

59. ročník Fyzikálnej olympiády  
v školskom roku 2017/2018  
Kategória B – domáce kolo  
Text úloh

## 1. Strel'ba z hůfnice

Charakter stredovekých vojen významne ovplyvnilo použitie palných zbraní. Išlo o ručné zbrane ale aj delostrelecké zbrane. V dobe husitských vojen sa významne uplatnila hůfnica, obr. B–1, ktorá vystrel'ovala kamenné alebo železné gule s priemerom až niekoľko desiatok centimetrov. Dostrel na vodorovnej ploche bol až 500 m.



Obr. B–1

a) Uvažujme hůfnicu s maximálnym dostrelom  $x_m = 450$  m na vodorovnej rovine. Určte rýchlosť  $v_0$  výstrelu gule.

Vojsko útočí na obrancov, ktorí sa opevnili na kopci s výškou  $h = 150$  m nad okolitým terénom a pozíciou hůfnice. Obranci striel'ajú na útočníkov, a preto je účelné umiestniť hůfnice čo najďalej od kopca.

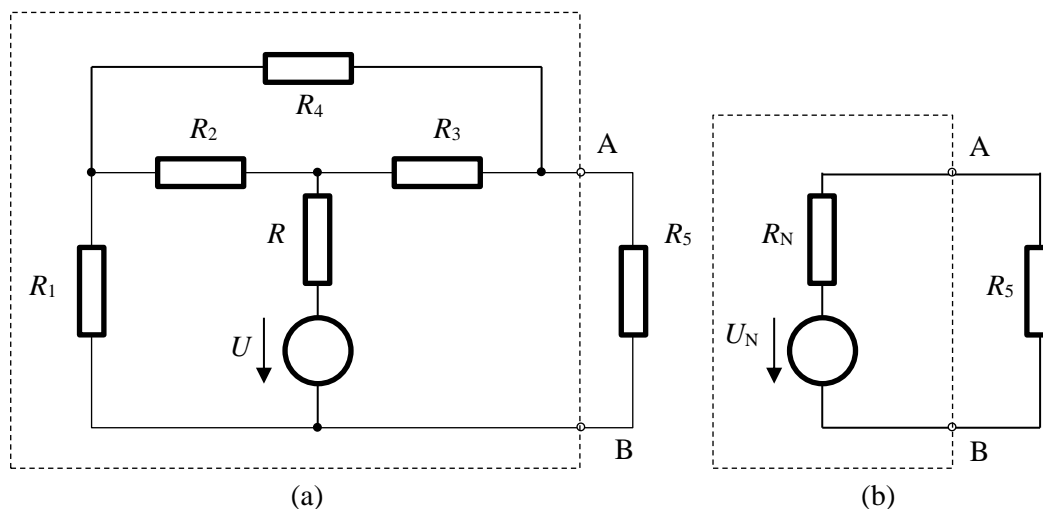
- b) Nakreslite situačný obrázok terénu s pozíciou obrancov a útočníkov a vyznačte v ňom dané a počítané veličiny uvedené v úlohe.
- c) Určte najväčšiu vodorovnú vzdialenosť  $x_1$  hůfnice od vrcholu kopca, aby strela odpálená z hůfnice doletela na vrchol kopca.
- d) Určte uhol  $\alpha_1$  vzhľadom na vodorovnú rovinu pri strel'be zo vzdialenosti  $x_1$ , pod ktorým treba guľu vystreliť, aby doletela na vrchol kopca. Určte dobu  $t_1$  letu gule medzi výstrelom a dopadom na vrchol kopca v tomto prípade.
- e) Určte vektor rýchlosti  $\mathbf{v}_1$  gule tesne pred dopadom na vrchol kopca pri splnení podmienok podľa častí b) a c) – veľkosť  $v_1$  a uhol  $\beta_1$  vzhľadom na vodorovnú rovinu.

Pri riešení úlohy odpor vzduchu a rozmery hůfnice neuvažujte,  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Vo všetkých prípadoch je rýchlosť výstrelu hůfnice rovná hodnote  $v_0$  určenej v časti a) úlohy.

## 2. Théveninova veta

Pri riešení elektrických obvodov sa používajú rôzne metódy zjednodušenia výpočtov. Jednou z nich je *Théveninova veta*, ktorá hovorí, že akýkoľvek lineárny obvod sa dá vzhľadom na dve zvolené svorky nahradiť jednoduchým náhradným napäťovým zdrojom s vnútorným napätím  $U_N$  a vnútorným odporom  $R_N$ .

