Ústřední výbor fyzikální olympiády České republiky

Úlohy regionálního kola 40. ročníku FO kategorie B

1. V dokumentaci motoru Škoda 781.136 pro automobil FAVORIT je uveden *zdvihový objem válce* $V_{\mathrm{zdv}} = 322\ \mathrm{cm}^3$ a *kompresní poměr* $\varepsilon = 9{,}7$. (Zdvihový objem válce je rozdíl maximálního objemu $V_{\max}$ a minimálního objemu $V_{\min}$ pracovního prostoru válce; kompresní poměr je jejich podíl.)

Děje probíhající v motoru můžeme modelovat kruhovým dějem $ABCD$, při kterém se pracovní látka (vzduch s nepatrným množstvím benzinu) nejprve adiabaticky stlačí z počátečního objemu $V_A = V_{\max}$, počátečního tlaku $p_A = 1{,}00 \cdot 10^5$ Pa a počáteční teploty $T_A = 300$ K na objem $V_B = V_{\min}$, tlak p_B a teplotu T_B.

Následuje zážeh a izochorické shoření malého množství benzinu rozptýleného ve vzduchu, při kterém se teplota zvýší z T_B na T_C a tlak z p_B na p_C. Předpokládejme takové množství benzinu, že $T_C = 3{,}0 \cdot T_B$.

Pak proběhne adiabatická expanze zahřátého vzduchu se spalinami na počáteční objem $V_D = V_{\max}$, při které se teplota zmenší na T_D a tlak na p_D, a nakonec se vzduch izochoricky ochladí na počáteční stav.

a) Určete maximální objem $V_{\max}$ a minimální objem $V_{\min}$ pracovního prostoru válce. Výsledky zaokrouhlete na cm^3.

b) Určete látkové množství vzduchu ve válci.

c) Vypočtěte zbývající hodnoty stavových veličin v bodech B, C a D. Nakreslete ve vhodném měřítku p-V diagram děje. Průběhy adiabat nakreslete jen „od ruky“.

d) Pro každý z dějů AB, BC, CD a DA určete změnu vnitřní energie, vykonanou nebo spotřebovanou práci a přijaté nebo odevzdané teplo.

e) Určete celkovou práci při jednom proběhnutí cyklu a jeho účinnost.

f) Motor je čtyřválcový. Jaký výkon by měl za uvažovaných ideálních podmínek při frekvenci otáčení klikového hřídele $f = 3000\ \mathrm{min}^{-1}$?

Vzduch v pracovním prostoru považujte za ideální plyn s dvouatomovými molekulami, pro jehož vnitřní energii platí $U = \frac{5}{2} n R_{\mathrm{m}} T$. Poissonova konstanta má hodnotu $\varkappa = 1{,}40$; $R_{\mathrm{m}} = 8{,}314\ \mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$.

2. Na obr. 1 je schéma jednoduchého obvodu pro měření odporu. Obvod se skládá z operačního zesilovače, zdroje konstantního referenčního napětí $U_\mathrm{r} = 10$ V, rezistoru o odporu $R_1 = 10$ kΩ a voltmetru s rozsahem 10 V. Ke svorkám připojujeme rezistory o neznámém odporu R_x. Napájení operačního zesilovače není zakresleno.

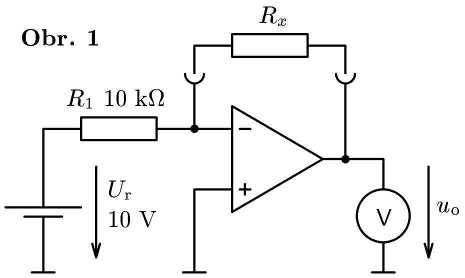
a) Odpor R_x je přímo úměrný výstupnímu napětí u_o operačního zesilovače. Určete konstantu úměrnosti K ve vztahu

$$R_x = K u_\mathrm{o}$$

a měřicí rozsah obvodu.

b) Jak bychom dosáhli zvětšení měřicího rozsahu na 1 MΩ?

Obr. 1



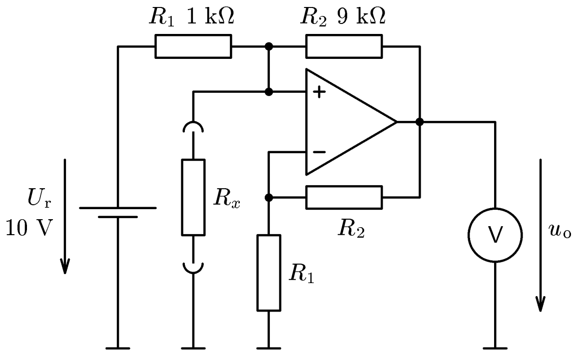
Pro měření malých odporů se lépe hodí zapojení na obr. 2. V obvodu jsou použity dva stejné rezistory o odporu $R_1 = 1$ kΩ a dva stejné rezistory o odporu $R_2 = 9$ kΩ. Zdroj referenčního napětí a voltmetr jsou stejné jako v předcházejícím obvodu. Napájení operačního zesilovače není zakresleno.

c) Také v druhém případě je měřený odpor R_x přímo úměrný výstupnímu napětí operačního zesilovače u_o. Určete konstantu úměrnosti K_1 ve vztahu

$$R_x = K_1 u_\mathrm{o}$$

a měřicí rozsah obvodu.

