protože je kovová a v okénku má kovovou síť.

2) Rozdělte výroky do dvou skupin tak, jak si myslíte, že k sobě patří z hlediska tvaru příslušného vodivého tělesa.

skupina 1:

skupina 2:

3) Se spolužáky ve skupině si porovnejte, jak jste příklady rozdělili. Pokud jste se na nějakém rozdělení výroků shodli, napište si ho.

skupina 1:

skupina 2:

Zkuste typický tvar vodiče v každé skupině nějak pojmenovat.

4) Pokud vás napadají nějaké další příklady, které by se vám hodily do jedné nebo druhé skupiny, dopište si je jinou barvou.

5) Napadají vás nějaké související otázky? Napište si je.

Příloha B2: Intenzita a potenciál – metodický text

Tématický celek je koncipován na 3-4 vyučovací hodiny. Studenti v první hodině zkoumají analogii mezi gravitačním a elektrickým polem, v 2. a 3. hodině je odvozen a procvičen vztah pro intenzitu elektrického pole v okolí bodového náboje a pro potenciál v okolí bodového náboje. Součástí 3. hodiny je i diskuze týkající se limitů analogie. 4. hodinu lze věnovat procvičování výpočtů případně dalším navazujícím aktivitám.

Tématický celek navazuje na téma Coulombův zákon, který už by studenti měli znát.

Cíle tematického bloku:

- Student porovná gravitační a elektrické pole z hlediska jejich grafického zobrazení
- Student vysvětlí pojmy intenzita a potenciál elektrického pole pomocí analogie s gravitačním polem
- Student samostatně nakreslí siločáry a ekvipotenciální čáry elektrického pole v okolí bodového náboje a homogenního pole
- Student počítá typové úlohy týkající se intenzity a potenciálu v okolí bodového náboje případně několika bodových nábojů

Pomůcky:

úvodní pracovní list (viz závěr metodiky), obrázky elektrického pole, počítač s připraveným apletem (viz <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/elmag/html/aplety/elmag1.html>), kulička (případně model kopce, má-li ho učitel k dispozici), případně pracovní list na navazující aktivitu „Mravenec v elektrickém poli“

1. hodina

U: V rámci dnešní hodiny byste měli pochopit dva pojmy, pomocí kterých se popisuje elektrické pole okolo nábojů. K tomu, abyste tomu snáz porozuměli, začneme od toho, co znáte – od mapy. Udělejte si skupiny po přibližně čtyřech, vezměte si pracovní listy a splňte úkoly, které jsou napsané na první straně. Na druhou stranu zatím papír neatáčejte.

Učitel rozdá studentům pracovní listy (viz závěr metodiky) a nechá jim čas na vyplnění. Poté společně se žáky shrne správné odpovědi. Ve shrnutí by se mělo objevit (tyto závěry může učitel psát na tabuli):

- vrstevnice je čára, která spojuje místa se stejnou nadmořskou výškou

- výška kopce je rozdíl mezi nadmořskou výškou vrcholu a nadmořskou výškou pod kopcem
- strmost kopce lze poznat podle hustoty vrstevnic
- vrstevnice a spádnice jsou na sebe kolmé

Poté učitel studenty požádá, aby vyplnili druhou stranu pracovního listu (část B). Studenti snadno dojdou k tomu, že je „vrstevnice“ a spádnice“ jsou na sebe kolmé, že lze stejně jako u mapy určit „strmost“, ale nelze poznat, zda se jedná o „kopec“ nebo „údolí“.

Učitel jim po společném shrnutí odpovědí ukáže reálný obrázek na apletu a sdělí jim, že tentokrát nešlo o mapu, ale o elektrické pole.

Poté spolu se studenty vyplní tabulku na konci pracovního listu – sdělí jim, jak se veličinám, které znají z gravitačního pole, říká při popisu elektrického pole.

Tab. B2.1: Analogie mezi gravitačním a elektrickým polem

A) mapa – gravitační pole	B) obrázek – elektrické pole
nadmořská výška ¹³	potenciál
vrstevnice	ekvipotenciální čára (hladina)
rozdíl nadmořských výšek = výška kopce	rozdíl potenciálů = napětí
strmost kopce	intenzita elektrického pole
spádnice	elektrická siločára

Učitel studentům sdělí, že dohodou míří elektrické intenzita od kladného náboje k zápornému, tj. že v této analogii je kladný náboj „kopec“.

Učitel studentům sdělí značky a jednotky intenzity a potenciálu: studenti znají jednotku napětí, z toho snadno přijdou na to, že potenciál má stejnou jednotku. Pokud studenti definovali strmost kopce ve smyslu „kolik vrstevnic musím projít, než ujdou metr“¹⁴, nemají

¹³ Fyzikálně přesnější analogií potenciálu je v tíhovém poli nadmořská výška násobená tíhovým zrychlením. Vzhledem k tomu, že v popisované analogii jde o kvalitativní budování nového konceptu, je pro větší srozumitelnost pro studenty tíhové zrychlení vynecháno.

¹⁴ Přesnější formulace by měla znít „Kolik metrů nastoupám, než ujdou metr ve vodorovném směru“, ale pro jednoduchost a větší názornost je vhodné nechat takovou formulaci, kterou formulují žáci a to i přesto, že není do všech detailů přesná.

problém s pochopením intenzity elektrického pole ve smyslu „kolik ekvipotenciálních čar musím projít na metru vzdálenosti“ a nedělá jim tak problém ani jednotka intenzity V/m.

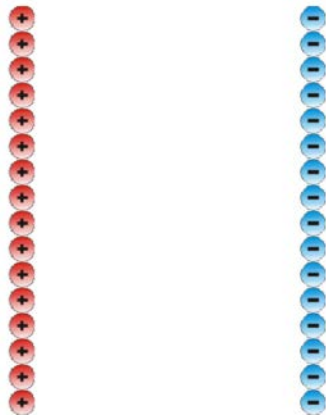
2. hodina

Učitel se studenty na začátku hodiny zopakuje závěry z předchozí hodiny – studenti by si měli připomenout, že elektrické pole lze popsat dvěma veličinami, z nich jedna odpovídá „strmosti kopce“, druhá „nadmořské výšce“.

Poté učitel studentům ukáže několik obrázků se zobrazením elektrického pole pomocí vektorů intenzity nebo ekvipotenciálních čar. Studenti samostatně určují, kde jsou umístěny náboje a jaké mají znaménko (u zobrazení ekvipotenciálních čar samozřejmě nelze poznat polaritu náboje, v tom případě učitel náboj jednoho znaménka studentům sdělí). Příklady obrázků jsou na konci této metodiky, ale učitel si může snadno vytvořit vlastní.

U: A teď to zkuste obráceně – nakreslete každý sám, jak bude vypadat pole:

- okolo jednoho kladného náboje
- okolo jednoho záporného náboje
- okolo dvou řádků opačných nábojů (učitel nakreslí zadání na tabuli nebo ho promítne z apletu, viz obr. B2.1). Kdo bude mít nakresleno, může si zkontrolovat své řešení se sousedem.



Obr. B2.1. Pole mezi dvěma řadami opačných nábojů (homogenní pole)

Pole okolo jednoho náboje by mělo být pro studenty velmi jednoduché, pokud porozuměli analogii s gravitačním polem, zvládnou samostatně i poslední obrázek. Učitel jim poté sdělí, že se tomuto poli říká homogenní a poli okolo jednoho náboje se říká radiální. Může jim připomenout i téma Pohyby v homogenním a centrálním gravitačním poli z mechaniky.

U: A teď pojdme odvodit, jak intenzitu a potenciál okolo jednoho náboje spočítat i kvantitativně. Začneme tou intenzitou. Představte si, že stojíte na kopci a chcete porovnat, jak je strmý na dvou různých místech.

Ž: Tak se podívám a vidím...

U: Souhlasím a je pravda, že to je na kopci nejjednodušší. Ale vzhledem k tomu, že nemáme „oko“ pro elektrické pole, zamyslete se nad nějakou jinou metodou, jak určit strmost kopce, tak, aby to šlo potom převést do elektrického pole. Napište si každý, co vás napadá.

Učitel nechá žákům čas na rozmyšlení, poté je vyzve, aby své nápady říkali. Mezi nápady se mimo jiné může objevit např.:

- zapíchnu tyč a změřím úhel mezi tyčí a kopcem
- pustím kuličku a zjistím, jak rychle se kutálí
- ...

Učitel všechny nápady pochválí, a sdělí studentům, že běžně se používá metoda pomocí kuličky, jen je potřeba ji zpřesnit. Učitel poté dovede studenty k tomu, že kulička se pohybuje zrychleně a tedy není vhodné měřit její rychlost (ta se mění), ale spíše zrychlení. Poté jim sdělí, že se v praxi používá měření síly, protože se v elektrickém poli měří snáz než zrychlení. Potom učitel studenty nechá popsat, jak bude experiment vypadat v elektrickém poli – místo kuličky bude malý náboj a budeme měřit, jak velkou silou na něj působí ten náboj, který je „na vrcholu kopce“. Z této analogie studenti snadno uvidí definici elektrické intenzity jako síly, která působí na malý testovací náboj. Lze tedy pomocí Coulombova zákona odvodit definiční vztah:

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$$

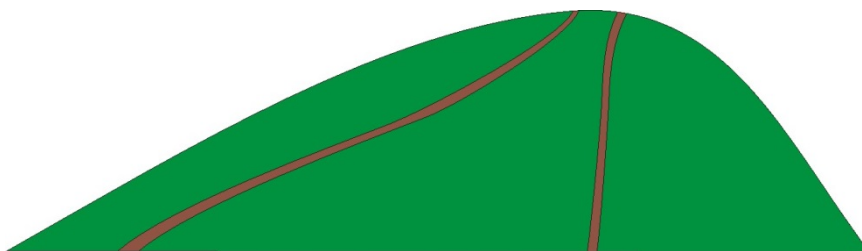
Současně lze studentům z tohoto definičního vztahu ukázat i druhou jednotku intenzity N/C. Následně by studenti měli s tímto vztahem pracovat – jednak by měli vyřešit několik úloh, na kterých by jim měl učitel mimo jiné ukázat i princip superpozice; jednak by ale vztahu měli porozumět i kvalitativně – měli by si uvědomit, že intenzita klesá s druhou mocnou vzdálenosti, jak se výpočet změní, pokud se zvětší/zmenší náboj, jaký bude směr vektoru intenzity v daném místě v elektrickém poli tvořeném jedním i dvěma náboji (jak se vektory v daném místě sčítají).

3. hodina

U: V dnešní hodině budeme mluvit o tom, jak určit potenciál elektrického pole i kvantitativně. Připomeňte si nejdřív, čemu odpovídá potenciál a intenzita v gravitačním poli.

Ž: Potenciál je nadmožská výška, intenzita je strmost toho kopce.

U: Souhlasím. Představte si tedy například takovýto kopec (učitel kreslí na tabuli, viz např. obr. B2.2). Pro jednoduchost si představme, že kopec začíná na hladině moře a můžeme tedy nadmožskou výšku brát rovnu výšce kopce. Na vrchol tohoto kopce se lze dostat různými cestami – lze si vybrat krátkou cestu, která je ale velmi strmá, nebo pozvolnou cestu, která je ale mnohem delší. Zdá se tedy, že strmost kopce a nadmožská výška spolu souvisí. Souvislost je ale bohužel složitější, než jsme schopni matematicky odvodit.



Obr. B2.2. Ke vztahu mezi potenciálem a intenzitou – kopec se dvěma různě strmými cestami

Poté učitel žákům sdělí vztah pro potenciál bodového náboje.

$$\varphi = k \frac{Q}{r}$$

Jako spíše mnemotechnickou pomůcku může učitel žákům sdělit i to, že to vypadá, jako by potenciál byl součinem intenzity a vzdálenosti, že fyzikálně je to o něco složitější.

Poznámka: Výše popsaná analogie není matematicky zdaleka přesná – „vzdálenost“ by měla být vodorovná vzdálenost, „strmost“ je definována velmi vágně. Analogie je tak vhodná spíše pro představu a pro uvědomění si toho, že mezi potenciálem a intenzitou je nějaký vztah. Nelze ji chápat jako matematicky přesnou. Na druhou stranu, pokud si je učitel vědom jejích omezení, může studentům analogie pomoci k porozumění a zapamatování vztahu pro potenciál. Učitel může studentům popsat i obvyklejší odvození potenciálu z potenciální energie, ale podle mé zkušenosti je pro studenty pojem potenciální energie v elektrickém poli velmi špatně pochopitelný.

Poté by studenti opět měli s tímto vztahem pracovat – měli by si jednak kvalitativně uvědomit, že potenciál klesá se vzdáleností nepřímo úměrně, ale i spočítat několik úloh týkajících se potenciálu v okolí jednoho i více bodových nábojů (ve kterých by si měli mimo jiné uvědomit, že potenciál je na rozdíl od elektrické intenzity skalární veličina).

Učitel může současně okomentovat i to, proč lze postavit v analogii kopec na hladinu moře – nulovou hladinu potenciálu lze zvolit dle potřeby. Měl by ale i studentům sdělit, že obvykle se volí v nekonečnu.

U: V předchozích hodinách jsme definovali dvě veličiny na základě analogie s gravitačním polem. Jako každá analogie i tato má své meze a je v některých věcech nepřesná. Zkuste se teď každý sám zamyslet, v čem tato analogie neodpovídá.

Učitel poté nechá studentům čas, případně je může nechat o problému diskutovat ve dvojici. Mezi věcmi, ve kterých analogie neseďí, by se mělo určitě objevit (pokud na to studenti nepřijdou sami, učitel jejich nápady doplní):

- v elektrickém poli jsou dva druhy náboje – kladné a záporné
- nulový potenciál se obvykle stanovuje v nekonečnu, na rozdíl od nadmořské výšky
- „strmost“ nebyla v analogii nijak přesně definovaná

Na závěr by studenti měli udělat reflexi, např. tím, že si odpoví na následující otázky:

- Jaké tři nejdůležitější informace jsem si z toho odnesl(a)?
- Čemu z toho ještě úplně nerozumím?
- Jaké otázky mi k tomuto tématu ještě běží hlavou, co bych se ještě chtěl(a) dozvědět?

