

VIAZANÉ BÁDANIE V ÚLOHÁCH TMF

Lucia Mišianiková, Marián Kireš

Oddelenie didaktiky fyziky ÚFV PF UPJŠ v Košiciach

Abstrakt: Turnaj mladých fyzikov je súťaž pozostávajúca z úloh, kde problémové úlohy sú riešené metódou viazaného bádania a od žiakov sa očakáva vyššia miera samostatnosti. V príspevku sú predstavené riešenia dvoch vybraných úloh z ročníka 2015 – hrubá šošovka zameraná na experimentálne zručnosti žiakov, plánovanie experimentu a skúmanie čiastkových parametrov ovplyvňujúcich výsledky riešenia. Druhá úloha – tieneny pól je spojená so skúmaním javu a následnou tvorbou hypotéz ako ovplyvniť výsledky správania sa experimentu.

Kľúčové slová: Turnaj mladých fyzikov, viazané bádanie, hrubá šošovka, tieneny pól

Úvod

Turnaj mladých fyzikov je súťaž stredoškôľakov, kde žiaci každoročne riešia problémové fyzikálne úlohy charakteristické svojim otvoreným spracovaním. Ide o metódu viazaného bádania, kedy je žiakom predložený problém, a je na nich, aby predstavili čo najoriginálnejšie riešenie. K riešeniu pristupujú samostatne, s minimálnym smerovaním učiteľa a teoretické podklady overujú experimentom.

Znenie úlohy (hrubá šošovka)

Fľaša naplnená tekutinou môže pôsobiť ako šošovka. Vraví sa, že za slnečného dňa môže byť nebezpečné ponechať plnú fľašu na stole. Je možné takouto šošovkou pripáliť povrch?

Pre zvládnutie riešenia úlohy „hrubá šošovka“ potrebujú žiaci pochopiť a spracovať teoretickú časť princípu fungovania šošovky (tenkej a hrubej), zostaviť experimentálnu aparatúru, vyšetriť vplyvajúce parametre, urobiť merania a vyhodnotiť výsledky.

A. Postup prípravy – TEORETICKÁ ČASŤ

Žiaci by mali zvládnuť odpovedať na otázky:

Čo je to tenká šošovka a aké ma využitie? V čom sa líši od hrubej šošovky? Čo musia spĺňať lúče prechádzajúce šošovkou, aby sme vytvorili ostrý obraz svetelného zdroja?

Tenká šošovka - ak je hrúbka šošovky vzhľadom na polomery jej guľových plôch zanedbateľná ($h \ll r$), resp. ak sú dve zakrivené povrchy dostatočne blízko seba, že je možné zanedbať chyby súvisiace s hrúbkou. (nastáva iba jeden lom).

V opačnom prípade hovoríme o **hrubej šošovke**.

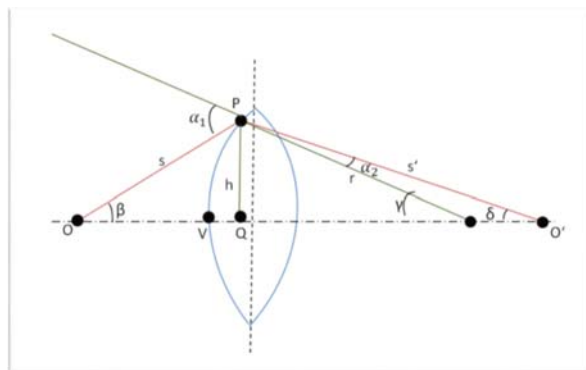
Pri zobrazovaní predmetov lúčmi, ktoré zvierajú s optickou osou len malé uhly (paraxiálne) a lúčmi pri optickej osi sa predmet zobrazuje s dostatočnou presnosťou. V paraxiálnom prostredí sa bod zobrazí ako bod, priamka ako priamka a rovina ako rovina. Lúče vzdialenejšie od osi sa pri lome rozbiehajú a obraz je neostrý.

Zobrazovacia rovnica tenkej šošovky

Uvažujme tenkú šošovku tvorenú guľovou plochou polomeru r (Obr. 1).