Na obr. B-2 (a) je schéma elektrického obvodu s jedným zdrojom napätia s vnútorným napätím  $U$  a vnútorným odporom  $R$  a sieťou rezistorov  $R_1, R_2, R_3, R_4$  a  $R_5$ . Máme určiť prúd  $I$  prechádzajúci rezistorom  $R_5$ . Obvod rozdelíme na rezistor  $R_5$  a zvyšok, v obrázku označený čiarkovaným obdĺžnikom. Zvyšok, obvod v obdĺžniku, nahradíme jednoduchým zdrojom napätia s napätím  $U_N$  a odporom  $R_N$ , obr. B-2 (b).



Obr. B-2

Ak má byť náhrada elektricky ekvivalentná, musia sa obidva obvody správať rovnako voči pripojenému rezistoru  $R_5$ . Keďže máme určiť dva parametre náhradného obvodu  $U_N, R_N$ , stačí, ak sa zhoduje prúd rezistorom  $R_5$  pre dve rôzne hodnoty jeho odporu (ide o dva body lineárnej záťažovej charakteristiky). Najjednoduchšie je uvažovať dva prípady:  $R_5 = 0$  (obvod nakrátko – skrat) a  $R_5 \rightarrow \infty$  (obvod naprázdno).

- Nakreslite schému obvodu (a) nakrátko vzhľadom na svorky A, B. Určte prúd nakrátko  $I_K$  medzi svorkami A, B.
- Nakreslite schému obvodu (a) naprázdno vzhľadom na svorky A–B. Určte napätie naprázdno  $U_P$  medzi svorkami A, B.
- Určte hodnoty napätia  $U_N$  a odporu  $R_N$  náhradného zdroja a prúd  $I$  prechádzajúci rezistorom  $R_5$ , obr. B-2 (a).

Úlohu riešte všeobecne a potom pre hodnoty:  $U = 12 \text{ V}$ ,  $R = 10 \text{ } \Omega$ ,  $R_1 = 20 \text{ } \Omega$ ,  $R_2 = 25 \text{ } \Omega$ ,  $R_3 = 50 \text{ } \Omega$ ,  $R_4 = 100 \text{ } \Omega$ ,  $R_5 = 200 \text{ } \Omega$ .

### 3. Magnetický dipól v magnetickom poli

Atómy a jednotlivé elementárne častice predstavujú aj magnetické dipóly. Magnetický dipól opisuje vektorová veličina *magnetický dipólový moment* –  $\mathbf{m}$ . Magnetické pole s indukciou  $\mathbf{B}$  pôsobí na magnetický dipól momentom sily  $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$  (1). V dôsledku toho jednotlivé atómy látky sa natáčajú do smeru magnetického poľa, čo sa navonok prejavuje ako magnetizácia látky. Magnetický moment je spojený jednak so spinom častíc atómu (elektrónov a jadra), jednak s orbitálnym pohybom elektrónov.

- S použitím vzťahu (1) pre moment sily  $\mathbf{M}$  vyjadrite magnetický moment  $\mathbf{m}$  kružnicovej slučky s polomerom  $r$  a prúdom  $I$ .
- Pri otáčaní slučky okolo osi kolmej na smer  $\mathbf{B}$  koná magnetické pole prácu  $W$  a tak sa mení potenciálna energia  $E_p$  slučky v magnetickom poli, pričom  $W = -\Delta E_p$ . Určte, pri ktorej orientácii slučky je potenciálna energia  $E_p$  maximálna a pri ktorej minimálna. Určte rozdiel  $\Delta E_p$  potenciálnej energie v stavoch s maximálnou a minimálnou potenciálnou energiou slučky v magnetickom poli.

Ako jednoduchý model uvažujte Bohrov model atómu vodíka. Podľa tohto modelu elektrón obieha okolo protónu po kružnicovej trajektórii, pričom moment hybnosti  $L$  elektrónu je kvantovaný,  $L = n \hbar$ , kde  $n = 1, 2, \dots$  a  $\hbar = 1,05 \times 10^{-34}$  J·s je redukovaná Planckova konštanta.

- Určte magnetický dipólový moment prislúchajúci pohybu elektrónu okolo jadra v základnom kvantovom stave  $n = 1$  (*Bohrov magnetón*).

*Pozn.: Obiehanie elektrónu po kružnici možno považovať za kružnicovú slučku s prúdom  $I = e/T$ , kde  $e$  je náboj elektrónu a  $T$  doba obehu elektrónu okolo jadra.*

- Základný stav elektrónu v magnetickom poli je stav s minimálnou potenciálnou energiou. Stav s maximálnou potenciálnou energiou sa nazýva excitovaný. Určte rozdiel  $\Delta E_p$  excitovaného a základného stavu v magnetickom poli s indukciou  $B = 2,0$  T pre orbitálny pohyb elektrónu v základnom stave atómu vodíka. Určte pomer  $\Delta E_p/E_T$  pri teplote  $T = 300$  K, kde  $E_T = k_B T$  je stredná hodnota tepelnej energie dipólu pri termodynamicknej teplote  $T$ ,  $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$  J·K<sup>-1</sup> je Boltzmannova konštanta.