Je vhodné, aby si studenti na dané otázky odpověděli nejdřív samostatně, poté o nic mohou diskutovat ve dvojicích. Pokud z reflexe vyplyne nějaký problém, kterému student nerozumí, měl by učitel nechat dostatek prostoru na jeho vyřešení – buď mezi studenty samotnými, nebo ve spolupráci s učitelem.

Navazující aktivita „Mravenec v elektrickém poli“

Lze ji zařadit do některé z následujících hodin, případně zadat studentům její vyřešení jako dobrovolný domácí úkol (hlavně pro ty, kteří mají pocit, že pojmům potenciál a intenzita ještě zcela nerozumí). Pracovní list k této aktivitě je zařazen na konec metodiky.

Učitel studentům rozdá několik obrázků elektrického pole zobrazeného pomocí intenzity a potenciálu a texty, které pole popisují z pohledu „elektrického mravence“ stojícího uvnitř pole v daném místě. Studenti mají za úkol:

- přiřadit k jednotlivým textům pole, které mravenec popisuje (k jednomu obrázku mohou patřit dvě pole);
- přiřadit, ve kterých textech „mravenec“ popisuje pole z pohledu potenciálu a ve kterých z pohledu intenzity elektrického pole.

Aktivitu lze rozšířit, např.:

- Studenti mohou stejným způsobem pospat další obrázky (ať už některé z připravených nebo vlastní vyrobené na apletu), případně jiné místo na některém popsaném obrázku.
- Studenti mohou podle textu nakreslit vlastní odpovídající obrázek.

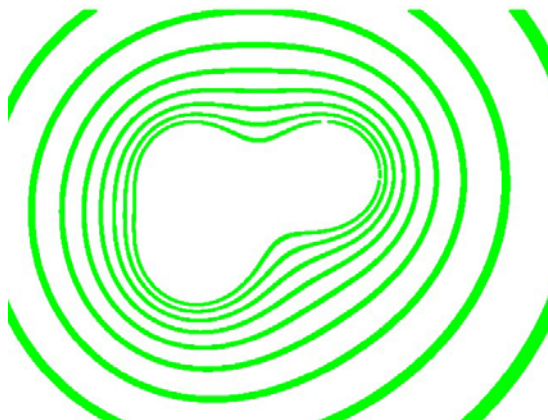
Pracovní list k aktivitě je k dispozici na konci metodického materiálu.

Technické poznámky k využívanému apletu

Aplet, který je použit pro zobrazení elektrické intenzity a potenciálu okolo bodových nábojů, je umístěn na adrese <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/elmag/html/aplety/elmag1.html>. Jeho autorem je Mgr. Pavel Böhm. Intenzitu i potenciál aplet počítá (z tohoto důvodu může vykreslení ekvipotenciálních hladin trvat několik sekund). Náboje lze samozřejmě volit kladné i záporné, lze také měnit jejich velikost (odkaz „nastavení náboje“ po kliknutí pravým tlačítkem na náboj). V metodice popsané výše se velmi osvědčila možnost uložení a zpětné načtení dané konfigurace – učitel si tak může obrázky předem připravit, uložit si příslušné konfigurace do souboru a v hodině je jen postupně načíst (to je obzvláště vhodné u zobrazení homogenního elektrického pole, jehož skládání z jednotlivých nábojů pochopitelně chvíli trvá). U následujících ukázek použitých obrázků jsou tak přímo vloženy i příslušné konfigurace.

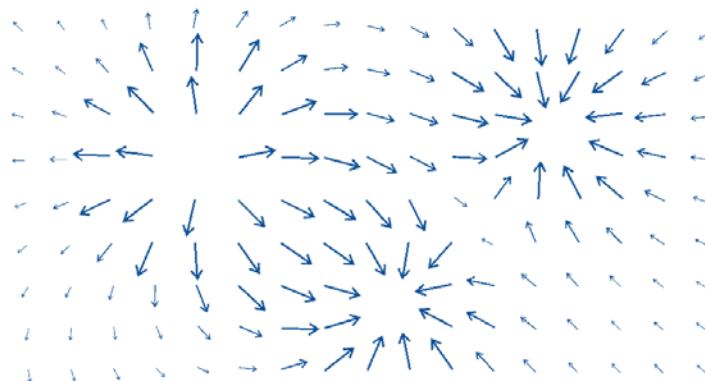
Obrázky z apletu použité v metodice

1) *Elektrické pole v úvodním pracovním listu, který se týká analogie mezi gravitačním a elektrickým polem (obrázek je oproti originálu zmenšený)*



(Konfigurace: 464.85|175.3|70|308.15|170.7|50|316.05|259.95|70|)

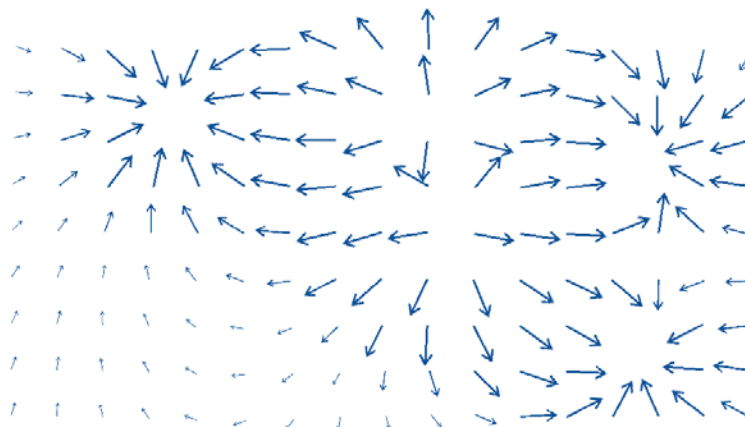
2) *Zobrazení elektrické intenzity a ekvipotenciálních hladin použité v úvodu 2. hodiny. Studenti určují, kde jsou umístěné náboje a jaké mají znaménko:*



(konfigurace: 211.3|208.7|100|426.95|369.2|-100|614.35|157.9|-100|)

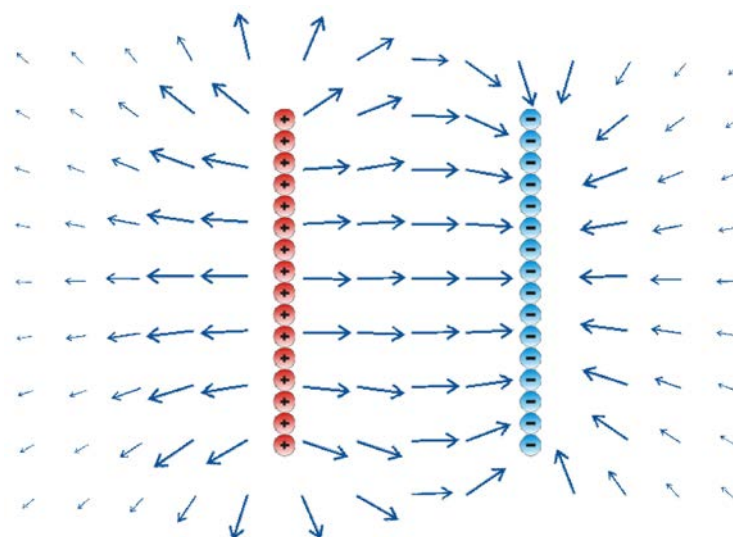


(konfigurace: 368.55|277.8|100|402.45|111.85|-100|672.45|336.85|-
100|150.4|413.7|100|)



(konfigurace: 482.4|247.05|100|176.95|114.55|-100|694.3|163.8|-
100|453|120|100|675|398|-100|)

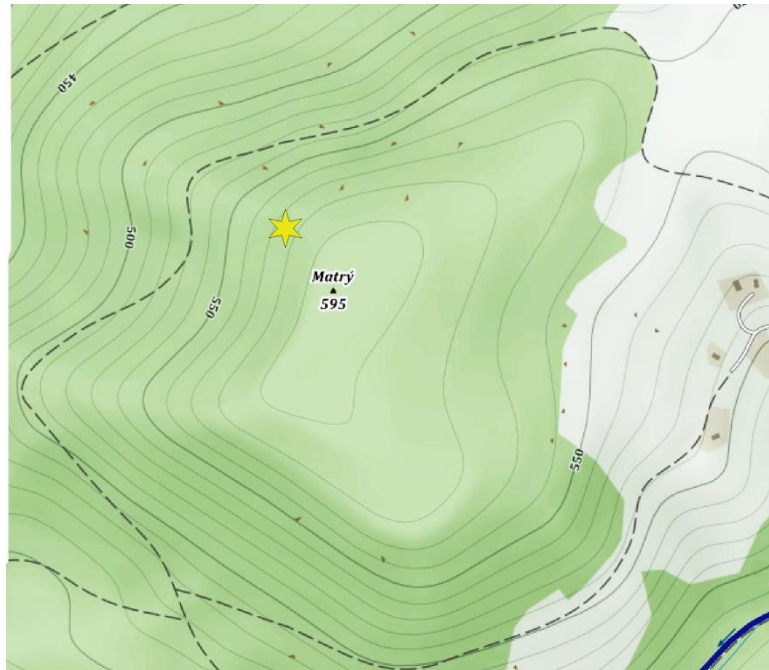
3) Homogenní elektrické pole:



(konfigurace:
283|385|10|283|365|10|283|345|10|283|285|10|283|305|10|283|325|10|283|265|10
|283|245|10|283|225|10|283|165|10|283|185|10|283|205|10|283|145|10|283|125|1
0|283|105|10|283|405|10|510|385|-10|510|365|-10|510|345|-10|510|285|-
10|510|305|-10|510|325|-10|510|265|-10|510|245|-10|510|225|-10|510|165|-
10|510|185|-10|510|205|-10|510|145|-10|510|125|-10|510|105|-10|510|405|-10|)

Pracovní list – analogie elektrického a gravitačního pole

A) Pracujte s mapou kopce v Českém středohoří:



- 1) Vyznačte na mapě jednu z vrstevnic. Zformulujte, co to je vrstevnice – jaká místa spojuje?

- 2) Jaká je výška kopce? Jak se to dá z mapy určit?

- 3) Najděte a vyznačte místa, kde je kopec hodně strmý a naopak místa, kde je spíše pozvolný. Jak se takové místo na mapě pozná?

- 4) V místě označeném žlutou hvězdičkou vyznačte nejstrmější směr (tzv. spádnici). Jaký je vztah mezi vrstevnicemi a touto spádnicí?

B) Pracujte s následujícím obrázkem:



- 1) Vyznačte na obrázku jednu z „vrstevnic“ a nějakou spádnicí. Jaký je mezi nimi vztah?
- 2) Vyznačte na obrázku místo, kde je velká strmost, a naopak místo, kde je strmost poměrně malá.
- 3) Pozná se z obrázku, zda se jedná o „kopec“ nebo o „údolí“? Jak?

Závěr:

A) mapa – gravitační pole	B) obrázek – elektrické pole
nadmořská výška	
vrstevnice	
rozdíl nadmořských výšek – výška kopce	
strmost kopce	
spádnice	

„Mravenec v elektrickém poli“

Představ si „elektrického mravence“, který stojí v elektrickém poli a popisuje, co vidí. Z následujících textů urči:

- které pole daný text popisuje (jeden obrázek mohou popisovat i dva texty)
- ve kterých textech mravenec mluví o intenzitě elektrického pole a ve kterých o potenciálu

Text 1:

Vlevo před sebou vidím vysoký kopec, vpravo podlouhlé hluboké údolí. Stojím přibližně v polovině výšky mezi nimi. Kdybych šel rovně, půjdu skoro po rovině. Kdybych šel doprava dozadu a včas zatočil, obešel bych to údolí napravo a přitom šel v podstatě po rovině.

Text 2:

Stojím na planině v nejnižším místě pole. Okolo mě jsou všude kopce, všechny vypadají přibližně stejně vysoké.

Text 3:

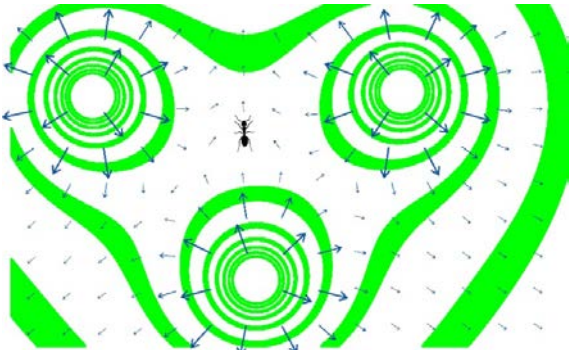
Přijdu si, jako kdybych se díval do čím dál strmějšího trychtýře – napravo přede mnou svah strmě padá dolů. Za mnou je svah poměrně pozvolný.

Text 4:

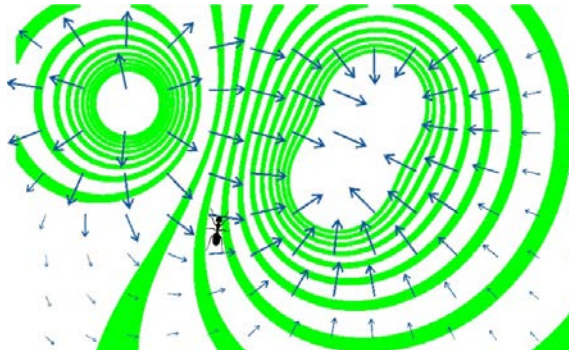
Stojím ve svahu, ten nalevo ode mě stoupá pozvolně nahoru, ale o kousek dál vidím, že začne stoupat mnohem strměji. Vpravo přede mnou svah naopak klesá poměrně strmě dolů. Kdybych šel kousek rovně, dostanu se do místa, kde nalevo ode mě svah velmi strmě stoupá a naopak napravo padá velmi strmě dolů.