Predpokladáme index lomu vonkajšieho prostredia $n_1=1$, index lomu zakrivenej šošovky $n_2>1$ a relatívny index lomu oboch prostredí $n = \frac{n_2}{n_1}$.

Nech je v bode O umiestnený zdroj svetla, ktorý vysiela svetelný lúč smerom ku guľovej ploche po dráhe OP (v bode O' sa stretnú len tie lúče, ktoré sú vyžiarené z bodu O pod malým uhlom).



Obr. 1: Tenká šošovka

Označme α_1 uhol dopadajúceho lúča a α_2 uhol odrazeného. Zo Snellovho zákona vyplýva:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

Keďže α je malé, platí : $\sin \alpha \cong \alpha$. Dosadením do (1) dostávame:

$$\alpha_1 = n \alpha_2 \quad (2)$$

Z obr. 1 vyplýva: $\alpha_1 = \beta + \gamma$ a $\gamma = \alpha_2 + \delta$

Dosadením do (2) dostávame:

$$\beta + \gamma = n(\gamma - \delta) \quad (3)$$

Keďže uhly β, γ, δ sú malé, platí : $\text{tg } \beta \cong \beta, \text{tg } \gamma \cong \gamma, \text{tg } \delta \cong \delta$

$\text{tg } \beta = \frac{h}{s}$ $\text{tg } \gamma = \frac{h}{s'}$ $\text{tg } \delta = \frac{h}{r}$ dosadením do (3) dostávame:

$$\frac{1}{s} + \frac{n}{s'} = \frac{n-1}{r} \quad (4a)$$

Pre malé uhly platí:

$$\frac{1}{a} + \frac{n}{b} = \frac{n-1}{r} \quad (4b)$$

kde a je predmetová vzdialenosť, b je obrazová vzdialenosť, r je polomer krivosti šošovky, $n = \frac{n_2}{n_1}$ je relatívny index lomu dvoch prostredí.

Všeobecný tvar zobrazovacej rovnice šošovky s rôznymi polermi krivosti r_1, r_2 dostávame:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (4c).$$

Zobrazovacia rovnica hrubej šošovky

Uvažujme hrubú šošovku tvorenú guľovými plochami rovnakého polomeru r (Obr. 2).

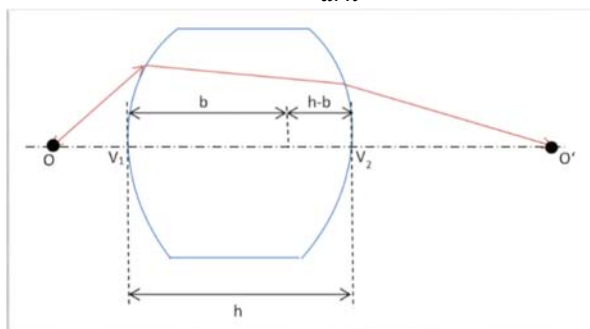
Výsledný obraz bodového zdroja dostaneme postupným zobrazením predmetu prvou a druhou guľovou plochou. Obraz vytvorený prvou zobrazovacou plochou považujeme za predmet pre druhú zobrazovaciu plochu, ktoré potom vytvorí hľadaný obraz. Pre lom na guľovej ploche platí rovnica (4b).

Lom na prvej guľovej ploche nastáva zo vzduchu do skla na dutej guľovej ploche. Odtiaľ

$$b = \frac{a(n-1)-r}{arn} \quad (5)$$

Predmetová vzdialenosť vzniknutého obrazu pre zobrazovanie druhou guľovou plochou je rovná

$$a' = h - b = h - \frac{a(n-1)-r}{arn} \quad (6)$$



Obr. 2: Hrubá šošovka

Lom na zadnej guľovej ploche nastáva zo skla do vzduchu ($n < 1$) na vypuklej guľovej ploche a tak dosadením do (4b) dostávame vzťah pre zobrazovaciu rovnicu hrubej šošovky:

$$\frac{n}{h - \frac{a(n-1)-r}{arn}} + \frac{1}{b'} = -\frac{1-n}{r} \quad (7)$$

B. Postup prípravy – EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Žiaci by si mali vedieť samostatne zostrojiť jednoduchú aparatúru experimentu. Na obr. 3 je zobrazený princíp fungovania hrubej šošovky pomocou valcovej nádoby naplnenej vodou a rovnobežného zväzku laserových lúčov, ktoré sa po prechode šošovkou zbiehajú do jedného ohniska.