Obr. 2

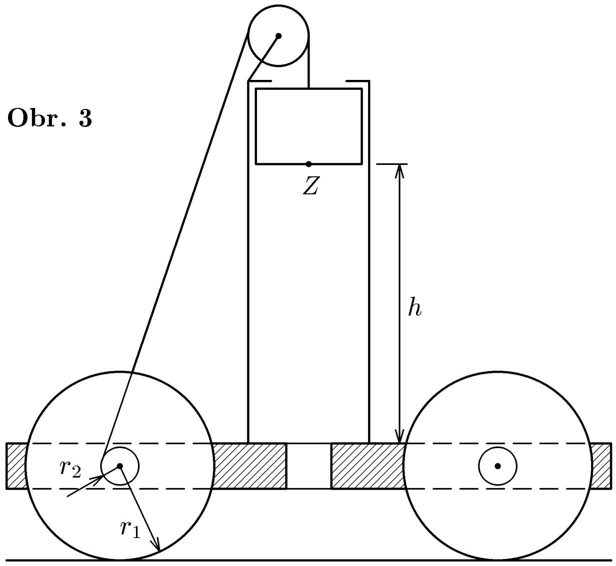


3. Vozík pro studium rovnoměrně zrychleného pohybu je poháněn závažím podle obr. 3. Klesající závaží o hmotnosti m roztáčí lankem vedeným přes kladku zadní osu, na níž je lanko v dostatečné délce navinuto. V počáteční poloze je závaží ve výšce h nad vozíkem. Po jeho uvolnění se dá vozík do pohybu.

Každé ze čtyř kol vozíku má hmotnost m_1 a poloměr r_1. Zadní i přední osa mají hmotnost m_2 a poloměr r_2. Kola i osy jsou zhotoveny jako plné homogenní válce.

Pohyb závaží je veden hladkou svislou trubkou. Hmotnost samotného vozíku s trubkou bez závaží, os a kol je m_3. Hmotnost kladky, tření v ložiskách, tření závaží v trubce a valivý odpor kol jsou zanedbatelné.

Obr. 3



a) Určete trajektorii, po které se pohybuje střed Z podstavy závaží po jeho uvolnění. V jakém vztahu je velikost v_z okamžité rychlosti bodu Z a velikost v_v okamžité rychlosti vozíku?

b) Určete zrychlení vozíku, dobu, za kterou klesne závaží na vozík, a velikost v rychlosti, kterou za tuto dobu vozík získá.

c) Jaká síla napíná vlákno během klesání závaží?

Řešte obecně a pro hodnoty: $m = 150,0$ g, $m_1 = 5{,}0$ g, $m_2 = 7{,}8$ g, $m_3 = 100{,}0$ g, $h = 12{,}0$ cm, $r_1 = 25{,}0$ mm, $r_2 = 4{,}0$ mm, $g = 9{,}8\ \mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$.

4. Elektrony urychlené napětím U v elektronové trysce obrazové elektronky vlétají mezi dvě rovnoběžné vychylovací destičky délky l, jejichž vzdálenost je d. Osa trysky splývá s osou souměrnosti destiček (obr. 4). Vychylovací napětí U_v je získáno ze zdroje o napětí U_0 pomocí potenciometru o odporu R_p a odporového děliče tvořeného dvěma stejnými rezistory o odporu R.

a) Jak závisí vychylovací napětí U_v na vzdálenosti h jezdce potenciometru od konce odporové dráhy, jestliže celá odporová dráha má délku L?

b) Jak velké musí být napětí U_0, aby elektronový paprsek při maximální výchylce právě zasáhl kraj destičky?

c) Jaký maximální úhel může svírat odchýlený elektronový paprsek s osou trysky?

Řešte obecně a pro hodnoty $U = 2000$ V, $l = 20$ mm, $d = 5$ mm. Tloušťku elektronového paprsku zanedbejte. Elektrické pole mezi vychylovacími destičkami je prakticky homogenní. Jeho rozptyl na okraji destiček zanedbejte.

Obr. 4