Text 5:

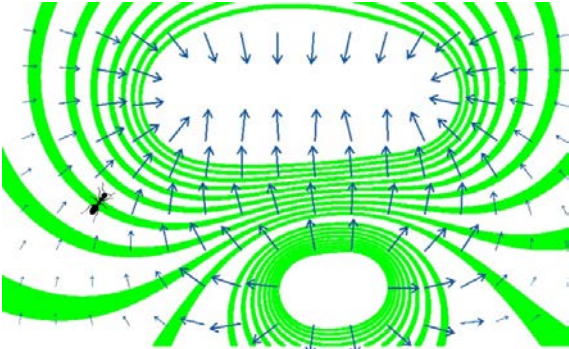
Stojím na nejvyšším místě pole, na podlouhlé náhorní planině. Nalevo i napravo ode mě je údolí. Pokud půjdu rovně dopředu nebo dozadu, půjdu kousek rovně a potom přede mnou bude nízký kopec.



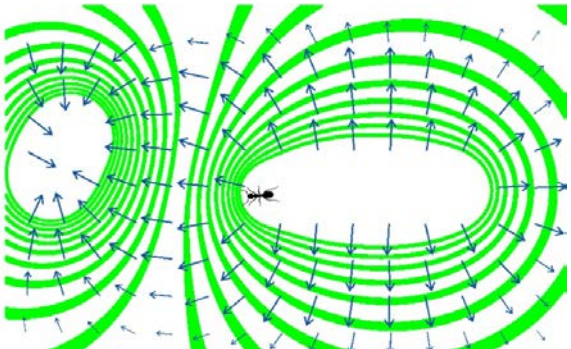
A)



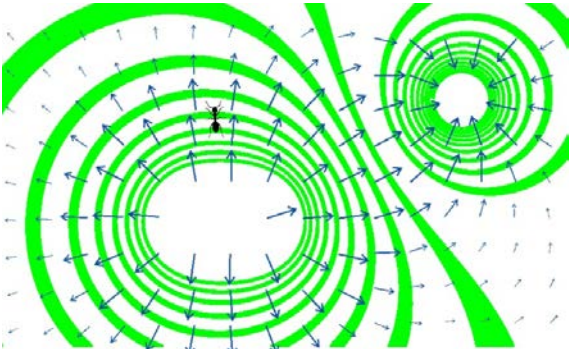
B)



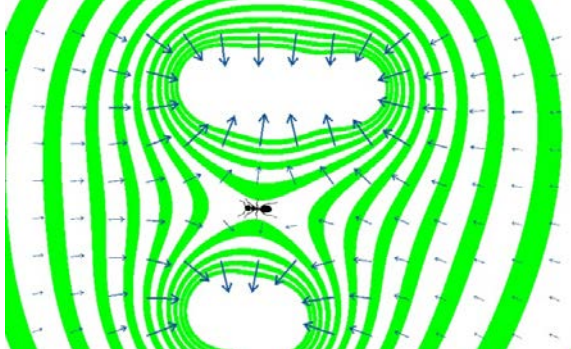
C)



D)



E)



F)

Příloha B3: Kapacita, kondenzátor – metodický text

Téma je koncipováno na 1-2 vyučovací hodiny – výukový celek lze buď zařadit na jednu vyučovací hodinu s demonstračními experimenty učitele, nebo je možné nechat studenty experimenty provádět skupinově. V tom případě je potřeba počítat dvě hodiny. Další možností je zařadit za výukový celek laboratorní práce, ve kterých si studenti experimenty vyzkouší. Námět na možnou laboratorní práci je k dispozici v příloze C2.

Studenti mají během výuky možnost porozumět pojmu kapacita vodiče a tomu, jak je obecně uspořádán kondenzátor. Současně mají možnost si ověřit, že kondenzátor je součástka určena k uskladnění náboje a sami si některé typy kondenzátoru sestaví.

Předpokládám, že studenti znají pojem potenciál elektrického pole a viděli několik experimentů s nabitou plechovkou.

Cíle hodiny:

- Student má možnost získat představu a vlastními slovy vyjádřit, co je kapacita vodiče (plechovky).
- Student porovná velikost náboje na samotném vodiči (plechovce) a v kondenzátoru.
- Student formuluje hypotézy, na čem závisí kapacita kondenzátoru, tyto hypotézy ověří (ve skupině nebo ve spolupráci s učitelem).
- Student srovná konstrukci reálného kondenzátoru (svitkového, Leydenských lahví) s konstrukcí modelového kondenzátoru vyrobeného učitelem.

Poznámka: Autorem experimentu s kapacitou různě velkých plechovek a s kondenzátorem z kelímků je L. Dvořák, experiment je publikován v [1]. Podrobné měření kapacity deskového kondenzátoru je publikováno v [1].

Pomůcky:

dvě různě velké plechovky na izolační podložce, vodiče, měřič kapacity (pro skupinovou práci lépe několik), vysokonapěťový zdroj, plastové kelímky o objemu cca 0,3 l, alobal, svitkový kondenzátor, větší kniha

1) Zavedení pojmu kapacita vodiče

U: Během dnešní hodiny zavedeme novou veličinu a podíváme se na jednu součástku, kterou máte určitě všichni například ve svých mobilních telefonech.

Učitel na katedru postaví na polystyrenovou desku dvě různě velké plechovky spojené vodičem (tak, aby šel vodič snadno odstranit bez vybití plechovek). Jednu z plechovek nabije z indukční elektriky nebo jiného vysokonapěťového zdroje.

U: Vidíte tu dvě plechovky, které jsou vodivě spojené. Co můžeme určitě říct o tom, jak to na nich bude vypadat s elektrickým polem, až je nabijí?

S: Bude na nich stejný potenciál.

U: Máš pravdu, ale zkus to zdůvodnit.

S: Tak jsou spojené, takže kdyby tam stejný potenciál nebyl, tak se vyrovná...

Pokud studentům není vysvětlení jasné nebo je nenapadne, že je na obou plechovkách stejný potenciál, učitel je k tomu dovede pomocí návodných otázek. Může případně připomenout analogii s tíhovým polem (viz metodický materiál Intenzita a potenciál).

Učitel poté obě plechovky nabije vysokonapěťovým zdrojem¹⁵, odstraní vodivé spojení a nechá někoho ze studentů porovnat, která plechovka mu dala „větší ránu“. Student snadno popíše, že větší plechovka ho „kopla víc“ a zdůvodní, že je na ní víc náboje. Mají-li studenti představu o pravidelném rozložení náboje na plechovce, nedělá jim tato představa problém.

Poznámka: Experiment nesmí provádět student se srdeční vadou!

Učitel poté zopakuje závěr: Na větší plechovce je při stejném potenciálu víc náboje. (Je vhodné, aby učitel ve formulaci závěru připomenul nutnost stejného potenciálu, aby ve studentech nebudoval představu kapacity jako „kolik se tam toho vejde“, která je nepřesná a může mít za následek některé miskoncepce (viz kap. 4.1)).

Poté učitel nechá studenty vymýšlet, jak by se tato vlastnost plechovky mohla nazývat. Mezi častými názvy se objevuje např. velikost, povrch,... Pokud se mezi návrhy neobjeví slovo kapacita, učitel ji studentům nabídne sám a nechá je zhodnotit, jestli je pro popis vlastnosti vhodná.

¹⁵ Jako vysokonapěťový zdroj lze použít i indukční elektriku případně „magickou hůlku“ Fun Fly Stick, která má stejný princip jako Van de Graaffův generátor a lze ji koupit v běžných obchodech. V nouzi lze použít i plastovou tyč třenou hadrem.

Učitel poté zavede kapacitu jako veličinu – sdělí studentům její značku, jednotku a nechá je zformulovat její definici: množství náboje, které se do plechovky vejde, když je nabita na daný potenciál. Je vhodné, aby učitel studentům sdělil i definiční vzorec kapacity (plyne přímo ze slovní definice, takže studentům jeho porozumění nedělá problém):

$$C = \frac{Q}{\varphi}. \quad (1)$$

Učitel by měl studentům uvést vztah i v obvyklejší podobě $Q = C \cdot \varphi$ a zdůraznit jim, že C je parametr úměrnosti a není funkcí náboje ani potenciálu. Na druhou stranu, vztah (1) plyne přímo ze slovní definice a je tak pro studenty srozumitelnější.

Jsou-li na to studenti zvyklí, je vhodné, aby jim učitel sdělil i typické hodnoty, které lze u kapacity očekávat.

2) Kapacita plechovky

U: Pojdme teď odhadnout kapacitu větší z těchto dvou plechovek. Pro jednoduchost si představme, že plechovka má přibližně tvar koule a je umístěná ve vakuu (relativní permitivita vzduchu se jen velmi málo liší od jedné). To, co ještě potřebujete vědět, je, že potenciál na povrchu koule se počítá stejně jako potenciál bodového náboje s tím, že r není vzdálenost od bodového náboje, ale poloměr koule.

Studenti poté dosadí do definičního vztahu pro kapacitu:

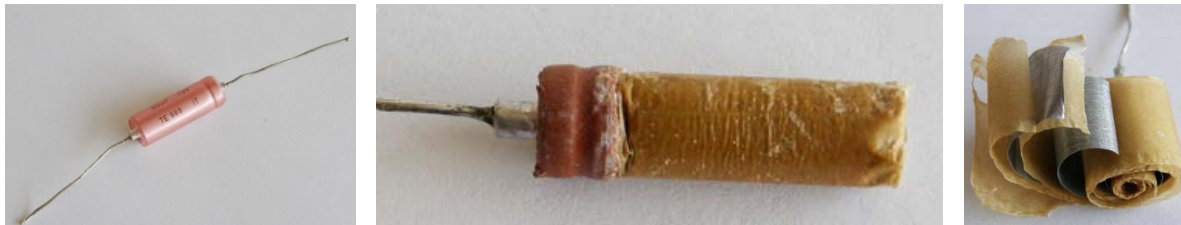
$$C = \frac{Q}{\varphi} = \frac{Q}{\frac{kQ}{r}} = \frac{r}{k} = 4\pi\epsilon_0 r,$$

kde $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ a ϵ_0 je permitivita vakua.

Po číselném dosazení studenti zjistí, že kapacita plechovky je velmi malá (pro větší plechovku o poloměru přibližně 10 cm vychází kapacita $10 \cdot 10^{-12}$ F). Učitel potom může studentům sdělit přibližný odhad – na každý 1 cm poloměru koule připadá přibližně 1 pF kapacity.

Pokud učitel studentům sdělil typické hodnoty, je pravděpodobné, že se někdo ze studentů zeptá, jak se to tedy dělá v praxi. Pokud otázka nepadne, položí ji učitel studentům sám a případně je nechá dopočítat velikost koule o kapacitách typických pro praktické aplikace (studenti triviálně přijdou na to, že koule o poloměru 10 km odpovídající kapacitě 1 μ F není praktická...).

Poté učitel studentům rozdá kondenzátory (otevřené tak, aby šel z kovového pouzdra vyndat samotný vnitřek) a nechá je ve skupinách prozkoumat, jak jsou uspořádané vevnitř. Studenti snadno popíší, že uvnitř jsou kovové plíšky a mezi nimi nějaký mastný papír (viz obr. B3.1).



Obr. B3.1. Původní svitkový kondenzátor (vlevo), po sundání kovového obalu (uprostřed) a po rozbalení (vpravo) – jsou vidět dvě vodivé vrstvy oddělené papírem.

Učitel poté upřesní, že se součástka nazývá kondenzátor a že se vždy skládá ze dvou vodičů (kterým se říká desky) a z izolantu (dielektrika) mezi nimi.

U: Jako vhodný vodič lze použít například alobal, jako izolant je v tomto případě použit papír. Ve zvětšené podobě je tak kondenzátor, který jste viděli, vyroben přibližně takto... Takovému typu kondenzátoru se obvykle říká svitkový. (Učitel vytvoří kondenzátor ze dvou listů alobalu s papírem mezi nimi a celý kondenzátor smotá.)

U: Protože tento model kondenzátoru moc nedrží pohromadě, vytvořím pro další práci jiný – jako izolant tentokrát použiji plastové kelímky.

Učitel sestaví kondenzátor ze dvou listů alobalu, z nichž jeden je obalen okolo plastového kelímku a druhý je uvnitř kelímku (podrobněji viz [B3.1] nebo obr. B3.2, je vhodné vložit ještě jeden kelímeček dovnitř a jeden zvenku tak, aby alobal držel na místě).



Obr. B3.2. Kondenzátor z kelímků a listů alobalu

Poznámka: Je vhodné použít kelímky o maximálním objemu do 0,3 l. Kondenzátor z kelímků o větším objemu už by mohl mít tak velkou kapacitu, že by rána při jeho vybití mohla být pro studenty bolestivá.

Učitel poté zopakuje úvodní pokus s tím, že teď místo malé plechovky použije vyrobený kondenzátor (jednu desku uzemní, druhou vodivě spojí s plechovkou). Stejný dobrovolník ověří, že má kondenzátor větší kapacitu – při stejném potenciálu je v něm mnohem víc náboje než na plechovce a zřetelně víc „kopne“.

Poznámka: Z důvodu bezpečnosti je vhodné, aby dobrovolník spojoval obě desky kondenzátoru dvěma prsty jedné ruky – tak, aby proud neprošel přes srdce.

Učitel poté rozkreslí princip skladování náboje na kondenzátoru. Podle zájmu studentů lze buď podrobně vysvětlit elektrické pole uvnitř dielektrika a jeho vliv na kapacitu kondenzátoru, nebo pouze konstatovat, že dielektrikum snižuje elektrické pole uvnitř kondenzátoru a na jeho desky se tak při stejném napětí vejde víc náboje. V každém případě by ale měl studentům popsat, že na každé z desek je opačný (ale stejně velký) náboj.

U: Pojdme teď změřit, jakou kapacitu tento kelímkový kondenzátor má.

Učitel studentům ukáže měřič kapacity a změří kapacitu kelímkového kondenzátoru. Studenti ji poté srovnají s vypočtenou kapacitou plechovky.

3) Na čem závisí kapacita kondenzátoru

Má-li učitel možnost, nechá následující ověření parametrů deskového kondenzátoru na laboratorní práci (viz např. námět na laboratorní práci v příloze C2). Pokud tuto možnost nemá, provede spolu se studenty ověření v hodině – buď demonstračně, nebo lépe jako skupinovou práci studentů (má-li učitel dostatek měřáků kapacity).