Obr. 3: Zväzok laserových lúčov prechádzajúcich hrubou šošovkou zbiehajúci sa do jedného bodu



Obr. 4: Rôzne tvary hrubej šošovky: Hrubá šošovka valcového (vľavo) a guľového (vpravo) tvaru

Skúmanie parametrov

Zadanie úlohy nehovorí o tvare, veľkosti, farbe použitej fľaše či o ostatných parametroch ovplyvňujúcich výsledok merania. Je preto na uvážení žiakov, ktoré parametre považujú za najdôležitejšie a podľa možností ich preskúmať. Snahou je vytvoriť čo najefektívnejšiu hrubú šošovku.

❖ Tvar fľaše

Valcová fľaša sústreďuje lúče pozdĺž línie rovnobežne s osou, no nie natoľko, aby spôsobila požiar. Malý guľový tvar ako je dažďová kvapka zasa nesústreďuje dostatočné množstvo energie k zapáleniu materiálu. Dokonca aj dobrá sklenená šošovka o veľkosti 1 palca zaostrujúca na zápalný materiál nemusí spôsobiť požiar.

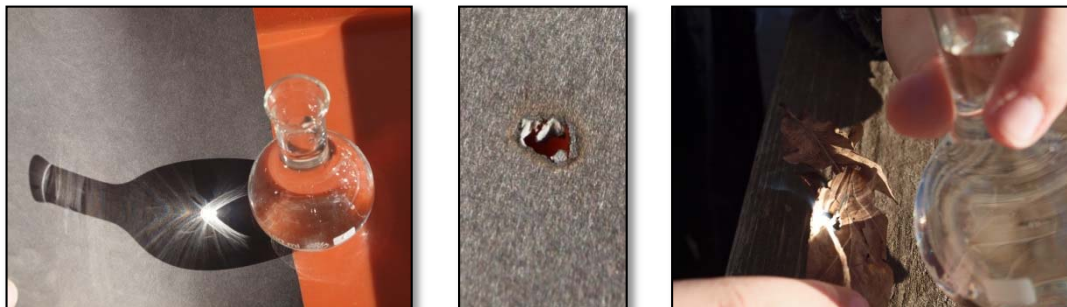
Efektívnu šošovku možno vytvoriť pomocou priehľadnej nádoby guľového tvaru (varná banka, priehľadné igelitové vrecúško) naplnenej priehľadnou tekutinou (voda, glycerol). Predmet alebo povrch, ktorý chceme zapáliť musí byť umiestnený do ohniska takto vytvorenej šošovky.

❖ Druh svetelného zdroja

Meranie sme urobili v laboratórnych podmienkach, kde sme použili zdroj umelého svetla – žiarovky rôzneho typu a výkonu (25 W – 100 W) a reflektor. Merania výrazného zvýšenia teploty boli však neúspešné. Najefektívnejší zdroj svetla je slnečné žiarenie

❖ Zápalný materiál

K dosiahnutiu požadovaného výsledku použijeme rôzne farby a druhy materiálov. Výhodné je použiť papier čiernej farby, ktorý pohltí maximálne množstvo svetla a teplota v ohnisku sa zvýši.



Obr. 5: Druhy zápalných materiálov – čierny výkres (vľavo), suchý list (vpravo)

❖ Farba a materiál fľaše

Pre dosiahnutie rôznych výsledkov meníme farebné varianty fliaš (možné meniť farbu kvapaliny, ktorou je fľaša naplnená). Farebné fľaše však časť svetla pohlcujú a preto je najvýhodnejšie použiť priesvitné fľaše. Z hľadiska materiálu fľaše je výhodnejšie použiť plastové fľaše, ktoré sú prevažne tenšie ako bežné sklenené fľaše a tým na výsledok merania má podstatný vplyv iba hrúbka kvapaliny, ktorou je fľaša naplnená.

