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

Text úloh

1. Lövés a tarackból

(*A tarack az ágyúhoz hasonló, de annál rövidebb csövű löveg.*)
A középkori csaták jellegét jelentősen befolyásolta a lőfegyverek használata. Itt gondolunk a kézifegyverekre, de a lövegekre is. A tarack legelőször a 15. századbeli huszitáknál fordult elő Jiskra alatt (B–1 ábra), és lövedékként több tíz centiméter átmérőjű kő- vagy vasgolyókat használtak. A vízszintesen mért lőtávolság elérte az 500 métert is.

B–1 ábra

a) Képzeljünk el egy tarackot, amelynek a vízszintes irányban mért maximális lőtávolsága $x_{\mathrm{m}} = 450\ \mathrm{m}$! Határozzák meg a golyó v_0 torkolatsebességét!

A védők egy $h = 150\ \mathrm{m}$ magas, a vízszintes környezetből kiemelkedő dombra menekültek, elsáncolva magukat a támadó sereg és a tarackok elől. A védők lövik a támadókat, ezért a támadók a tarackokat a lehető legtávolabb helyezik el a dombtól.

b) Készítsenek helyzetes rajzot, amelyen feltüntetik a védők és a támadók állásait! A rajzba jelöljék be a feladatban megadott, valamint számított mennyiségeket is!

c) Határozzák meg a legnagyobb vízszintes x_1 távolságot, amelyből a tarackból kilőtt löveg a domb tetejébe csapódik!

d) Mekkora, a vízszintes síktól mért α_1 szög alatt kell elsütni a tarackot, hogy a lövedék x_1 távolságból a domb tetejébe csapódjon? Határozzák meg, ebben az esetben, a löveg röptének idejét (t_1), amelyet a lövés pillanatától a becsapódás pillanatáig számítunk!

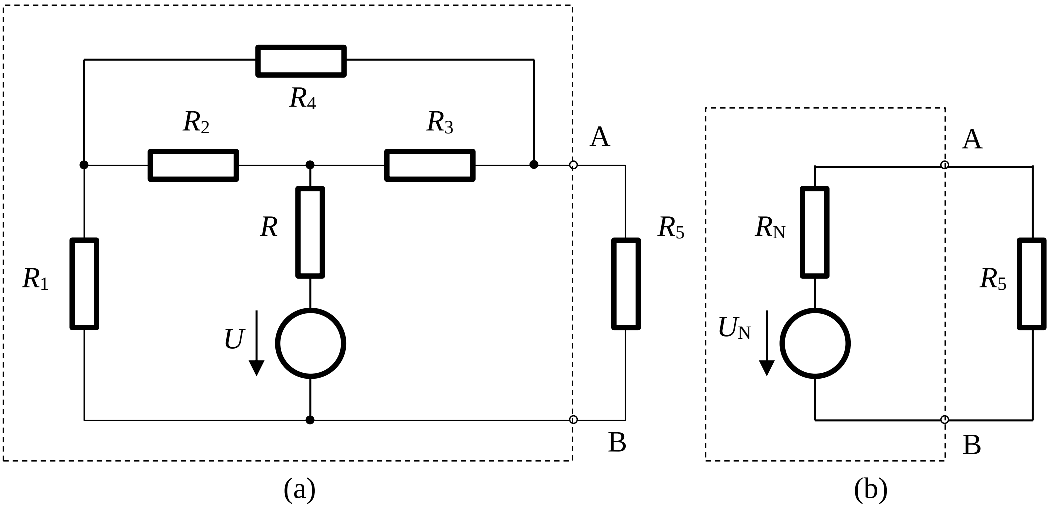
e) Határozzák meg a lövedék sebességének $\boldsymbol{v}_1$ vektorját a becsapódást megelőző pillanatban, amennyiben teljesülnek a b) és c) részfeladatokban megszabott feltételek – más szóval, határozzák meg a v_1 becsapódási sebesség nagyságát, valamint a vízszintes síkhoz viszonyított β_1 becsapódási szöget!

Tételezzék fel, hogy a légellenállás elhanyagolhatóan kicsi, valamint a tarack méretei is elhanyagolhatóan kicsik, $g = 9{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$! A tarackot elhagyó löveg torkolati sebessége minden esteben az a) részfeladatban meghatározott v_0 sebességgel egyenlő!

2. A Thévenin-tétel

Az elektromos áramkörök számításakor különböző helyettesítési módszereket alkalmaznak. Az egyik a Thévenin-tétel. A Thévenin-tétel szerint, bármely lineáris elektromos áramkör, tetszőleges két csatlakozási pontját kiválasztva, az áramkör úgy viselkedik, mint egy egyszerű R_N belsőellenállású és U_N feszültségű áramforrással, tehát helyettesíthető vele.