Učitel nechá studenty ve skupinách navrhnout různé parametry, na čem by mohla záviset kapacita kondenzátoru. Mezi parametry se obvykle objevuje velikost kelímků, materiál mezi kelímkami apod. Pokud se neobjeví tloušťka kelímků mezi jednotlivými listy alobalu, učitel jí nabídne studentům sám. Studenti si poté napíší hypotézu, zda je závislost na každém parametru přímo nebo nepřímo úměrná. Samotné ověření lze provést buď s různě velkými kelímkami, nebo jednodušeji s deskovým kondenzátorem vyrobeným z listů alobalu vložených

mezi listy větší knihy. Studenti se tak setkají s větší škálou různých kondenzátorů (čímž si upevní myšlenku, že izolantem může být různý materiál a na tvaru desek kondenzátoru nezáleží) a ověření parametrů lze provést i kvantitativně.

Má-li učitel dostatek měřičů kapacity, je vhodné, když ověření provádějí studenti ve skupinách – každá skupina studentů dostane za úkol ověřit jeden z parametrů. Ověření závislosti kapacity na materiálu lze provést se stejnou tloušťkou papíru a např. plastových desek, skla apod.

Jednotlivé skupiny poté sdělí ostatním zjištěné závěry. Kapacita kondenzátoru:

- roste s velikostí desek (kvantitativní ověření lze provést zmenšováním jedné z desek na polovinu, čtvrtinu,...);
- klesá se vzdáleností desek od sebe;
- záleží na materiálu izolantu.

Pro studenty je překvapivé, že závislost na vzdálenosti desek je nepřímo úměrná, je vhodné jim tento fakt zdůraznit a demonstračně ukázat tuto nepřímo úměrnost všem. Pro zvětšení kapacity deskového kondenzátoru stačí knihu mírně stlačit, tím se listy alobalu dostanou blíže k sobě.

Pokud učitel nemá možnost použít různé izolanty, poslední parametr studentům sdělí. Parametr popisující vlastnosti izolantu učitel pojmenuje jako relativní permitivitu daného materiálu (pokud ji už zavedl dříve u Coulombova zákona, jen na toto zavedení odkáže).

Podrobný popis měření včetně příkladů naměřených hodnot je uveden v [1], kap. 3.5.1.

Učitel poté spolu se studenty formuluje vztah pro kapacitu deskového kondenzátoru:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d},$$

kde S je velikost plochy desek a d je vzdálenost mezi deskami.

Na závěr je vhodné, když učitel nechá studenty jejich znalosti upevnit – může jim např. ukázat svitkový kondenzátor z alobalu a eurofolie a nechat je vymýšlet různé způsoby, jak zvětšit kapacitu tohoto kondenzátoru¹⁶. Jeden list alobalu je vložen do eurofolie tak, aby kousek vyčníval ven, druhý list je položen na eurofolii tak, aby vyčníval na druhou stranu a celý kondenzátor je poté smotán do ruličky – viz obr. B3.3.

¹⁶ Idea tohoto kondenzátoru pochází od S. Gottwalda, kterému tímto za námět děkuji.



Obr. B3.3. Zčásti smotaný kondenzátor vyrobený ze dvou listů alobalu a eurofolie

Studenti by měli přijít na to, že stačí buď zvětšit plochu celého kondenzátoru, nebo stlačit desky blíž k sobě. Tyto způsoby by měli ověřit buď sami studenti, nebo učitel demonstračně. V praxi se ukazuje jako nejefektivnější způsob zvětšení kapacity tohoto kondenzátoru ho zmačkat.

[B3.1] Dvořák, L., Šabatka, Z., Koudelková, V., Dvořáková, I.: Náboje, proudy a elektrické obvody. Vzdělávací a metodický text. Přírodní vědy a matematika na středních školách v Praze: aktivně, aktuálně a s aplikacemi – projekt OPPA. Praha 2012. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/>

Příloha B4: Magnetismus – metodický text

Metodický materiál je určen pro úvodní seznámení s vlastnostmi magnetů pro žáky základních škol.

cíle hodiny:

- Žáci si připomenou, co znají o magnetech a případně je doplní o nové znalosti získané pomocí experimentů.
- Žáci posoudí praktičnost využití magnetů v pro ně známých situacích.
- Žáci si volí, co je v tématu magnetismus zajímavé, a svůj výběr zdůvodní.
- Žáci vybírají ze získaných poznatků o magnetismu pro ně podstatné informace, třídí je, zpracovávají a prezentují je ostatním.

Tematický celek je rozdělen na dvě vyučovací hodiny. V první žáci zkoumají základní vlastnosti magnetů – nejdříve na vlastních hračkách, poté na školních magnetech. Druhá hodina se týká nejdříve magnetického pole Země a poté doplňujících úkolů, ze kterých si každý žák může vybrat.

Pomůcky:

1. hodina: magnety, piliny, papír, hřebíčky, různé předměty a hračky, které obsahují magnety (donesou žáci)
2. hodina: magnety, piliny, kompas; pomůcky na volitelné úkoly jsou uvedeny přímo u nich

Před 1. vyučovací hodinou učitel žáky požádá, aby se podívali, co mají doma za hračky či jiné předměty, které obsahují magnety a aby vybranou hračku/předmět přinesli do školy.

1. vyučovací hodina

Magnety v hračkách

U: „Jaké hračky/předměty jste přinesli?“

Nechá žáky vyjmenovat některé, seznam píše na tabuli.

U: „Projděte se po třídě a prozkoumejte alespoň pět hraček/předmětů tak, abyste věděli, jak fungují a k jakému účelu jsou v nich magnety využívány.“

Žáci prozkoumají několik donesených předmětů.

U: „Napadají vás ještě nějaké jiné předměty, které máte doma (nebo znáte) a ve kterých jsou magnety?“

Učitel případně doplní seznam.

U: „Představte si, že by magnety neexistovali. Jak byste to museli zařídit, aby ta vaše hračka/předmět fungovala stejně, ale bez použití magnetů? Najděte něco, v čem by byl tento způsob lepší a v čem horší než použít magnety.“

Pozn. Úkol je vhodné zadat do dvojic, dvojice si vybere některou z hraček tak, aby ji mohla mít u řešení úkolu u sebe.

Vlastnosti magnetů, piliny

Učitel rozdá žákům magnety (ideálně nástěnkové kulaté) a dá jim čas, aby si s nimi pohráli a objevili, co všechno se s nimi dá dělat a jaké mají vlastnosti.

U: „Jaké vlastnosti magnetů jste našli? Ať už jste je předtím znali nebo ne...“

Žáci by měli přijít na to, že:

- dva magnety se mohou přitahovat nebo odpuzovat, podle toho, jak se natočí
- magnet se přitahuje i k některým kovům (učitel případně upřesní, že se přitahují k železu, niklu a kobaltu, k ostatním kovům ne)
- magnety na sebe působí i na určitou vzdálenost, případně přes jiný materiál (kromě železa)

Učitel nechá žákům čas na dopsání poznámek.

U: „Vraťte se ke svým hračkám a zamyslete se ještě jednou nad jejich funkcí. Které z výše uvedených vlastností magnetů jsou pro funkci vaší hračky podstatné? Které vlastnosti naopak vaše hračka vůbec nepotřebuje?“

U: „Pojďme prozkoumat, jak to vypadá mezi magnety, když se přitahují/odpuzují. Mám tady malé kousky železa – železné piliny. Zkusím je nasypat na magnety, pojdte se podívat, co se stane.“

Učitel ukáže žákům piliny nasypané na dvojici magnetů, které se přitahují/odpuzují.

U: „Udělejte si skupiny po přibližně čtyřech, vezměte si piliny také a zkuste si nasypat piliny na jeden magnet v různých polohách, dva magnety, které se přitahují, dva magnety, které se odpuzují.“

Učitel může žákům rozdat písemné zadání úkolu s připravenými otázkami.

Pozn. Piliny je potřeba sypat zásadně přes papír. Kulaté magnety mají tendenci se přitáhnout k sobě a nedrží na místě – pomůže kousek modelíny, kterou se přilepí ke stolu.

Žáci by měli přijít na to, že:

- piliny „něco ukazují“ – neviditelné ručičky, kterými se magnety drží/nedrží, těch ručiček je strašně moc a dosahují dost daleko od magnetu.
- liší se obrázek podle toho, na kterou stranu magnetu piliny nasypou – pokud je pól nahoře, vznikne „ježeček“ (učitel upřesní, že se jedná o „ručičky“ mířící do prostoru), pokud je pól na straně, jsou vidět samotné ručičky
- liší se obrázek, pokud se dva magnety přitahují/odpuzují

Učitel může upřesnit, že se těm „ručičkám“ říká siločáry.

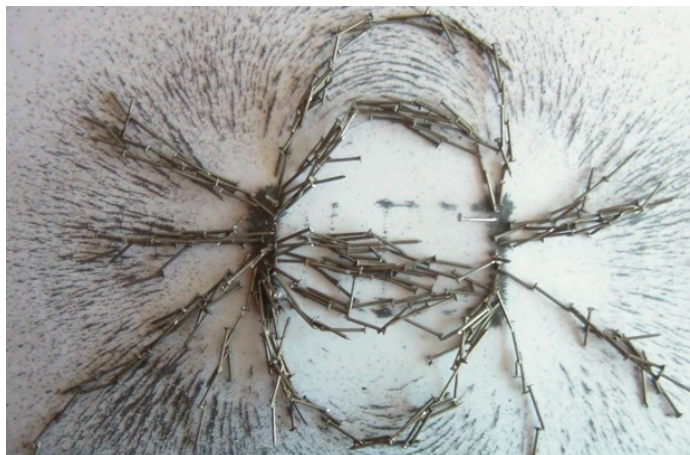
Pozn.: Pokud mají žáci problém s rozpoznáním siločar v pilinových obrazcích, může jim učitel pomoci použitím hřebíčků:

1) Žáci mohou jako mezikrok porovnat obrázek z pilin a hřebíčků a až poté přejít k siločárám (obr. B4.1)

2) Žáci (učitel) mohou vyrobit obrázek z hřebíčků na fotografii obrázku pilin, aby bylo vidět, že křivka z hřebíčků a pilin je stejná (obr. B4.2.). Tato metoda je náročnější na přípravu i čas – vyžaduje fotografii obrázku pilin na stejných magnetech, které budou používat žáci, v měřítku 1:1 a je nutné počítat s časem na výrobu obrázku z hřebíčků. Je třeba použít fotografii, ne rovnou obrázek pilin – vzhledem ke zmagnetování hřebíčků by se piliny přitáhly k hřebíčkům a obrázek by se „rozsypal“.



Obr. B4.1. Příklad porovnání obrázku z pilin a z hřebíčků



Obr. B4.2. Hřebíčky na fotografii obrázku z pilin

Uzavření hodiny

Učitel se žáky nejdříve zopakuje/sepíše, co vše se v hodině dělo – v bodech jednotlivé kroky.

Žáci si poté odpovědí na následující otázky:

- Proč myslíte, že jsme začali zkoumáním hraček a ne rovnou školními magnety?
- Co z toho, o čem jsme v hodině mluvili, už jsi věděl/a a co pro tebe bylo nové?

Každý žák si odpověď nejdříve napíše sám, teprve poté se odpovědi zveřejní/doplní před třídou.

2. vyučovací hodina

U: „Napadly vás ještě nějaké předměty, se kterými se setkáváte a které obsahují magnety?“

Učitel případně doplní seznam.

Opakování a připomenutí z předchozí hodiny

Žáci se rozdělí do čtveřic, každá čtveřice dostane 3-4 magnety, piliny, papír. Jedna dvojice nějak naskládá magnety, druhá dvojice hádá, kde jsou póly. Pak se dvojice vystřídají.

Učitel se žáků zeptá, co jim pomáhalo poznat, jak jsou magnety poskládané.

Učitel případně může poté několik magnetů naskládat na projektor a přes papír posypat pilinami, umístění magnetů a póly určuje celá třída.

Země jako magnet

(V případě dostatku času lze toto téma zařadit do 1. vyučovací hodiny)

U: „Jaký znáte největší magnet?“

Žáci: ...

Učitel dovede žáky k tomu, že magnetem je i Země. Pokud někdo z žáků nebo učitel donesou na začátku 1. hodiny kompas, je možné, že na to žáci přijdou sami. Pokud ne, učitel jim to sdělí.

Učitel nakreslí schématický obrázek Země, vyznačí severní a jižní pól (pozor, jsou opačně než zeměpisné póly), načrtne siločáry. Případně ukáže z webu obrázku skutečného magnetického pole Země, které je mnohem složitější, než se uvádí. Použít lze i text „Magnetické pole Země“, případně žákům ukázat, jak se magnetické póly stěhují apod.

Učitel žákům ukáže kompas a zeptá se jich, jak funguje. Pokud se s ním žáci ještě nesetkali/jeho princip neznají, učitel jim funkci kompasu předvede.

Výběrové úkoly

Učitel dá žákům na výběr ze čtyř úkolů, každý žák si vybere, čemu se chce věnovat. Žáci si mohou vybrat, zda budou na úkolu pracovat samostatně nebo ve dvojicích/trojicích.

Témata úkolů:

- Vyroberte si kompas
- Prozkoumejte, jak kompas funguje a jak se s ním určují světové strany
- Prozkoumejte, jak vypadá magnetické pole složitějších magnetů a jak jinak (kromě pilin) ho lze detekovat
- Prozkoumejte historii: „Jak svět k magnetům přišel“

(Pozn. Zadání úkolů jsou rozpracované dále v příloze)

Poté každá skupina představí své téma ostatním ve dvou větách a odpoví na připravené otázky (viz rozpracování témat).

Otázky na konec:

- 1) Proč jste si vybrali zrovna tohle téma? Co užitečného jsme se učili dělat? Které dovednosti jste procvičovali? Co vás na úkolu zaujalo? Co považujete za důležité říct ostatním/na co jste přišli, co jste objevili?
- 2) Kdybyste si vybíral téma znovu, vybrali byste si totéž? Jak byste postupovali teď? Co vám pomohlo si vybrat? Co byste k tomu ještě potřebovali, abyste se mohli rozhodnout?