❖ Poloha Slnka

Hlavnú úlohu zohráva poloha Slnka. Skoro ráno, alebo v predvečer by sústredený bod mohol zapáliť blízke predmety, záclony,... Dopoludnia alebo popoludní, keď je slnko pod väčším uhlom, sústredený bod môže byť iba mimo dna nádoby. Na poludnie, keď je slnko nad hlavou by malo byť aktívne miesto bezprostredne pod fľašou, avšak nedostatočne sústredené, málo horúce a s nedostatkom kyslíka potrebného k horeniu.

Meranie zápalnej teploty

Dôležitou časťou spracovania úlohy sú merania. Teplotu v mieste ohniska šošovky je možné merať pomocou termočlánku či infračerveného teplomera.

Spracovanie výsledkov

Je potrebné zhodnotiť, k akým výsledkom, teplotám v ohnisku a najvýhodnejším parametrom sme sa dopracovali.

Namerané hodnoty teplôt uvádzame v Tab.1. Merania boli uskutočnené v marci v popoludňajších hodinách, kedy slnečná aktivita nebola maximálna. Za najvhodnejší zápalný materiál považujeme čierny papier, ktorý dostatočne pohltí teplo a spôsobil tlenie materiálu v ohnisku vzdialenom 4 cm od šošovky.



Obr. 6: Meranie teploty v ohnisku šošovky pomocou termočlánku a meracieho panelu Coach alebo infračerveného teplomera

Tab. 1: Tabuľka teplôt nameraných v ohnisku hrubej šošovky valcového a guľového tvaru

	Nádoba valcového tvaru	Nádoba guľového tvaru
Teplota mimo ohniska (oranžový plast)	20 °C	20 °C
Teplota v ohnisku (oranžový plast)	21 °C	25 °C
Teplota mimo ohniska (čierny výkres)	25 °C	25 °C
Teplota v ohnisku (čierny výkres)	35 °C	125 °C

Zadanie úlohy (tienený pól): Umiestnite neferomagnetický kovový disk nad elektromagnet pripojený na striedavé napätie. Disk bude odpudzovaný, ale neroztočí sa. Ak však medzi magnet a disk sčasti zasuniete neferomagnetickú platňu, disk sa roztočí. Preskúmajte tento jav.

Ukážme, že to funguje

Zo súpravy školského rozkladného transformátora použijeme cievku so 600 závitmi a prúdom do 2A, napájanú zdrojom striedavého napätia (je vhodné, ak dokážeme meniť veľkosť napätia). Do cievky zasuňme feromagnetické lístkové jadro, čím vytvoríme otvorený magnetický obvod. Neferomagnetický disk so zvislou osou rotácie (napr. prípravok slúžiaci na demonštráciu vírivých prúdov) uložme tesne nad cievku s jadrom tak, aby čo možno najväčšia časť disku zasahovala do magnetického poľa vytváraného cievkou s jadrom. Neferomagnetickú platňu zasunieme medzi cievku a rotačný disk tak, aby sme zatienením časti pólu dosiahli roztočenie disku (ak zatiaľ nerozumieme príčine rotácie, pri zatíňovaní pólu skúste viaceré možnosti :).



Obr.7: Prvotná aparatura na overenie funkčnosti zariadenia

Pri dostatočne voľnom uložení disku na osi otáčania a vhodnom napätí zdroja pozorujeme rotáciu neferomagnetického disku. Pri hľadaní vhodného miesta zasunutia neferomagnetickéj platne sa vám iste podarí vyvolať rotáciu aj do opačného smeru.

Prečo by sa mal disk roztočiť?

Zamyslime sa postupne nad fyzikálnymi javmi, ktoré pri opísanom zariadení uplatňujú.

1. Čo sa deje s diskom, umiestneným nad cievkou?

Cievka napájaná prúdom I je zdrojom magnetického poľa s magnetickou indukciou \mathbf{B} . Ak kolmo na indukčné čiary magnetického poľa cievky umiestnime uzavretú plochu s veľkosťou S , danou plochou tečie magnetický indukčný tok $\Phi = B \cdot S$. Keďže v našom prípade je cievka napájaná striedavým prúdom, produkuje premenlivé (nestacionárne) magnetické pole a teda aj premenlivý magnetický indukčný tok.