Potrebné konštanty vyhládajte v tabuľkách alebo na internete.

#### 4. Meranie stratového výkonu cievky – experimentálna úloha

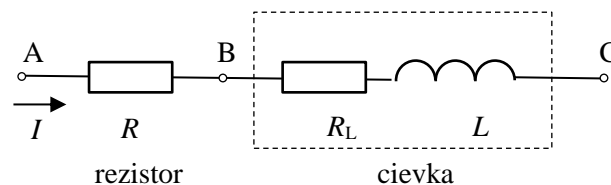
Induktor je ideálna súčiastka elektrického obvodu, ktorá sa realizuje pomocou cievky, a to vzduchovej alebo s jadrom. Cievka však nie je ideálny induktor, lebo pri jej pripojení na zdroj striedavého prúdu vykazuje straty výkonu.

- a) Uved'te, aké druhy strát výkonu vznikajú v cievke pri napájaní striedavým prúdom, a akou funkciou frekvencie sú jednotlivé druhy stratového výkonu cievky.

Úlohou merania je určiť stratový výkon cievky s feromagnetickým jadrom pri striedavom prúde  $I$  cievky s efektívnou hodnotou približne 10 mA.

K dispozícii máte iba zdroj striedavého napätia s frekvenciou približne  $f = 1$  kHz, cievku, sadu rezistorov s rôznymi hodnotami odporu  $R$  a digitálny voltmeter.

Cievka má impedanciu, ktorú vnímame ako sériovú kombináciu rezistora s odporom  $R_L$  a induktora s indukčnosťou  $L$ . Pomer reálnej a imaginárnej zložky impedancie cievky určte porovnaním s odporom rezistora  $R$ , zapojeného do série s cievkou, obr. B–3.



Obr. B–3

Na experiment použite cievku s železným alebo feritovým jadrom, najlepšie s indukčnosťou rádovo desatiny až jednotky henry a zdroj s nastaviteľným napätím  $U$  a frekvenciou  $f$  (nízkofrekvenčný generátor). Zdroj pripojte k svorkám A, C. Pomocou multimetra pri vhodnom rozsahu striedavého napätia zvolte hodnotu odporu  $R$  tak, aby bolo napätie na rezistore a na cievke približne rovnaké.

- b) Pomocou multimetra prepnutého na meranie odporu ( $\Omega$ ) zmerajte čo najpresnejšie odpor  $R$  rezistora. Zmerajte aj odpor  $R_{L0}$  cievky (multimeter meria pri konštantnom prúde, tzn. získate jednosmerný odpor).
- c) Pomocou merania napätia na rezistore nastavte požadovanú hodnotu striedavého prúdu  $I = 10$  mA (možno zvolit' aj inú hodnotu podľa možností použitých prístrojov).
- d) Zmerajte efektívne hodnoty napätí  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{AC}$  medzi príslušnými svorkami (multimetrom na rozsahoch striedavého napätia meriame efektívnu hodnotu napätia).
- e) Pomocou nameraných hodnôt napätia zostrojte fázorový diagram obvodu.
- f) Odvod'te vzťah pre odpor  $R_L$  cievky ako funkciu odporu  $R$  a zmeraných napätí a vypočítajte hodnotu vlastného odporu  $R_L$  cievky. Hodnotu  $R_L$  porovnajte s hodnotou  $R_{L0}$  a prípadný rozdiel zdôvodnite.
- g) Uved'te vzťah pre činný výkon  $P$  cievky ako funkciu odporu  $R$  a meraných napätí a vypočítajte hodnotu  $P$  pre dané meranie. Uved'te, ako sa tento výkon prejaví.

Meranie zopakujte pre iné hodnoty prúdu  $I$  a iné hodnoty frekvencie  $f$  a výsledky porovnajte.

---

**59. ročník Fyzikálnej olympiády – Úlohy domáceho kola kategórie B**

Autori návrhov úloh:	Ivo Čáp 1, 2, 3, 4
Spracovanie návrhov úloh a riešení:	Ivo Čáp
Recenzia a úprava úloh a riešení:	Daniel Klivanec, Lubomír Mucha
Redakcia:	Ivo Čáp
Vydal:	Slovenská komisia fyzikálnej olympiády IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2017