Poznámka k extrémním případům, pokud si téměř všichni zvolí:

1. úkol: není to problém, pomůcek může být připraveno dost, na otázky odpovídají jen někteří
2. úkol: není to problém, je-li dost kompasů (alespoň do dvojice), jednotlivé dvojice mohou představit své směrové růžice a porovnat, zda se shodují
3. úkol: dostatek různých magnetů není problém, ferrofluidu a mag. folie lze očekávat omezený počet kusů – je potřeba, aby se žáci vystřídali
4. úkol: Není problém, text může být nakopírován v dostatečném počtu

Poznámka: Úkol lze zadat i tak, že na každém tématu může pracovat omezený počet žáků.

Poznámka k zadáním: Je potřeba je mít nakopírované na samostatných listech v dostatečném počtu.

Příloha – volitelné úkoly:

1) Vytvořte si kompas

Pomůcky: korková kolečka (příp. kousek tenkého polystyrenu, dřeva, špejle od nanuku apod.), jehly, magnet, misky s vodou, kompas

Zadání:

Prohlédni si, jak kompas vypadá. Co se děje, když k němu přiblížíš magnet?

Hlavní součástí kompasu je tenká zmagnetovaná jehla (říká se jí střelka). Ta se musí volně otáčet, aby se mohla vždy natočit k severu (ať už k nejbližšímu magnetu nebo k jižnímu magnetickému pólu Země).

Postup výroby:

1) Zmagnetuj střelku:

Vezmi si jehlu a alespoň 20x po ní přejeď magnetem tak, abys jel vždy od oka ke špičce pořád stejným pólem u jehly. Zpět se s magnetem vracej mimo jehlu. Můžeš vyzkoušet, jestli se tvá jehla přitahuje s nějakou nezmagnetovanou.

2) Nech jehlu volně otáčet

Polož jehlu na plovák vyrobený z kousku polystyrenu/dřeva/korku do misky s vodou.

3) Ověření funkce, reakce na magnet

Porovnej směr, kterým se střelka natočila, se směrem, kterým se natočí střelka komerčního kompasu.

Přiblíž ke svému kompasu magnet a pozoruj, co se děje s tvou střelkou.

Otázky:

1) Dvěma větami popiš ostatním, jak jsi vyráběl kompas.

2) Jak tvůj kompas reagoval na blízkost magnetu?

2) Prozkoumejte kompas

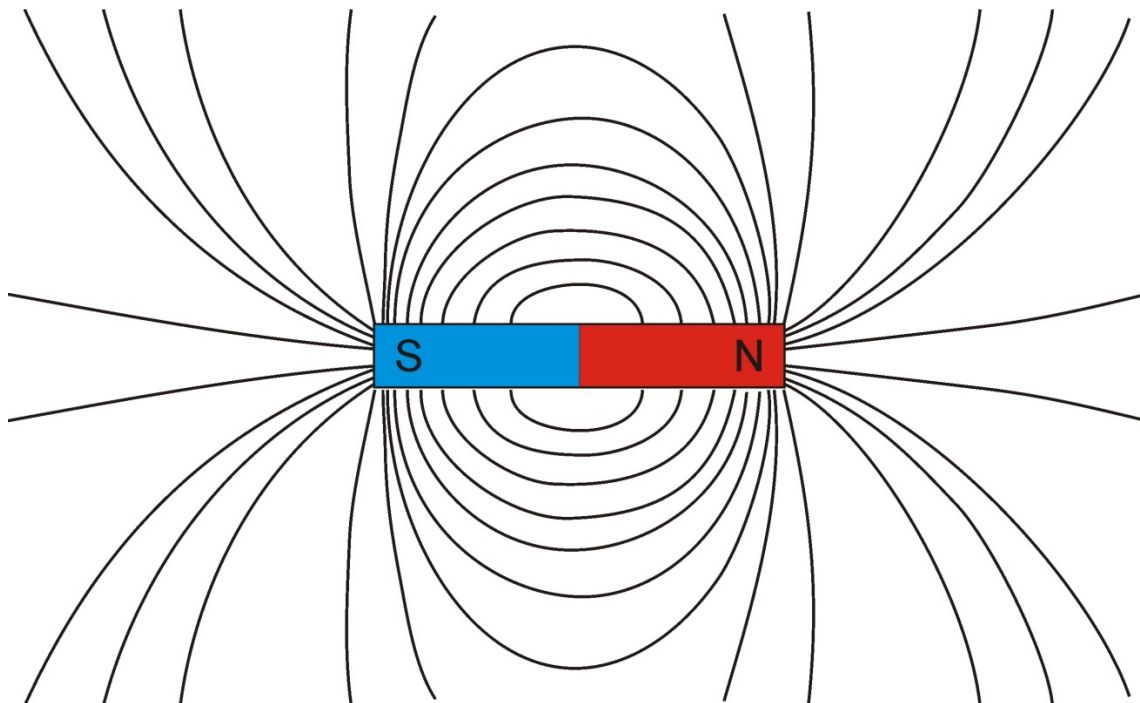
Pomůcky: kompas, magnet, obrázek se siločárami okolo magnetu, mapa

Zadání:

- 1) Pečlivě si prohlédni kompas, najdi na něm označení světových stran (obvykle jsou označeny anglickými písmeny N, S, W, E) a zmagnetovanou jehlu – střelku.
- 2) Vezmi si magnet a rozmysli si, jak budou okolo něj vypadat magnetické siločáry. Poté přiblíž k magnetu kompas a pozoruj, co dělá střelka. Najdeš nějakou souvislost mezi směrem magnetických siločar a směrem, kterým se natočila střelka? Do připraveného obrázku nakresli šipkami směr magnetické střelky v několika místech poblíž magnetu.
- 3) Projdi se po třídě a najdi předměty, ke kterým se střelka natáčí a které se tedy chovají jako magnet.
- 4) Pomocí kompasu zjisti, na kterou světovou stranu jsou orientována okna ve třídě. Vytvoř ve třídě směrovou růžici – pomocí různých předmětů vyznač směr k severu, jihu, západu a východu. Správnost orientace třídy a své růžice můžeš ověřit pomocí mapy.

Otázky:

- 1) Předved' ostatním svou růžici, ukaž jim, kterým směrem míří jednotlivé světové strany.
- 2) Jaké jsi našel předměty, které ovlivňují střelku kompasu?



3) Složitější magnety

Pomůcky: Různé složitější magnety (z HDD, mikrovlnky, ploché s obrázkem na ledničku, se třemi póly,...), ferrofluid (nejlépe v uzavřené nádobě), magnetická detekční folie, toner, štětec, papír

Zadání:

- 1) Pomocí pilin zjisti, kde mají připravené magnety póly a kolik pólů mají.
- 2) Vyzkoušej jiné způsoby, kterými lze najít magnetické póly a siločáry:
 - Umísti magnet pod nádobu s magnetickou kapalinou – ferrofluidem. Pozor! Magnetická kapalina velmi špiní – nedotýkej se jí a nepřibližuj k ní magnet jinak než přes stěnu nádoby!
 - Na magnet polož magnetickou detekční folii
 - Na plochý magnet s obrázkem polož papír a na ten rozetři pomocí štětce trošku toneru. Pozor! Toner velmi špiní, nesahej do něj rukou!
- 3) Porovnej, zda jsi všemi způsoby našel na stejném magnetu póly na stejných místech.

Otázky:

- 1) Vyber si jeden magnet, který tě nejvíc zaujal. Nakresli či popiš kolik má pólů a kde jsou umístěny.
 - 2) Která metoda zjišťování pólů tě nejvíc zaujala? Proč?
 - 3) Představ si, že potřebuješ určit póly neznámého magnetu. Která z metod by ti přišla nejfunkčnější? Proč?
-

4) Jak svět k magnetům přišel...

Pomůcky: Připravený text o historii magnetismu

Zadání:

Rozmysli si a napiš v bodech, co už víš o historii magnetů.

Přečti si následující text a vyznač v něm informace, které tě zaujmou. Poté si ho přečti ještě jednou a jinou barvou podtrhni slova či informace, kterým nerozumíš.

Otázky:

- 1) Vyber z vyznačených informací dvě, které pro tebe byly nejzajímavější.
- 2) Bylo v textu něco, čemu jsi nerozuměl?
- 3) Co by ses o historii magnetů ještě rád dozvěděl, ale v textu to nebylo?

O objevu kompasu a vlastností magnetu

Objev minerálu magnetovce a jeho neobyčejného chování byl nezávisle na sobě objeven ve dvou starověkých kulturách – v Číně a v Řecku. Kromě toho, že se kousky magnetitu vzájemně přitahovaly a odpuzovaly, přitahovaly velmi silně i železo. Navíc v Číně byl objeven kompas. První čínské kompasy měly velmi zajímavou a originální konstrukci – byly vyrobeny přímo z magnetitu, měly tvar jakési lžičky, která se volně otáčela na velice hladké měděné či bronzové podložce a druhým koncem („držadlem“) ukazovala zeměpisnou orientaci. Historické odhady kladou objev prvního kompasu do 2. až 6. století př.n.l.



V Evropě začal být kompas používán v průběhu 12 až 13. století n.l. především italskými kapitány při plavbách po Středomoří. Přitom křesťanští ale i muslimští kapitáni často svěřovali orientaci podle kompasu židovským lodivodům a kormidelníkům, aby nemohli být nařčeni z používání magických sil.

První vědecké pojednání o vlastnostech magnetu sepsal v druhé polovině 13. století francouzský žoldněř Petrus Peregrinus z Maricourtu. Jeho dílo se jmenuje „Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt Militem de Magnete“, což v překladu znamená přibližně „Dopis Petra Peregrina z Maricourtu o magnetu vojákovu a šlechtici Sygerovi“. Tento „dopis“ je poměrně obsáhlé dílo, které pak kolovalo v rukopisech a tiskem bylo vydáno až v roce 1558. Peregrinovo pojednání se skládá ze tří částí. V první z nich autor popisuje vlastnosti magnetu a experimenty k určení jeho polarity, zavádí název severního a jižního pólu magnetické střečky, zkoumá přitažlivé a odpuzivé síly mezi nimi, vznik magnetu zmagnetováním železa a vlastnosti částí magnetu vzniklých jeho rozlomením. Údiv vždy vzbuzovala skutečnost, že severní a jižní pól magnetu se od sebe nedají oddělit, vždy vznikne magnet se dvěma póly. Chování střečky v magnetickém poli Země se Peregrinus snaží vysvětlit astrálními vlivy, námořníci se vždy domnívali, že severní konec střečky je přitahován Polárkou. Druhá část pojednání je věnována konstrukci kompasu a různým způsobům otáčivého uchycení střečky. Konečně poslední část předkládá v duchu doby návrh na konstrukci magnetického perpetua mobile.

Zpracováno podle S. Krupička: *Magnetismus; historie a současnost*, Fyzikální ústav AV ČR (http://www.learned.cz/userfiles/pdf/prednasky-cleny-odborne/svatopluk.krupicka_0207.pdf) a I. Štoll: *Dějiny fyziky*, Prometheus, Praha 2009

Příloha C – Pracovní listy k laboratorním pracím

Příloha C1: Coulombův zákon a kutálení plechovky

Příloha C2: Kapacita a kondenzátor

Příloha C3: Proud a napětí v obvodu

Příloha C1: Coulombův zákon a kutálení plechovky – pracovní list k lab. práci

laboratorní práce
Elektrostatika

úvod

- 1) Nabijte si papírovým kapesníkem brčko, a co nejjednodušeji ověřte, že je nabité. Jaký způsob ověření jste použili?
- 2) Zkuste dvě brčka nabitá souhlasně k sobě přiblížit svými délkami. Co pozorujete?



Coulombův zákon aneb Jak velký je náboj na brčku?

- 1) Vezměte dvě brčka nabitá souhlasně a položte je nad sebe. V jaké vzdálenosti (přibližně) se horní brčko „vznáší“ nad spodním?

vzdálenost:.....

- 2) změřte hmotnost brčka:
- 3) Jaké síly na brčko působí ve chvíli, kdy se vznáší? Porovnejte velikosti obou sil, pokud je brčko v rovnováze.
- 4) Vypočtěte tíhovou sílu působící na brčko:
- 5) Z rovnováhy sil spočtěte pomocí Coulombova zákona náboj na brčku (předpokládejte, že náboj je na obou brčkách stejný).

Kutálení plechovky

- 1) zkuste nabitým brčkem rozpohybovat plechovku. Jak musí být brčko vůči plechovce umístěné? Nakreslete obrázek:
- 2) Z jaké největší vzdálenosti plechovka na brčko reaguje? (vzdálenost stačí odhadnout)
- 3) Jak se „reakční vzdálenost“ změní, pokud použijete dvě nabitá brčka? Odhadněte vzdálenost:
- 4) Zkuste plechovku rozkutálet směrem nahoru po nakloněné rovině. Změřte nejvyšší sklon n. r., na jakém plechovka ještě na brčko reaguje.
- 5) Jak se sklon změní, pokud použijete dvě brčka? Změřte největší „reakční sklon“
- 6) Jak se sklon změní, pokud místo brčka použijete nabitou tyč? Změřte největší „reakční sklon“

Příloha C2: Kapacita a kondenzátor – pracovní list k laboratorní práci

Kapacita a kondenzátor

laboratorní práce

1) Kondenzátor z kelímků

Vyrobte kondenzátor ze dvou kelímků a listů alobalu

a) Změřte jeho kapacitu.

Před každým měřením kapacity kondenzátor vybijte! Zbytkový náboj by mohl poškodit multimetr.

b) Kondenzátor nabijte na stejný potenciál jako plechovku. Druhou desku kondenzátoru uzemněte. Co dá větší ránu?

Závěr:

- Kapacita kondenzátorů z kelímků: $C =$
- Je větší náboj na kondenzátoru nebo plechovce?