Nad cievkou umiestnený neferomagnetický disk predstavuje vodivý materiál nachádzajúci sa v premenlivom magnetickom poli. Vo vodivom materiáli disku sa v dôsledku javu **elektromagnetickej indukcie** vytvára indukované elektromotorické napätie. Veľkosť indukovaného napätia U_i závisí od veľkosti zápornej časovej zmeny magnetického indukčného toku $\Delta\Phi$ a je daná vzťahom: $U_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Vodivým materiálom disku tečie indukovaný prúd, ktorý svojim silovým účinkom pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvolala (v zmysle znenia Lenzovho zákona). Príčinou vzniku indukovaného prúdu je zmena magnetického indukčného toku cievky. Vo vodivom materiáli disku preto vzniká indukovaný prúd, tvoriaci magnetický tok pôsobiaci proti zmenám magnetického toku cievky. Disk je striedavo odpudzovaný a priťahovaný k cievke.

2. Čo sa stane, ak medzi cievku a disk zasunieme neferomagnetickú platňu?

Platňu zasúvame tak, aby zakrývala časť magnetického poľa cievky. V platni sa rovnako ako v disku indukujú vírivé prúdy. Zakrytá časť cievky spolu so zasunutým diskom vytvára výsledný magnetický indukčný tok

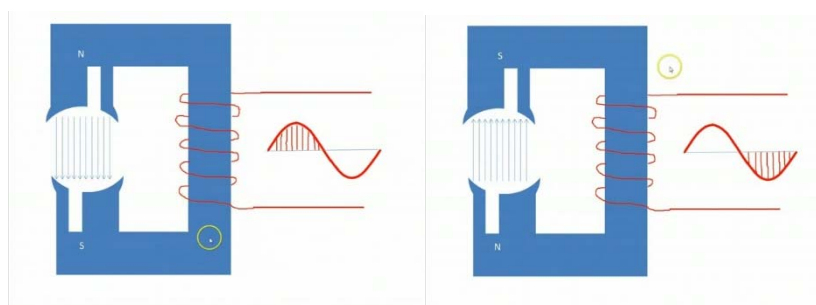
prechádzajúci časťou rotačného disku. Druhou časťou rotačného disku (nad nezakrytou časťou cievky) prechádza magnetický indukčný tok produkovaný iba cievkou. Zasunutím platne vytvoríme v rotačnom disku dve oblasti, s navzájom rôzne veľkými a v čase sa meniacimi indukčnými tokmi.

3. Čím je vyvolané otáčanie?

V technickej praxi sa tienový pól využíva pri konštrukcii elektromotorov napájaných jednofázovým striedavým napätím. Aby sa rotor elektromotora otáčal, je potrebné vytvoriť točivé magnetické pole. Ak je cievka elektromotora napojená na striedavý prúd, vytvára premenlivé magnetické pole, avšak nie pole točivé. Na jeho vytvorenie sa používa práve tienový pól.

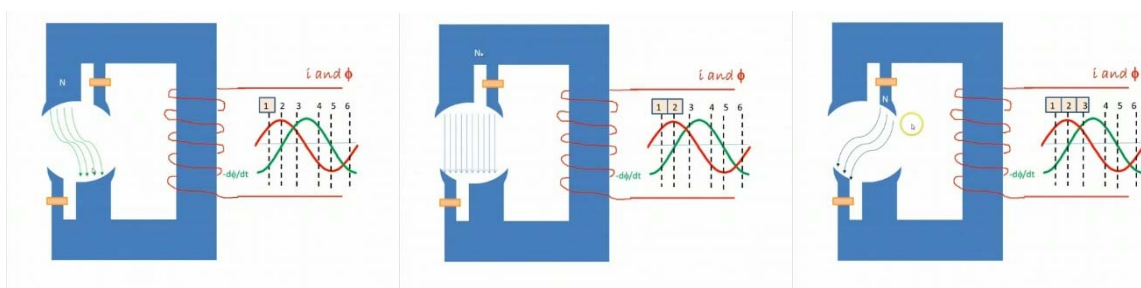
Na internete je možné nájsť cez kľúčové slová: „shaded pole motor“, mnoho simulácií, videí a vysvetlení princípu činnosti. Jedným zo zdrojov je video: <https://www.youtube.com/watch?v=MyEnwJ1Lazg>, k ktorého vyberáme kľúčové snímky.

