

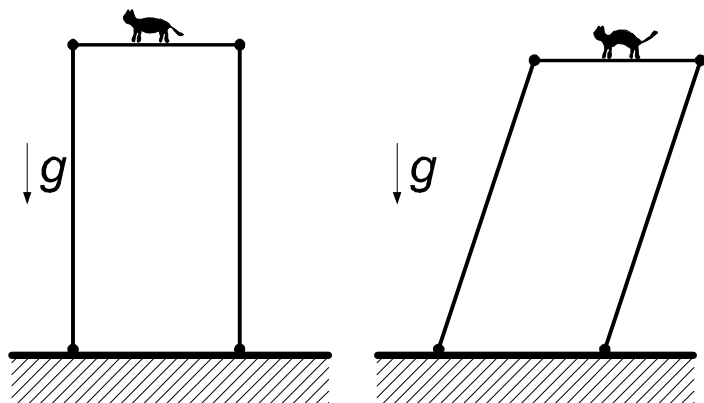
LXIV OLIMPIADA FIZYCZNA

ZAWODY III STOPNIA

CZEŚĆ TEORETYCZNA

Za każde zadanie można otrzymać maksymalnie 20 punktów.

Zadanie 1.



Rys. 1. Kot na przewracającym się rusztowaniu.

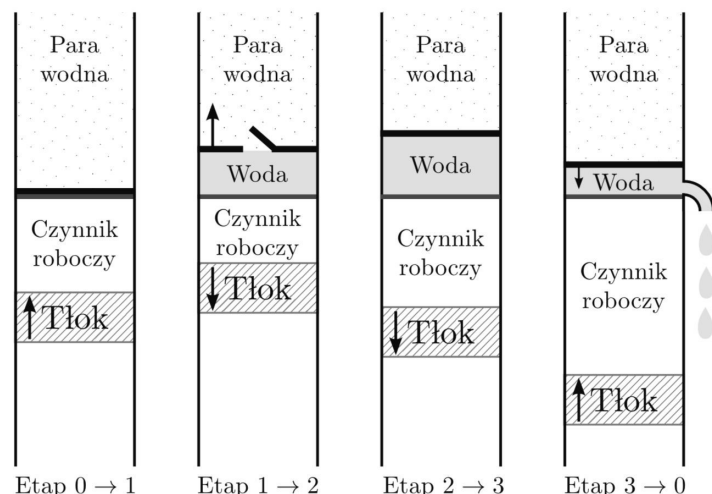
Rusztowanie składa się z początkowo pionowych, jednorodnych i cienkich rur o długości l każda. Górny koniec każdej rury jest połączony przegubowo z platformą o masie m ; łączna masa rur wynosi M , a przyspieszenie ziemskie jest równe g . W pewnej chwili na platformę wszedł kot Fizol i wtedy rusztowanie zaczęło się przewracać, przy czym platforma pozostawała pozioma. Aby zminimalizować pionową składową prędkości, z jaką później uderzył w ziemię, Fizol w pewnym momencie podskoczył, tzn. odbił się od platformy, nadając sobie w bardzo krótkim czasie taką prędkość, że później, przy uderzeniu w ziemię, pionowa składowa jego prędkości była minimalna.

- Podaj rozumowanie pozwalające stwierdzić, kiedy i jaką prędkość Fizol powinien sobie nadać.
- Wyznacz wartość pionowej składowej prędkości Fizola w chwili zetknięcia z ziemią (lub już leżącą na ziemi platformą). Podaj wartość liczbową tej prędkości dla $l = 5$ m, $g = 10$ m/s² w przypadkach $m \ll M$ oraz $m \gg M$.

Stojące na ziemi końce rur rusztowania nie przesuwają się względem ziemi i nie odrywają się od niej. Pomiń wszelkie opory ruchu oraz przyjmij, że masa i rozmiary kota są zaniedbywalne. Kot

nie trzyma się platformy – po prostu na niej stoi. Moment bezwładności cienkiej, jednorodnej rury o długości l i masie m_r względem osi prostopadłej do rury i przechodzącej przez jej koniec jest równy $\frac{1}{3}m_rl^2$. Weź pod uwagę, że aby kot mógł się odbić, musi stykać się z platformą.

Zadanie 2.