2) Deskový kondenzátor

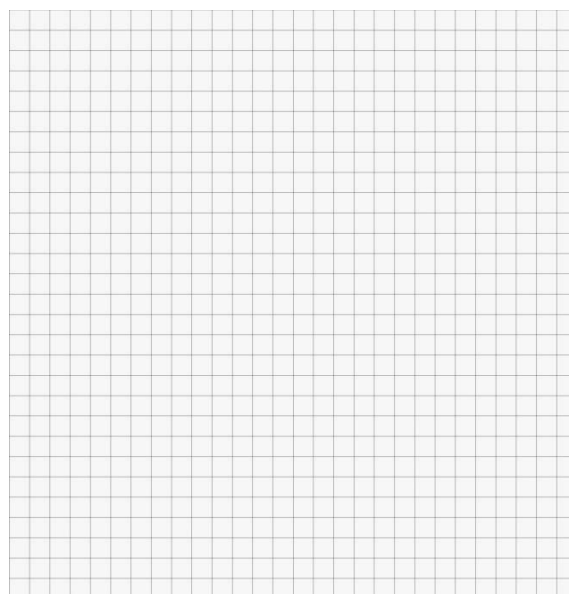
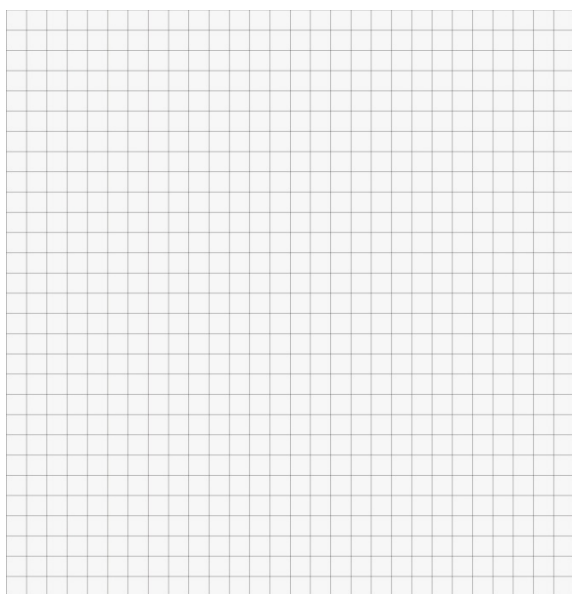
Mezi listy knihy vložte listy alobalu. Změřte kapacitu tohoto kondenzátoru.

a) Zkuste knihu lehce stlačit. Jak se změní kapacita?

b) Zjistěte, jak závisí kapacita „knižního kondenzátoru“ na ploše desek a na počtu listů papíru mezi deskami (tedy na vzdálenosti mezi deskami). Naměřené hodnoty vynesete do grafu a rozhodněte, zda je závislost přímo nebo nepřímo úměrná.

Počet listů	Kapacita (pF)

Plocha desek	Kapacita (pF)
Celý list	
Polovina listu	
Čtvrtina listu	



Závěr: Kapacita jevzdálenosti mezi deskami a ploše desek.

3) Svitkový kondenzátor

Z alobalu a folie vyrobte kondenzátor. Jaká je jeho kapacita?

- a) Navrhněte alespoň dva způsoby, jak kapacitu tohoto kondenzátoru zvětšit. Alespoň jeden z navržených způsobů ověřte.

Závěr:

- Kapacita svitkového kondenzátoru: $C =$
- Kapacitu lze zvětšit např.:

Příloha C3: Proud a napětí v obvodu – pracovní list k laboratorní práci

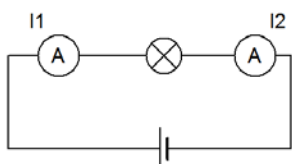
Proud a napětí v obvodu

U každého obvodu odhadněte, jaký je vztah mezi zobrazenými proudy/ napětími. Poté obvod zapojte, změřte příslušné hodnoty a svůj odhad ověřte.

a) proud v sériovém obvodu

Odhad:

Naměřené hodnoty:



$$I_1 =$$

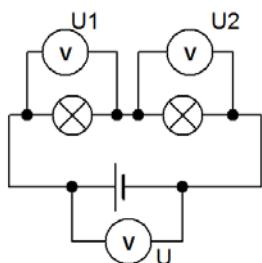
$$I_2 =$$

Závěr:

b) Napětí v sériovém obvodu

Odhad:

Naměřené hodnoty:



$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

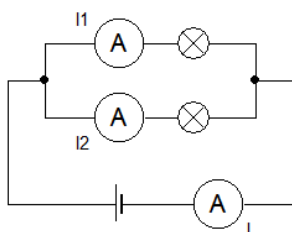
$$U =$$

Závěr:

c) Proud v paralelním obvodu

Odhad:

Naměřené hodnoty:



$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

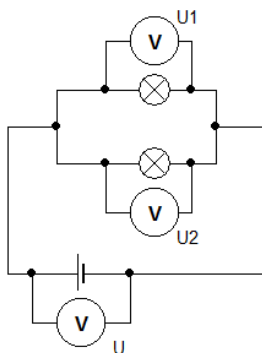
$$I =$$

Závěr:

d) Napětí v paralelním obvodu

Odhad:

Naměřené hodnoty:



$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

$$U =$$

Závěr:

Shrnutí:

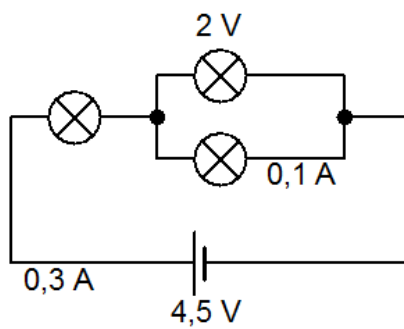
Proud v sériovém obvodu:.....

Napětí v sériovém obvodu:.....

Proud v paralelním obvodu:.....

Napětí v paralelním obvodu:.....

2) Na základě zjištěných výsledků zjistěte z údajů v obrázku proud a napětí na jednotlivých žárovkách:



Příloha D – Vybrané publikované články

Do přílohy byly zařazeny pouze vybrané články z těch, které nejsou online dostupné. Kompletní seznam publikací je dostupný na straně 121.

Příloha D1: Koudelková, V.: *How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead*. Phys.Ed. 51(1), leden 2016

Příloha D2: Koudelkova, V., Dvorak, L.: *High school students' misconceptions in electricity and magnetism and some experiments that can help students to reduce them*. In: Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice. Proceedings of the GIREP-MPTL 2014 Conference. Ed. C. Fazio, R. M. S. Mineo. Università degli Studi di Palermo, 2015. ISBN: 978-88-907460-7-9

Příloha D3: Koudelková, V.: *Ukázky LP z elektřiny a magnetizmu*. In: „Jak získat žáky pro fyziku? 2. Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF. Ed. R. Seifert. JČMF, Praha 2015. ISBN: 978-80-7015-122-8

How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead

Vera Koudelkova

Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Czech Republic



Abstract

A new simple arrangement how to demonstrate diamagnetic levitation is presented. It uses pencil lead levitating in a track built from neodymium magnets. This arrangement can also be used as a classroom experiment.

Online supplementary data available from stacks.iop.org/PhysED/51/014001/mmedia

Introduction

Few experiments with diamagnetic levitation are well known. These experiments usually use pyrolytic graphite as a diamagnetic material, with high magnetic susceptibility and low density. For example, the widely known arrangement using four magnets and pyrolytic graphite sheet (and some modifications of this experiment) can be bought as a kit [1]. This experiment was described in detail in [2].

In another well-known arrangement, a small neodymium magnet levitates between pyrolytic graphite (or bismuth) and a magnet. This arrangement can be bought as a kit as well (see [3]), and was described in detail in [4].

An arrangement suitable for overhead projection was described in [5]—it uses two pieces of pyrolytic graphite, two ceramic magnets and one small neodymium magnet.

In all of these papers pyrolytic graphite or bismuth is needed—so substances that students do not usually have in everyday life. We would like to present a different arrangement, in which a common object can levitate. As a diamagnetic material we use mechanical pencil lead, this lead levitates in a ‘track’ built from commonly available magnets. So, this experiment can be used as a pupil’s experiment too.

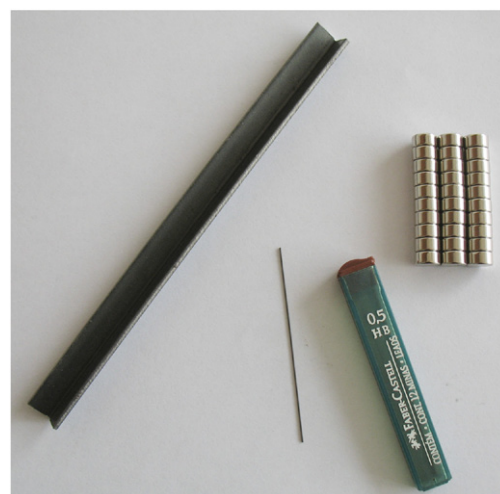


Figure 1. Equipment: iron L profile, neodymium magnets, leads for mechanical pencils.

Equipment

Experiment equipment can be seen in figure 1. We have an iron L profile rod with a width of 1 cm and approximately 15 cm in length, about 30 cylinder neodymium magnets with diameter 8 mm and 4 mm height, and a piece of lead from a mechanical pencil, 0.5 mm in diameter¹. All of these components can be bought for less than £7.

¹ We use pencil leads made by Faber–Castell, hardness HB.

V Koudelkova



Figure 2. Magnet arrangement in the track.

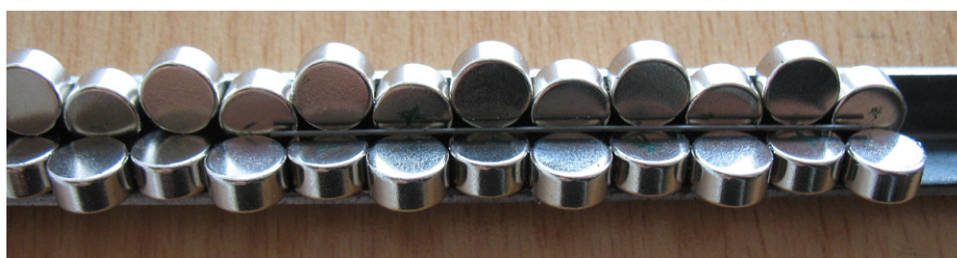


Figure 3. Pencil lead levitates inside the track.

The precise size of magnets is not essential, but an 8 mm diameter proved to be optimal. When magnets of a larger diameter are used, the spaces between them are too big so the lead has to jump over it and it will not freely move. It is possible to carry out the experiment with smaller magnets, but one will need more magnets for the same length of the track.

The number of magnets is also not essential—the more magnets you have, the longer track you can build. But we recommend 30 magnets as a minimum, because a track made from 30 magnets is only a bit longer than the pencil lead.

It is necessary to choose the right pencil lead because it was discovered that not every type of lead would work. The reason being that there is often a small amount of iron in graphite from which leads are made, and if there is too much iron in it the attractive force between the iron and magnets is bigger than the diamagnetic repulsive force, so the pencil lead does not levitate. According to our experience most pencil leads from Faber–Castell work. On the other hand, leads from other producers we tried proved to not be suitable for our experiment. Spectroscopic analysis done by a colleague of ours found only trace amounts of iron in our sample of Faber–Castell leads, and up to 40

times more in samples from other producers. The easiest way how to find if the lead works is just trying it, spectroscopic analysis is not necessary of course.

Arrangement

Magnets are placed on the *L* profile with their poles arranged alternately (see figure 2, north poles are marked). One magnet is always touching its *L* profile, and the second one is tucked inside the *L* profile, and the second one is touching it². For a more detailed description see video 1 (stacks.iop.org/PhysED/51/014001/mmedia).

The pencil lead placed inside this track can freely move from one side of the track to the other side (see figure 3 and video 2 (stacks.iop.org/PhysED/51/014001/mmedia)). From the side view it is possible to see, that the pencil lead levitates in a stable position about 0.5 mm above the track (see detail in figure 4).

The direction of the magnetic force which compensates the lead's weight is in the direction of decreasing magnetic field. A detailed description about the balance between magnetic force and gravity in experiments like this can be found

² Arrangement of one row of our magnets is similar to the so called Halbach configuration, but the magnetic flux is closed by the iron profile in our case, not by other magnets.

How to simply demonstrate diamagnetic levitation with pencil lead

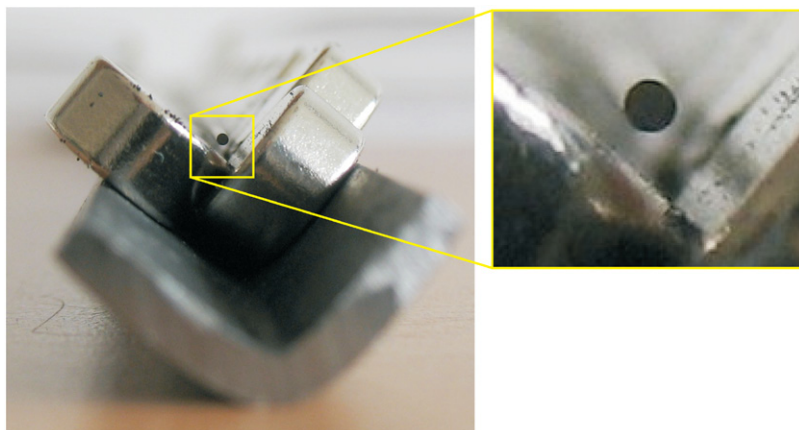


Figure 4. Detail of the pencil lead from side view.

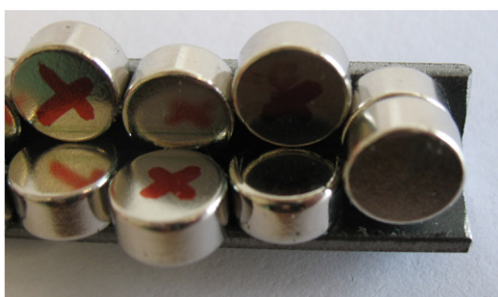


Figure 5. End of the track.

in [6] where a widely known experiment with a levitating frog is described.

It is better to ‘close’ the track using one magnet on each side so that the lead remains in the track and does not fall out of it. See the detail of the end of the track in figure 5.

Conclusion

The experiment we described is very simple and cheap, however it can be used as an illustrative example of the behaviour of diamagnetic materials. Its advantage is that one needs only commonly available material that students know very well.