Modrou farbou je zobrazený stator elektromotora, ktorý je rozdelený na dve časti, širšiu a užšiu (tá bude predstavovať tienový pól).



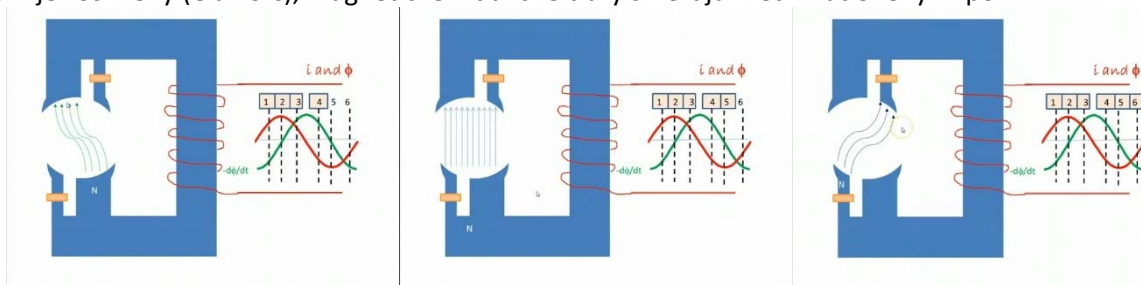
Obr.8 a, b: Magnetické pole elektromotora na jednofázové striedavé napätie

Striedavým prúdom (znázornený červenou krivkou v grafe) napájaná cievka statora vytvára magnetické pole. Bez použitého tienenia prechádzajú magnetické indukčné čiary medzi pólmi statora (Obr. 8 a,b), polarita magnetického poľa závisí na pol perióde striedavého prúdu.



Obr.9 a, b, c: Magnetické pole elektromotora s tienovým pólom v prvej pol perióde

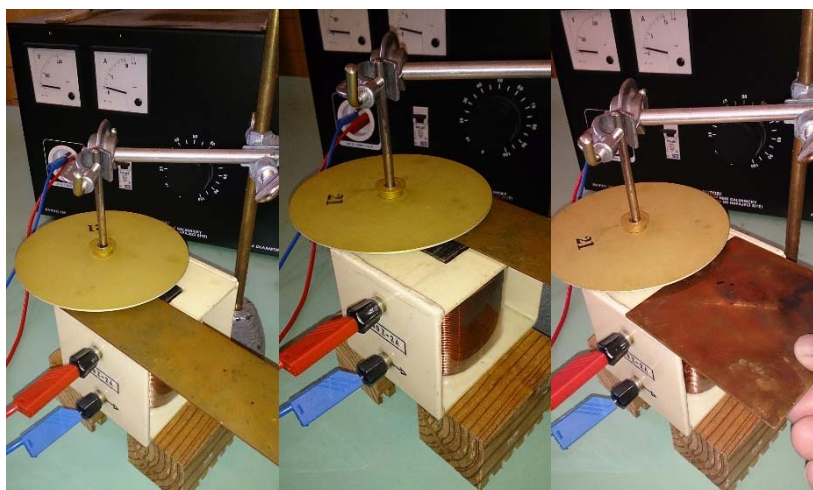
Ak na časť magnetického obvodu statora upevníme masívnu medenú obruč, indukujú sa v nej vírivé prúdy vytvárajúce indukovaný magnetický tok ($-\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$), znázornený zelenou krivkou v grafe. Indukovaný tok tienového pólu v čase [1] na Obr. 9 a, pôsobí proti toku statora, magnetické indukčné čiary smerujú medzi nezatičenými časťami statora. V čase [2] je indukovaný tok tienového pólu nulový (Obr. 9 b), magnetické indukčné čiary smerujú medzi pólmi statora. V čase [3] je indukovaný tok v smere toku statora, tok tienovým pólom je zosilnený (Obr. 9 c), magnetické indukčné čiary smerujú medzi zatičenými pólmi.



Obr.10 a, b, c: Magnetické pole elektromotora s tienovým pólom v druhej pol perióde

V druhej pol perióde sa celý dej opakuje, iba s opačnou polaritou magnetických pólov (Obr. 10 a, b, c). Pomocou tienového pólu sme získali točivé magnetické pole medzi pólmi statora. Ak je v priestore medzi pólmi statora umiestnený magnetický rotor, sleduje svojim rotačným pohybom pohyb točivého magnetického poľa statora.