A B–2 ábrán látható áramkörben egy R belső ellenállású és U feszültségű áramforrás csatlakozik az R_1, R_2, R_3, R_4 és R_5 rezisztorokból álló rendszerhez. Határozzuk meg az R_5 rezisztorban folyó I elektromos áramot! Az áramkört két részre osztjuk, az R_5 rezisztorra és a maradék áramkörre (az ábrán szaggatott vonallal kereteztük be). A szaggatott vonallal keretezett áramkört egy R_N belsőellenállású és U_N feszültségű áramforrással helyettesítjük (B–2b ábra).



B–2 ábra

A helyettesítésnek az A és B csatlakozási pontokban, úgy kell az R_5 rezisztor szempontjából, viselkednie, mint a bekeretezett áramkörnek (legyen R_5 értéke bármilyen). Mivel a helyettesítési áramkör két paraméterét kell meghatároznunk (U_N, R_N), elégséges, ha az R_5 rezisztor két eltérő értékére vizsgáljuk a helyettesítést (a lineáris terhelési karakterisztika két pontjáról van szó). A két legegyszerűbb eset, ha $R_5 = 0$ (rövidre zárás) és ha $R_5 \to \infty$ (megszakított áramkör). Az ismert helyettesítési áramkörből már könnyen meghatározható az R_5 rezisztorban folyó áram nagysága a feladatban megadott értékre is.

a) Rajzolják le a B–2a áramkört, ha az A és B csatlakozási pontokat rövidre zárjuk! Határozzák meg az A, B pontokat tartalmazó ágban folyó I_K elektromos áramot!

b) Rajzolják le a B–2a elektromos áramkört, ha azt megszakítjuk az A és B csatlakozási pontokban. Határozzák meg az A és B pontok közti U_P feszültséget ebben az esetben!

c) Határozzák meg a helyettesítési áramforrás U_N feszültségét és R_N belső ellenállását, valamint az R_5 rezisztoron keresztülfolyó I elektromos áramot (B–2a ábra)!

A feladatot oldják meg általánosan, majd a következő értékekre: $U = 12\,\mathrm{V}$, $R = 10\,\Omega$, $R_1 = 20\,\Omega, R_2 = 25\,\Omega, R_3 = 50\,\Omega, R_4 = 100\,\Omega, R_5 = 200\,\Omega$!

3. Mágneses dipólus mágneses erőtérben

Az atomok és elemi részecskék kis mágneses dipólusokként is megjelenhetnek. A mágneses dipólust az $\boldsymbol{m}$ *mágneses dipólus momentum* vektormennyiséggel jellemezzük. A $\boldsymbol{B}$ mágneses indukciójú mágneses mező

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{m} \times \boldsymbol{B} \tag{1}$$

forgató nyomatékkal hat a mágneses dipólusra. Ennek következtében, az anyag mágneses dipólussal rendelkező atomjai a mágneses mező irányába állnak be, amely kívülről az anyag mágnesezettségeként figyelhető meg. Az atom mágneses momentuma az atom részecskéinek spinjével, illetve az elektronok atomban történő pályamozgásaival függ össze.

a) Számítsák ki az $\boldsymbol{M}$ erőnyomatékra megadott (1) képletből egy kör alakú vezetőben folyó áram (áramhurok) mágneses momentumát, ha a kör sugara r és a vezetőben folyó áram erőssége I!

b) Az a) pontban leírt vezetőt I nagyságú áram járja át. Ha a vezető $\boldsymbol{B}$ indukciójú mágneses térben van, a mágneses tér elfordítja akörül a tengely körül, amely merőleges a mágneses tér $\boldsymbol{B}$ indukciójára, és ugyanakkor a vezető síkjában fekszik. Ekkor a mágneses tér W munkát végez, és megváltozik a vezető E_p potenciális energiája ($W = -\Delta E_\mathrm{p}$). Határozzák meg, hogy a vezető melyik helyzetében maximális az E_p potenciális energiája, és melyik helyzetében minimális! Határozzák meg, mekkora a potenciális energia ΔE_p különbsége a maximális és minimális pontenciális energiának megfelelő állapotok között!

Egyszerű modellként vegyük Bohr hidrogénatom modelljét! E szerint a modell szerint az atom elektronja körpályán kering az atom protonja körül, és az elektron L pályaperdülete kvantált, tehát csak az $L = n\hbar$ értékeket veheti fel, ahol $n = 1,2,3, \ldots$ az ún. *főkvantumszám* ($\hbar = 1{,}05 \times 10^{-34}$ J · s a redukált Planck-állandó).

c) Határozzák meg az elektron pályamozgásából eredő mágneses momentumot (*Bohr-magneton*), amikor az atom magja körül alapállapotban kering ($n = 1$)!