Students can build this track by themselves or a teacher can just show it to them and let them to play around with it. According to our experience, students at high school (ages 16–17) like

and appreciate this experiment. Most of them play with it with and comments like ‘Wow, it’s cool...’ are made.

Received 4 September 2015

Accepted for publication 8 October 2015

doi:10.1088/0031-9120/51/1/014001

References

- [1] Levitation Bundle (www.scitoyscatalog.com/category/M.html)
- [2] Frech M M J 2010 The Wonder of levitation *Phys. Educ.* **45** 37–41
- [3] Permanent Magnet Levitator v.2.0 (www.kjmagnetics.com/proddetail.asp?prod=LEV2)
- [4] Sawicki Ch A 2001 Small inexpensive diamagnetic levitation apparatus *Phys. Teach.* **39** 556–8
- [5] Conery Ch, Goodrich L F and Stauffer T C 2003 More diamagnetism demonstration *Phys. Teach.* **41** 74–5
- [6] Diamagnetic Levitation (www.ru.nl/hfml/research/levitation/diamagnetic/)



Vera Koudelkova is a PhD student at the Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague. Her research focus is physics education, namely students’ understanding of electricity and magnetism. She is also a physics teacher at high school.

High School Students' Misconceptions in Electricity and Magnetism and some Experiments that can Help Students to Reduce Them

Vera Koudelkova, Leos Dvorak

Charles University in Prague, Faculty of Mathematics and Physics, Department of Physics Education

Abstract

The Czech Conceptual test from the area of Electricity and Magnetism was prepared at Department of Physics Education, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague. First part of the paper presents three problematic topics which were identified using this test – charge distribution on an insulators, Coulomb's law and electromagnetic induction. However, to identify misconceptions is not enough. Therefore, the main part of the paper presents some experiments which can help students to overcome their misconceptions and to better understand not only the topics mentioned above. Most of these experiments can be done with very simple tools and materials.

Keywords

Electricity and Magnetism, misconceptions, experiments, high school

1. Introduction

Electricity and magnetism is one of topics in the Czech curriculum for high school physics. It is natural to explore how Czech high school students (students of age from 15 to 19) understand Electricity and Magnetism and which misconceptions are typical for them. For this, we prepared the Conceptual test from the area of Electricity and Magnetism. The test, examples of questions and results were presented on ICPE-EPEC 2013 conference and are published in its Proceedings (Koudelkova, Dvorak, 2014). Therefore, only basic information about this test is written in the first part of this paper. Further, in the main part of the paper, we present some experiments, which could help students to overcome their misconceptions. Important information about concrete students' misconceptions are also presented since they are relevant for experiments that should help to overcome them.

2. About CCTEM

Czech Conceptual Test from the area of Electricity and Magnetism (CCTEM) is based on CSEM (Maloney, 2001). It has 18 questions, nine of them are used from CSEM (seven of them being slightly modified), other nine correspond to Czech curriculum.

Nearly 200 students were involved in the testing of the final version of CCTEM during school year 2012-2013, more than 150 others were involved during school year 2013-2014. All involved students (aged 16-18) are from general high schools. The pretest was done just before beginning of the lessons from the area of electricity and magnetism, the post-test just after the instruction. Students usually had lessons from the area of electricity and magnetism for about half a school year, two lessons (45 minutes each) a week. (The range partly depends on the school curriculum.)

More detailed information about the test and its developing was written in the paper (Koudelkova, Dvorak, 2014).

3. Example of results and experiments

Note: Experiments described below were prepared on the basis of results of CCTEM in the school year 2012-2013.

3.1 Charge distribution on insulators

There are two questions in the test focusing on charge distribution – one is about charge distribution on a conductor, the second one concerns charge distribution on an insulator. The assignment is similar in both questions – what will happen with small amount of charge, which we put on one place at a can/PET bottle. Possible answers are following:

- A. All of the charge remains near the point
- B. The charge is distributed over the outside surface of the tin/bottle
- C. The charge is distributed over the outside and inside surface of the tin/bottle
- D. Most of the charge is still near the point, but part of it is distributed over the surface of the tin/bottle
- E. There will be no charge left

In the question concerning a can, results were not bad (more than 40 % of students in post-test chose the correct answer). Concerning the charge distribution on a bottle, only 18 % of students in the post-test chose the correct answer. Students seem to be convinced that charge disappears and it seems that this misconception survives after the instruction (almost 80% of students have this idea before the instruction and still almost 70% after the instruction, see fig. 1).

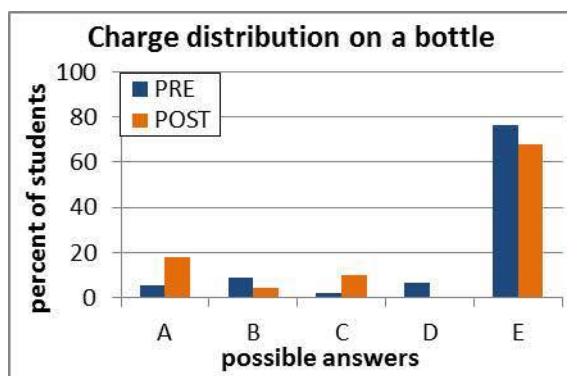


Figure 1. Charge distribution on a plastic bottle – students answers

Czech students have experience with charge distribution on a can – we often use cans for electrostatics experiments. On the other side, they know the charge distribution on an insulator only from a case of plastic rod, so they, in fact, have no experience with charge distribution on an insulator. For a better understanding of charge distribution on an insulator we use a model of a “plastic can” – as a suitable model we found sewage pipe, which looks similar as a can, is non-conducting, is not antistatic and it's big enough (bigger pipe is necessary to show students that it is possible to charge it only at one place).

As a charge indicator we use a piece of aluminium fastened on a piece of wire.

Arrangement of the experiment can be seen in figure 2.



Figure 2. Arrangement of the experiment – charged place on sewage pipe (left) and place without charge (right)

Using this sewage pipe, students can see differences between behaviour of charge on a conductor and on an insulator:

Charge on a pipe stays only at the place we charged. If we put charge on several places, it will be on each of them.

If we discharge one place from those charged before, charge will remain on the other places.
Charge stays on the tube for more than few minutes, it doesn't disappear.

One technical note: Charge stays on the pipe for a long time, so it is problem to discharge it. One suitable method is wiping the pipe by wet cloth and then letting it to dry.

3.2 Coulomb's law

Students learn Coulomb's law for quite a long time and they usually solve many tasks including quantitative tasks. However, it seems they don't understand Coulomb's law as well as one could expect after the time they spent learning it.

In the test, there are two questions which focus on Coulomb's law. In the first of them, we ask students how the electric force acting on a given charge will change when we put charge $3Q$ instead of charge Q to the same distance. Results of this question are good both in pretest and post-test – there are about 75% of correct answers.

In the second question we ask students how the electric force will change when we put one of two charges two times further.

Students' results can be seen in fig. 3. Possible answers are:

- A. $F_e/4$
- B. $F_e/2$
- C. F_e
- D. $4F_e$
- E. another possibility

It can be seen, that more than 60% of students (both in pretest and post-test) chose answer B. So, they thought, that the force will be one half.

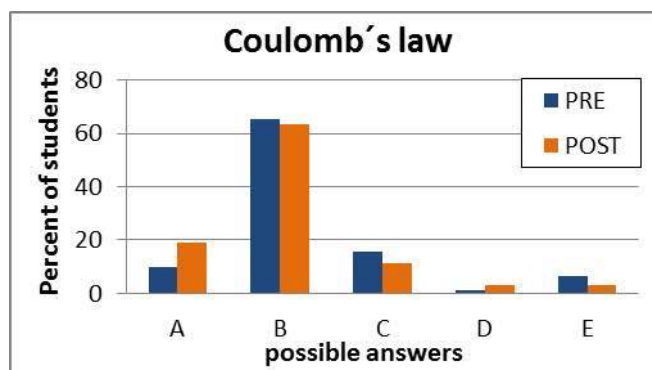


Figure 3. Coulomb's law – students answers

Reason for this result can be that students know Coulomb's law well, but only quantitatively. So, is it possible to show them the dependence of electric force on distance qualitatively and more illustratively?

We use two experiments which can show students this dependence qualitatively. First of them is used in our Interactive Physics Laboratory (see Šabatka at al., 2014). It uses two ping-pong balls covered by conductive colour as a charges. The force is measured using sensitive scales. Arrangement of this experiment can be seen in fig. 4. Students can use this setup for both qualitative experiments and quantitative measurement.



Figure 4. Demonstration of Coulomb's law using ping-pong balls (Sabatka et al., 2012)

For the second experiment one needs only very low-cost equipment – a straw, a piece of paper, a skewer and a pin.

The skewer with a pin is used as a stand for the straw. A scale is drawn on a piece of paper. The whole setup is placed on the end of a table (far from any metal parts).

It can be easily seen that the deflection of the straw is proportional to the repelling (Coulomb) force. The deflection can be seen on the upper part of the straw, which is used as a pointer. The lower part of the straw (close to its end) is charged. If we make the distance between the charged rod and the straw twice smaller, we can see that the deflection is approximately four times larger. In the left situation in the figure 5, the distance between charged rod and a lower part of a straw is about 60 cm and the deflection is about one centimetre. In the right-hand side part of the figure, the distance is half size (about 30 cm) and the deflection is four centimetres.

It is possible to use this experiment to found proportionality constant in the Coulombs' law, but this measurement is only very approximate.

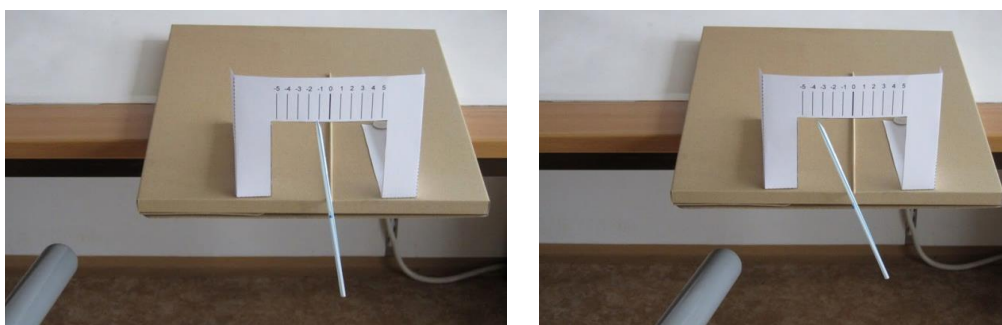


Figure 5. Coulombs' law – a simple qualitative experiment

3.3 Electromagnetic induction

There is one question in the CCTEM test focused on electromagnetic induction. Students are asked in which mutual movements of a magnet and a loop with ammeter will be any current measured by the ammeter. Students choose different options from these movements: movement of the magnet from the loop; collapsing of the loop (which change the area of the loop); rotation of the loop around its axis; movement of the loop toward to the magnet. All possibilities can be seen in fig. 6.

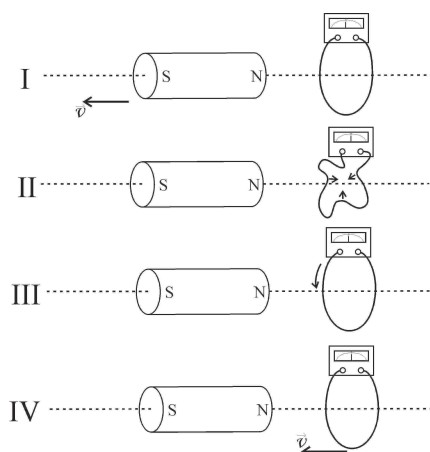


Figure 6. Electromagnetic induction – assignment of the task

This question is based on a similar question from CSEM. Authors of CSEM mentioned, that 72% of students "...who choose answers that used the idea that "motion" from either the loop or the magnet is necessary to create an induced current. Students may not seem the collapsing loop as changing the magnetic flux or the

rotating loops as not changing the magnetic flux.” (see Maloney et al., 2001, p. S18). It seems that Czech students are more “careful” and chose only possibilities they know for sure. About 35 % of students chose answer which corresponds with movement of the loop toward to the magnet; other nearly 30% of students chose answer which corresponds with movement of the magnet to the loop or the loop to the magnet. Only about 15% of students chose correct answer in the post-test (and about 10% in the pretest).

So, students seem to know that the voltage is induced when there is some movement between the magnet and the loop. Some of them maybe know the Faraday's law and know something about change of magnetic flux, but they seem to have problem to understand fully what a “change of magnetic flux” means. Also, they don't see that changing the area of the coil changes the flux.

Now, how to show them what is the area of the coil and what connection is between changes of the area of the coil and induced voltage?

As a “magnet” we use uniform magnetic field of thin neodymium magnets forming a plate, a coil is made from pliable wire and the induced voltage is measured by a voltmeter.

The overall setup can be seen in figure 7.

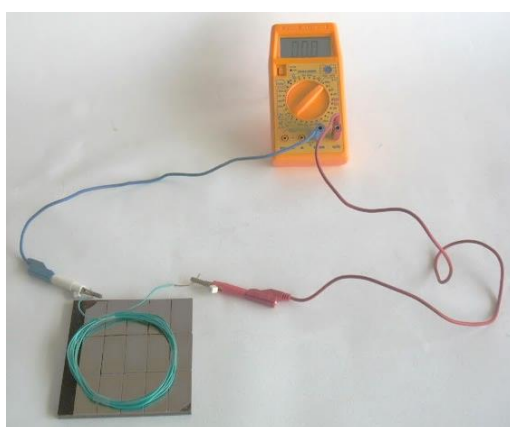


Figure 7. A coil in an uniform magnetic field

Using this equipment, we can show students that the voltage is induced when:

We deform the coil (which changes the area of the coil)

We move the coil to or from the magnets (if we are far enough from the magnets where the field is not uniform)

We move the coil outside the surface of the magnets (which changes the area in which magnetic lines intersects the coil)

We rotate the coil around its horizontal axis (which changes the angle between the coil and the direction of magnetic field lines).