Situácia je analogická aj pri použití zasúvania platne medzi cievku a rotačný disk. Na Obr. 11 a, b sú zobrazené zasunutia, ktoré vyvolávajú rotáciu v zápornom (kladnom) smere a zasunutie na Obr. 11 c, ktoré rotáciu nevyvoláva.



Obr.11 a, b, c: Rôzne možnosti zasúvania platne

Záver

S riešením úlohy „hrubá šošovka“ sa spája množstvo otázok a tvorivých nápadov realizovania experimentu, jeho vylepšenia, zmeny parametrov a snaha navrhnuť, či zostrojiť zariadenie slúžiace na ohrev vody s dostatočným výkonom. Na základe výsledkov realizovaných experimentov je za vhodných podmienok a počasia možné posúdiť nebezpečenstvo vzniku požiaru a navrhnuť vhodné opatrenia. (Metodické materiály - <http://lnk.sk/y3Y>). Pre splnenie zadania úlohy „tienový pól“ je potrebné jav preskúmať pri zmene rôznych parametrov ako sú polomer disku, hrúbka platne a disku, pomer veľkosti plôch zatienennej voči nezatienennej, veľkosť B , frekvencia striedavého prúdu, či smer rotácie disku.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci projektu APVV-0715-12: Výskum efektívnosti metód inovácie výučby matematiky, fyziky a informatiky.

Literatúra

BLACKBURN, J. 2010. Water Filled Jugs Can Cause Fires (DAC, 2010), <http://www.azfcf.org/docs/DAC/Water-Filled-Jugs.Blackburn.pdf>.

FLEMING, J. A. 1981. On electromagnetic repulsion. Proc. Royal Inst. of Great Britain (March 1891), pp. 72-92,

https://ia600706.us.archive.org/20/items/RoyalInstitutionLibraryOfScience-PhysicalScienceVol4/RoyalInstitutionVol04_text.pdf and Journ. Soc. of Arts (May 14, 1890),pp. 296-316,

https://ia600301.us.archive.org/32/items/proceedings13roya/proceedings13roya_bw.pdf.

GIBBS. K. 2013. The shaded pole motor (schoolphysics, 2013), http://www.schoolphysics.co.uk/age16-19/Electricity%20and%20magnetism/Electromagnetism/text/Electric_motor_ac/index.html.

LONG, W. F. 2007. Thick lenses and lens systems (drdrbill.com, 2007), http://www.drdrbill.com/downloads/optics/geometric-optics/Thick_Lenses.pdf.

WALKER, J. 1975. Turning in the shade of a magnetic field. In: The Flying Circus of Physics with Answers (John Wiley & Sons, 1975),

https://ia601208.us.archive.org/4/items/TheFlyingCircusOfPhysicsWithAnswers/Walker-TheFlyingCircusOfPhysicsWithAnswers_text.pdf.

Easy shaded pole motor experiment (youtube.com, from stroll365, 11.07.2009),
<http://youtu.be/VvvEvccXRGs>.

Shaded pole motor experiment (youtube.com, from Thomas Kim, 30.07.2013),
<http://youtu.be/2jOOwyzFCj0>.

<http://kf-lin.elf.stuba.sk/~ballo/fyzika/Kapitola19-final.htm>.

5 Ways to Start a Fire, Using Water (youtube.com, from Grant Thompson - "The king ofRandom", 27.09.2013), <http://youtu.be/HCyHC7lnMyQ>.

Wikipedia: Cylindrical lens, https://en.wikipedia.org/wiki/Cylindrical_lens.

Wikipedia: Shaded-pole motor, http://en.wikipedia.org/wiki/Shaded-pole_motor.

Adresa autorov

Mgr. Lucia Mišianiková, doc. RNDr. Marián Kireš, PhD.

Oddelenie didaktiky fyziky

ÚFV Prírodovedecká fakulta UPJŠ v Košiciach

Park Angelinum 9, 041 01 Košice

lucia.misianikova@student.upjs.sk, marian.kires@upjs.sk