Rys. 2. Schemat działania silnika. Pokazano jedynie fragment zbiornika z parą.

Skonstruowano samochód napędzany nasyconą parą wodną. Jego silnik składa się ze zbiornika i cylindra zamkniętego tłokiem (patrz rysunek). W zbiorniku znajduje się nasycona para wodna o ciśnieniu p_0 (równym ciśnieniu otoczenia) i temperaturze T_1 . W cylindrze znajduje się N moli czynnika roboczego będącego gazem doskonałym. Temperatura otoczenia wynosi T_0 . Silnik działa w następujący sposób:

etap 0 \rightarrow 1: czynnik roboczy ulega adiabatycznemu sprężeniu, tak że jego temperatura wzrasta od T_0 do T_1 .

etap 1 \rightarrow 2: czynnik roboczy ulega izotermicznemu rozprężeniu pobierając przy tym ciepło od porcji pary wodnej o masie Δm . W wyniku tego procesu ta porcja pary ulega skropleniu. Ciśnienie i temperatura pary, która pozostała w zbiorniku

nie ulega przy tym zmianie – objętość pary zostaje odpowiednio zmniejszona przez przesunięcie ruchomej ściany zbiornika.

etap 2 → 3: czynnik roboczy ulega rozprężeniu, przy czym pozostaje w stanie równowagi cieplnej z porcją wody powstałą w etapie 1 → 2. W trakcie tego procesu czynnik roboczy i woda pozostająca z nim w równowadze cieplnej są izolowane termicznie (adiabaticznie) od otoczenia. Pod koniec tego procesu temperatura czynnika roboczego i wody wynosi T_0 .

etap 3 → 0: woda jest wylewana do otoczenia, a czynnik roboczy ulega izotermicznemu sprężaniu.

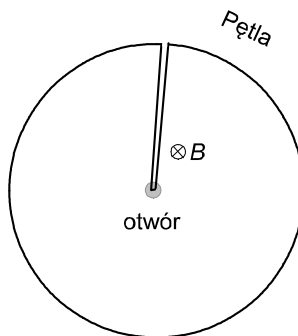
- Wyznacz zależność między temperaturą T i objętością V czynnika roboczego w trakcie etapu 2 → 3.
- Wyznacz największą teoretycznie możliwą moc tego silnika, jeśli w ciągu czasu t zużywa on parę o masie m .

Ciepło parowania wody w temperaturze T_1 i pod ciśnieniem p_0 wynosi q . Przyjmij, że ciepło właściwe wody jest stałe i wynosi c_w . Molowe ciepło właściwe czynnika roboczego przy stałej objętości wynosi c_V .

Informacje, które mogą być przydatne:

- praca wykonywana przy izotermicznym rozprężaniu gazu doskonałego od objętości V_p do objętości V_k jest równa $NRT \ln \frac{V_k}{V_p}$
- w trakcie przemiany adiabaticznej gazu doskonałego zachodzi $T^{\frac{c_V}{R}} V = \text{const}$, gdzie c_V jest molowym ciepłem właściwym tego gazu przy stałej objętości, a R – uniwersalną stałą gazową.
- $(\ln x)' = \frac{d \ln x}{dx} = \frac{1}{x}$, $(x^p)' = \frac{dx^p}{dx} = px^{p-1}$.

Zadanie 3.



Rys. 3. Pętla z przewodnika na stole.

Na gładkim stole leży pętla z cienkiego, wiotkiego i nieważkiego przewodu pokrytego warstwą izolacji. Zakrzywiony fragment pętli ma kształt okręgu o środku pokrywającym się z małym otworem w stole, a dwa fragmenty prostoliniowe leżą wzdłuż jednego z promieni tego okręgu – patrz rysunek. Całkowity opór elektryczny pętli wynosi R , a długość przewodu jest równa l . Układ znajduje się w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji B , skierowanym prostopadle do powierzchni stołu.

W chwili $t = 0$ pętlę chwycono za punkt leżący nad otworem i zaczęto wyciągać przez otwór ze stałą prędkością v .

Wyznacz zależność siły, z jaką wyciągano pętlę, od długości pozostałej na stole części przewodu.

Pomiń tarcie przewodu o krawędź otworu oraz pole magnetyczne wytwarzane przez ewentualny prąd płynący w drucie.