Also, we can show them in which situation the voltage is *not* induced:

There is no movement of the coil with respect to the magnet (so, there is some magnetic flux, but it doesn't change)

We rotate the coil around its vertical axis (again, there is no change of magnetic flux)

We deform the coil with the core inside it (nearly all magnetic field is inside the core, so the important “area” is the area of the core and the magnetic flux stays practically constant).

4. Conclusion

The CCTEM was intended primarily as a diagnostic tool for Czech high school teachers. Therefore, it is only in Czech now. However, if you are interested in it, English version could be provided too.

Experiments we describe above are simple and mostly low-cost. However, they show effects students seem to have problem with, so they can help students to overcome their misconceptions. Verification of the influence of these experiments on students' comprehension of this area is in progress.

References

Koudelkova, V., Dvorak, L. (2014). High schools students' misconceptions in electricity and magnetism and how to diagnose them. *ICPE-EPEC 2013 Conference Proceedings*. Prague 2014. ISBN 978-80-7378-266-5. p. 898-905.

Available on: http://icpe2013.org/uploads/ICPE-EPEC_2013_ConferenceProceedings.pdf

D. P. Maloney, T. L. O'Kuma, C. J. Hieggelke and A. Van Heuvelen (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Am. J. Phys.* **69**, 12-23

Z. Sabatka, Z. Drozd, V. Koudelkova (2014). Interactive Physics Laboratory and Collection of Demonstration Experiments. *Proceedings of the World Conference on Physics Education 2012*. ISBN 978-605-364-658-7. p.1135-1141. Available on: <http://www.wcpe2012.org/proceedings.html>.

Affiliation and address information

Vera Koudelkova

Charles University in Prague

Faculty of Mathematics and Physics

Department of Physics Education

V Holešovičkách 2

180 00 Prague 8

Czech Republic

e-mail: vera.koudelkova@mff.cuni.cz

Příloha D3: Koudelková, V.: Ukázky lab. prací z elektřiny a magnetismu.

In: Jak získat žáky pro fyziku? 2. Sborník příspěvků semináře OS pro vyučování fyzice na ZŠ při FPS JČMF. Ed. R. Seifert. JČMF, Praha 2015. ISBN: 978-80-7015-122-8

Ukázky laboratorních prací z elektřiny a magnetismu

Věra Koudelková

KDF MFF UK, G Českolipská Praha 9; vera.koudelkova@mff.cuni.cz

Úvod

V příspěvku je popsáno pět laboratorních prací z elektřiny a magnetismu. Laborky¹⁷ jsou určeny studentům 2. ročníku vyššího gymnázia. Studenti na naší škole mají laboratorní práce povinně, střídají se v šesti skupinách na laboratorních pracích z fyziky, chemie, biologie. Z každého předmětu tak mají studenti laborky 6x ročně 2 hodiny, vždy polovina třídy najednou. Do tématu elektřiny a magnetismu vycházejí cca 2 laboratorní práce. Vzhledem k tomu, že se snažím, aby laboratorní práce seděly k právě probíranému tématu, vzniklo během několika posledních let 5 laboratorních prací z elektřiny a magnetismu. Laborky sice vznikly „uměle“ kvůli tomu, aby byl zaplněn povinný čas laboratorních prací, přesto ale doufám, že by mohly být inspirací i pro další učitele.

Cílem prezentovaných laboratorních prací je, aby si studenti vyzkoušeli zajímavé, ale poměrně jednoduché pokusy a měření, ale aby z nich také udělali nějaký obecný závěr. Zadání těchto laboratorních prací studenti dostanou na pracovním listu, součástí laborek je také společné shrnutí a diskuze o výsledcích.

Následující text stručně shrnuje obsah laboratorních prací. Připravené pracovní listy lze zájemcům případně zaslat.

Elektrostatika

Coulombův zákon a kutálení plechovky

Laboratorní práce je zaměřena na sílu mezi dvěma předměty. V první části je úkolem studentů odhadnout náboj na brčku: pokud jsou dvě nabitá brčka umístěna nad sebou, bude se horní brčko v určité vzdálenosti vznášet – tíhová síla, která na něj působí, je stejně velká jako elektrostatická odpudivá síla. Z rovnováhy sil lze odhadnout náboj na brčku, ten vychází na cca 10-20 nC. Celý experiment včetně výpočtu je podrobně popsán v publikaci [1], kap. 3.1.5. Studenty je potřeba upozornit, že odhad je pouze přibližný – Coulombův zákon platí pro bodové náboje, což brčko zcela jistě nesplňuje. Na druhou stranu řádová hodnota odpovídá, i výpočtem pomocí Gaussovy věty vychází náboj na brčku v řádech desítek nC.

Druhá část laboratorní práce se týká síly působící mezi nabitým brčkem a plechovkou – úkolem studentů je nejdříve rozpohybovat plechovku a zjistit, z jaké vzdálenosti plechovka reaguje na brčko a na nabitou tyč. Poté studenti zjišťují sklon nakloněné roviny, kterou plechovka ještě vyjede s pomocí brčka, dvou brček, resp. nabitě tyče.

¹⁷ Termín „laborky“ sice není spisovný, ale přesto si ho občas dovolím použít místo správnějšího laboratorní práce.

Kapacita a kondenzátor

Cílem laboratorní práce je prozkoumat, jak funguje kondenzátor a na čem záleží jeho kapacita. K měření kapacity je používán multimetr UT 601, viz např. [2].

Laborka je rozdělena do několika na sebe navazujících úkolů (v pracovním listu jsou úkoly podrobněji rozepsány):

- 1) Vytvořte kondenzátor z kelímku a alobalu. Změřte jeho kapacitu a porovnejte, zda dá větší ránu tento kondenzátor nebo plechovka (oboje nabité na stejný potenciál).
- 2) Zjistěte, jak závisí kapacita deskového kondenzátoru na ploše desek a na vzdálenosti mezi deskami.
- 3) Vytvořte svitkový kondenzátor z alobalu a eurofolie, změřte jeho kapacitu a navrhněte alespoň dva způsoby, jak by šlo jeho kapacitu zvětšit. Alespoň jeden způsob pak ověřte.

Kondenzátor z kelímku je podrobně popsán v publikaci [1] v kapitole 3.4.2. Pro laboratorní práce používáme kelímky 0,3 litru, které z důvodu bezpečnosti nabíjíme pouze plastovou tyčí, ne z vysokonapěťového zdroje. Pro porovnání „rány“, kterou dá kondenzátor a plechovka je vhodné oboje postavit na izolační podložku a spojit vodičem. Druhý konec kondenzátoru je vhodné uzemnit. Po nabití je potřeba vodič odstranit, aniž by došlo k vybití kondenzátoru a plechovky.

Deskový kondenzátor je vyroben z knihy a dvou listů alobalu. Studenti měří závislost kapacity na ploše desek a na počtu listů knihy mezi listy alobalu. Obě závislosti vynesou do připraveného grafu a rozhodnou, zda je závislost přímo úměrná nebo nepřímo úměrná. Experiment je včetně typických hodnot popsán např. v publikaci [1], kap. 3.5.1.

Svitkový kondenzátor je vyroben ze dvou listů alobalu a eurofolie – jeden list je vložen do folie, druhý je položen na eurofolii a celý kondenzátor je svinut podél delší strany (viz obr. 1). Podrobnější postup výroby kondenzátoru je popsán v textu [3], str. 15.



Obr. 1. Svitkový kondenzátor před svinutím (vlevo) a hotový kondenzátor připojený k měřáku kapacity – kapacita je 5,4 nF (vpravo)

Mezi možnosti, jak lze zvětšit kapacitu tohoto kondenzátoru patří např. zmáčknutí a jiné zmenšení vzdálenosti mezi deskami, případně zvětšení plochy desek. Typická kapacita tohoto kondenzátoru je v řádu nF.

Elektrické obvody

Odpor rezistoru

Úkolem studentů je určit odpor neznámého rezistoru čtyřmi různými způsoby a ty poté vzájemně porovnat.

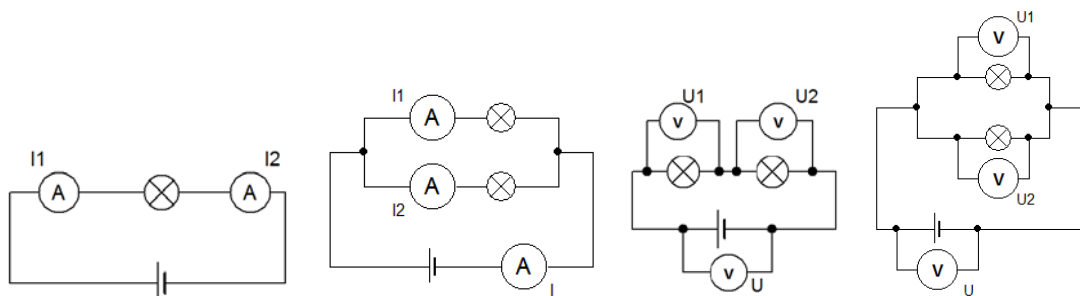
Odpor studenti určují pomocí Ohmova zákona, z VA charakteristiky, pomocí ohmmetru a pomocí tabulky barevného značení odporů.

Nejpřekvapivější je pro ně obvykle tabulka barevného značení, se kterou se naprostá většina z nich nikdy nesetkala. Studenti jsou také obvykle překvapeni, že hodnoty zjištěné jednotlivými metodami, se s rozumnou přesností shodují.

Proud a napětí v obvodu

Studenti postupně měří proud a napětí v sériových a paralelních obvodech se dvěma žárovkami (viz obr. 2). Jejich úkolem je nejdřív odhadnout, jaký je vztah mezi zjištěnými hodnotami a poté tento vztah ověřit měřením.

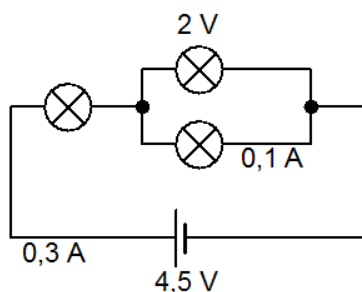
V laboratorní práci jsou použity žárovky, přestože jejich odpor není konstantní. Žárovky jsou pro studenty názornější a s používanými hodnotami napětí a proudu se závislost odporu žárovek na protékajícím proudu příliš neprojevuje. Stejně tak používáme z důvodu větší názornosti ploché baterie místo školních rozvodů.



Obr. 2. Obvody pro měření proudu a napětí v sériovém a paralelním zapojení

První obvod se týká běžné miskoncepce studentů – ti jsou často přesvědčeni, že se elektřina „ztrácí“ a tedy jeden ampérmetr musí nutně naměřit větší hodnotu.

Na závěr laboratorní práce studenti aplikují zjištěné vztahy na „kontrolní úkol“, ve kterém mají za úkol určit proud a napětí na jednotlivých žárovkách ve schématu na obr. 3.



Obr. 3. Schéma ke „kontrolnímu úkolu“

Přestože se jedná o zcela běžné sériově paralelní zapojení, studenti často vnímají kontrolní úkol jako výzvu a řeší ho s radostí. Ověření by bylo dobré provést experimentálně, vzhledem k nedostatku času ale se studenty pouze diskutujeme správné řešení a jeho zdůvodnění slovně.

Magnetické pole

Cílem laboratorní práce dát studentům prostor vyzkoušet experimenty, které by v hodině viděli pouze demonstračně.

Studenti tak postupně prozkoumají:

- magnetické pole jednoho magnetu a dvou magnetů, které se přitahují/odpuzují;
- magnetické pole vodiče s proudem, smyčky vyrobené z vodiče;
- magnetické pole cívky s proudem, to pak porovnájí s mag. polem magnetu;
- elektromagnet vyrobený z cívky s jádrem a bez jádra.

Magnetické pole permanentních magnetů studenti zkoumají pomocí pilin, magnetické pole vodiče s proudem, smyčky a cívky už pouze pomocí magnetky. U elektromagnetu studenti zjišťují, jak jeho síla (tj. množství kancelářských sponek, které udrží) závisí na přítomnosti jádra.

Názory studentů

Studenti na takto vedených laborkách oceňují hlavně názornost a zajímavost. Často se v hodnocení objevuje i to, že není potřeba doma složitě počítat chyby měření a že laborky nejsou nudné (což se občas u táhlých měření děje).

Pro ilustrace jsou zde uvedeny některé citace z hodnocení studentů:

- „Laborka byla jednoduchá (vyjma výpočtů v protokolu) a zábavná. Pokusy byly rychlé a ubíhaly svižně, tudíž odpadla nuda, která plyne z dlouhých a táhlých pokusů. Je o mnoho zábavnější si teorii z hodiny vyzkoušet v jednodušších pokusech.“
- „Poměrně jednoduché a nebylo těžké pokusy provést, ale zajímavé a poučné, tudíž jsem si dokázal přitažlivou a odpudivou sílu lépe představit.“
- „Tato forma protokolu mi vyhovuje víc, než když doma bojuju s tabulkama a grafama v excelu. Možná, kdybych uměla lépe počítat Coulombův zákon, tak by to bylo super 😊“

Závěr

Výše popsané laboratorní práce nepředstavují jediný typ laborek, se kterými se studenti během výuky fyziky setkají. Mohou ale sloužit jako inspirace, jak laboratorní práce oživit.

Máte-li připravené zajímavé laboratorní práce (nejen) z elektřiny a magnetismu, budu ráda za inspiraci. Naopak, pokud máte zájem o připravené pracovní listy k výše uvedeným laborkám, dejte mi vědět, ráda je zájemcům zašlu.

Literatura a další zdroje

- [1] DVOŘÁK, L., ŠABATKA, Z., KOUDELKOVÁ, V., DVOŘÁKOVÁ, I.: *Náboje, proudy a elektrické obvody*. Výukový a metodický text. P3K, Praha, 2012. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/#materialy>
- [2] Multifunkční RC metr UNI-T UT601. Dostupné online: <http://www.gme.cz/multifunkcni-rc-metr-uni-t-ut601-p722-338>
- [3] GOTTWALD, S., KOUDELKOVÁ, V.: *Elektrostatika*. Pracovní text k předmětu Praktikum školních pokusů 2. Dostupné online: <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/lib/exe/fetch.php?media=elektrostatika.docx>