Megjegyzés: az elektron körpályán való keringésére úgy tekinthetünk, mint egy r sugarú vezetőben folyó e/T nagyságú áramra, ahol e az elektron elektromos töltése, T pedig az elektron keringési ideje a mag körül.

d) Ha a hidrogénatomra mágneses tér hat, az elektronja $n = 1$ állapotban alapállapotban van, ha a mágneses dipólus potenciális energiája minimális; ha a mágneses dipólus potenciális energiája maximális, gerjesztett (*excitált*) állapotról beszélünk. Határozzák meg az $n = 1$ állapotú hidrogénatom gerjesztett és alapállapota közti ΔE_p energiakülönbséget, ha a hidrogénatom $B = 2{,}0$ T indukciójú mágneses térben van! Határozzák meg a $\Delta E_\mathrm{p}/E_T$ arányt $T = 300$ K hőmérsékletnél, ahol $E_T = k_\mathrm{B}T$ a mágneses dipólus hőenergiájának átlagértéke a T termodinamikai hőmérsékleten! Itt $k_\mathrm{B} = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J · K^{-1} a Boltzmann-állandó.

A szükséges állandókat keressék ki táblázatokban vagy az interneten!

4. A tekercs veszteségi teljesítményének mérése – *kísérleti feladat*

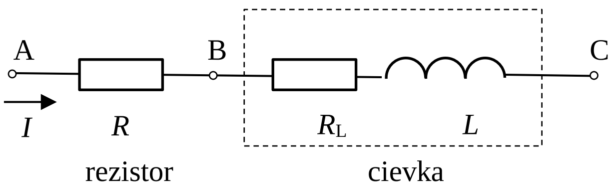
Az induktor az elektromos áramkör olyan ideális elektromos alkatrésze, amelyet légmagos, vasmagos, stb. tekercsekkel realizálunk. A tekercs azonban nem ideális induktor, mert váltakozó feszültségű áramforráshoz csatlakoztatva teljesítmény veszteséget mutat.

a) Sorolják fel, milyen típusú veszteségek keletkeznek a tekercsben, ha váltakozó feszültségű áramforráshoz csatlakoztatjuk, és hogyan függenek az egyes veszteségfajták az áramforrás frekvenciájától!

A feladat, meghatározni egy ferromágneses magú tekercs veszteségi teljesítményét, ha a tekercsben folyó I váltakozó áram effektív értéke közlítőleg 10 mA.

A kísérletben csak a következő segédeszközök állnak a rendelkezésükre: egy $f = 1$ kHz frekvenciájú áramforrás, tekercs, különböző R elektromos ellenállású rezisztorok készlete és digitális multiméter.

A tekercset úgy képzeljük el, mint egy L indukciójú induktort, amely sorosan kapcsolódik egy R_L elektromos ellenállású rezisztorral! Határozzák meg az impedancia reális és imaginárius összetevőjének arányát az R elektromos ellenállású rezisztorral való összehasonlításból! Az R rezisztort a tekercshez a B–3 ábrán látható kapcsolási rajz alapján csatlakoztassák!



B–3 ábra

A kísérlethez vasmagos vagy ferritmagos, lehetőleg egytized ill. egységnyi henri indukciójú tekercset, valamint állítható U feszültségű kis f frekvenciájú generátort használjanak! Csatlakoztassák az áramforrást az A és C csatlakozási pontokhoz! A multiméter mérési tartományát megfelelően megválasztva, olyan R elektromos ellenállású rezisztort használjanak, hogy a rezisztoron és a tekercsen mért feszültség nagyjából azonos legyen!

b) Kapcsolják a multimétert elektromos ellenállás (Ω) üzemmódba, és mérjék meg a lehető legpontosabban a rezisztor R elektromos ellenállását! Mérjék meg a tekercs R_{L0} elektromos ellenállását is (a multiméter egyenáram segítségével mér, tehát a tekercs ohmikus ellenállását fogják mérni)!

c) Állítsák be, a rezisztoron mért feszültség segítségével, a váltakozó elektromos áram megkövetelt értékét (I=10 mA)! (Más érték is választható a használt műszerektől függően.)

d) Mérjék meg a megfelelő csatlakozási pontok közti U_{AB}, U_{BC} és U_{AC} effektív feszültségeket (a multiméter váltakozó feszültségű tartományaiban a feszültség effektív értékeit mérjük).

e) Szerkesszék meg, a mért feszültségek segítségével, az áramkör fázordiagramját!

f) Vezessék le a tekercs R_L ellenállását a rezisztor R elektromos ellenállása és a mért feszültségek függvényeként, majd számítsák ki a tekercs R_L ellenállását! Hasonlítsák össze a kapott R_L értéket a mért R_{L0} értékkel, és az esetleges eltérést magyarázzák meg!

g) Adják meg a tekercs P hatásos teljesítményét, mint az R elektromos ellenállás és a mért feszültségek függvényét, majd számítsák ki P értékét az adott mérésre! Magyarázzák meg, hogy jelenik meg ez a teljesítmény!

A mérést ismételjék meg más I áramerősség és más f frekvenciák értékeire is — az eredményeket hasonlítsák össze!

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 Kluvanec, Ľubomír Mucha
Redakcia:	Ivo Čáp
	Slovenská komisia fyzikálnej olympiády
Vydal:	IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2017