

# LXXII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZAWODY II STOPNIA

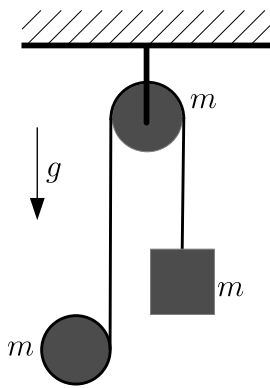
CZĘŚĆ TEORETYCZNA, 15.01.2023

Za każde zadanie można otrzymać maksymalnie 20 punktów.

Na końcu znajdują się zależności, które mogą być przydatne przy rozwiązywaniu zadań.

### Zadanie 1

Przez błądzek będący jednorodnym walcem o promieniu  $r$  przerzucona jest wiotka, nierozciągliwa i nieważka nić (patrz rysunek). Do jednego końca tej nici przywiązany jest ciężarek, zaś drugi koniec jest nawinięty na jednorodny walec o tym samym promieniu co błądzek. Każdy z walców oraz ciężarek ma taką samą masę  $m$ . Nić nie ślizga się po żadnym z walców.

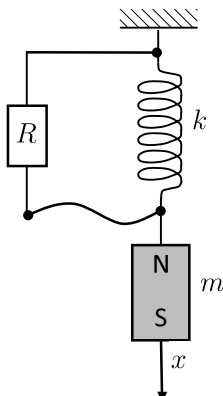


Przyjmujemy, że osie walców pozostają poziome (i prostopadłe do płaszczyzny rysunku). Fragmenty nici po obu stronach błądzka są stale pionowe. Błądzek obraca się bez tarcia. Zaniedbaj opór powietrza. Moment bezwładności każdego z walców względem jego osi jest równy  $mr^2/2$ .

Wyznacz przyspieszenie ciężarka.

### Zadanie 2

Na nieważkiej sprężynie o stałej sprężystości  $k$  wisi magnes o masie  $m$ . Sprężyna jest wykonana z cienkiego drutu tworzącego zwojnicę. Do końców sprężyny dołączony jest opornik o dużym oporze  $R$  (patrz rysunek), jedna z końcówek jest dołączona przez giętki przewód.



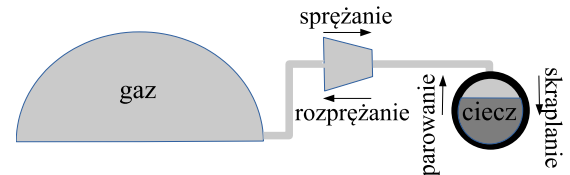
Magnes odchyłono w pionie od położenia równowagi i puszczono. Całkowity strumień pola magnesu przechodzący przez zwojnicę (suma strumieni przechodzących przez poszczególne zwoje) w dobrym przybliżeniu zależy od wychylenia magnesu  $x$  od położenia równowagi zgodnie ze wzorem

$$\Phi = \Phi_0(1 + \alpha x)$$

gdzie  $\alpha$  oraz  $\Phi_0$  są znanymi stałymi.

Oblicz stosunek dwóch kolejnych maksymalnych odchylen ciężarka (odpowiadających najwyższemu/najniższemu położeniu) od położenia równowagi, zakładając, że straty energii wynikają wyłącznie z przepływu prądu przez opornik. Założenie o dużym  $R$  oznacza, że występuje słabe tłumienie drgań (szukany stosunek jest bliski 1) i że można pominąć pole magnetyczne wytwarzane przez płynący prąd w porównaniu z polem magnetycznym magnesu.

### Zadanie 3



Schematyczne przedstawienie magazynowania energii (sprężanie, skraplanie) oraz procesu odwrotnej pracy (parowanie, rozprężanie). Woda wykorzystywana do utrzymania stałej temperatury we wszystkich procesach nie jest pokazana.

Jednym z pomysłów na magazynowanie energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł odnawialnych jest wykorzystanie  $\text{CO}_2$  i jego przemiany ze stanu gazowego do stanu ciekłego. Początkowo gazowy  $\text{CO}_2$  znajduje się w odpowiedniej wielkości balonach, a jego ciśnienie jest równe ciśnieniu atmosferycznemu  $p_0$  (w praktyce musi być nieco większe od  $p_0$ ). Ten gaz jest sprężany do ciśnienia  $p_1$ , a przy dalszym zmniejszaniu objętości ulega skropleniu przy tym ciśnieniu. Temperatura skraplania  $\text{CO}_2$  pod ciśnieniem  $p_1$  wynosi  $T_0$ . W tych procesach jest wykorzystywana energia elektryczna ze źródeł odnawialnych. Skroplony  $\text{CO}_2$  jest przechowywany w butlach.

W trakcie rozładowywania magazynu zachodzi proces odwrotny: ciecz odparowuje pod ciśnieniem  $p_1$ , a następnie  $\text{CO}_2$  jest rozprężany od ciśnienia  $p_1$  do ciśnienia  $p_0$ , wypełniając balon. Wykonana praca jest przy pomocy prądnicy zamieniana z powrotem na energię elektryczną.

Dodatkowo wykorzystywana jest woda, która odbiera lub dostarcza ciepło w opisanych procesach.

Przyjmij, że opisane powyżej procesy zachodzą w sposób odwracalny w temperaturze  $T_0$  (do utrzymania tej stałej temperatury jest wykorzystywana woda). Gazowy  $\text{CO}_2$  potraktuj jako gaz doskonały. Weź pod uwagę, że powłoka balonu jest wiotka i w trakcie sprężania  $\text{CO}_2$  objętość ograniczona przez nią się zmniejsza. Objętość molowa ciekłego  $\text{CO}_2$  w temperaturze  $T_0$  wynosi  $v_m$ .

Wyznacz całkowitą objętość  $\text{CO}_2$  (przy ciśnieniu  $p_0$  i temperaturze  $T_0$ ), która jest niezbędna, aby omawiana

instalacja mogła zmagazynować energię elektryczną  $W$ . Podaj liczbową wartość tej objętości dla  $W = 20 \text{ kWh}$ ,  $p_0 = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $p_1 = 57,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ,  $T_0 = 293 \text{ K}$ ,  $v_m = 5,69 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ .

Uniwersalna stała gazowa  $R = 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

### Zależności, które mogą być przydatne

Jeśli  $\frac{dx}{dt} = t^q$  to dla  $q \neq -1$  mamy  $x(t) = t^{q+1}/(q+1) + \text{const}$ , a dla  $q = -1$  mamy  $x(t) = \ln|t| + \text{const}$ ;

Jeśli  $\frac{dx}{dt} = x^q$  to dla  $q \neq 1$  mamy  $x(t) = \frac{1}{1-q} \sqrt[q]{(t + \text{const})(1-q)}$ , a dla  $q = 1$  mamy  $x(t) = \text{const} \cdot e^t$ ;

W powyższych wzorach  $\ln$  oznacza logarytm naturalny, tzn. logarytm o podstawie  $e = 2,718281\dots$ ,  $\frac{dx}{dt}$  to pochodna funkcji  $x(t)$  po  $t$ .