

# LXVI OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZAWODY III STOPNIA

### CZEŚĆ TEORETYCZNA

Za każde zadanie można otrzymać maksymalnie 20 punktów.

#### Zadanie 1.

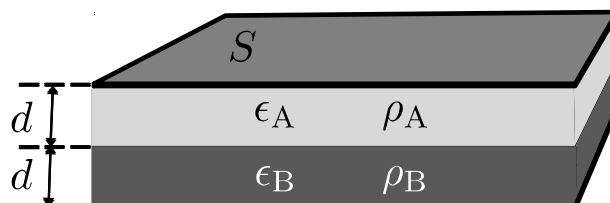


Jednorodny walec o masie  $M$  i promieniu  $R$  toczył się bez poślizgu po płaskim podłożu z prędkością  $v_0$  i uderzył w jednorodny prostopadłościenny klocek o masie  $m$ , początkowo nieruchomy. Kierunek ruchu walca był prostopadły do lewej ściany klocka (patrz rysunek). Wysokość klocka jest większa od promienia walca. Walec i klocek mają wspólną, prostopadłą do podłoża, płaszczyznę symetrii. Współczynnik tarcia między klockiem a podłożem jest równy  $f_1$ , a między klockiem a walcem  $f_2$ . Zderzenie trwało bardzo krótko, a w jego wyniku równoległe do podłoża składowe prędkości środków masy walca oraz klocka zrównały się. Długość klocka jest na tyle duża, że ściana stykająca się z podłożem nie odrywa się on niego.

Jakie warunki muszą spełniać współczynniki tarcia  $f_1$  i  $f_2$ , aby rozważane uderzenie nie spowodowało przesunięcia klocka?

Moment bezwładności walca względem jego osi wynosi  $\frac{1}{2}MR^2$ . Przyjmij, że oddziaływania wewnątrz klocka, walca oraz podłoża rozchodzą się nieskończenie szybko. Pomiń tarcie toczne.

#### Zadanie 2.



Pomiędzy odległymi o  $2d$  okładkami kondensatora płaskiego, z których każda ma powierzchnię  $S$ , znajdują się dwie, równoległe do okładek warstwy różnych materiałów: materiału A o przenikalności elektrycznej  $\epsilon_A$ , oporze właściwym  $\rho_A$  i grubości warstwy  $d$  oraz materiału B o przenikalności elektrycznej  $\epsilon_B$ , oporze właściwym  $\rho_B$  i grubości warstwy  $d$ . Odległość między okładkami jest znacznie mniejsza od ich liniowych rozmiarów.

Okładki kondensatora podłączono do baterii o sile elektromotorycznej  $\mathcal{E}$  i zaniedbywalnym oporze wewnętrznym na bardzo długi czas, taki że zmiany natężenia prądu płynącego w obwodzie stały się niezauważalne.

Następnie baterię odłączono, a okładki zwarto na krótki czas opornikiem o oporze znacznie mniejszym od oporu kondensatora, tak że napięcie między nimi spadło do  $\mathcal{E}/2$ . Wyznacz zależność napięcia między okładkami kondensatora od czasu, jaki upłynął od odłączenia tego opornika.

#### Wskazówka

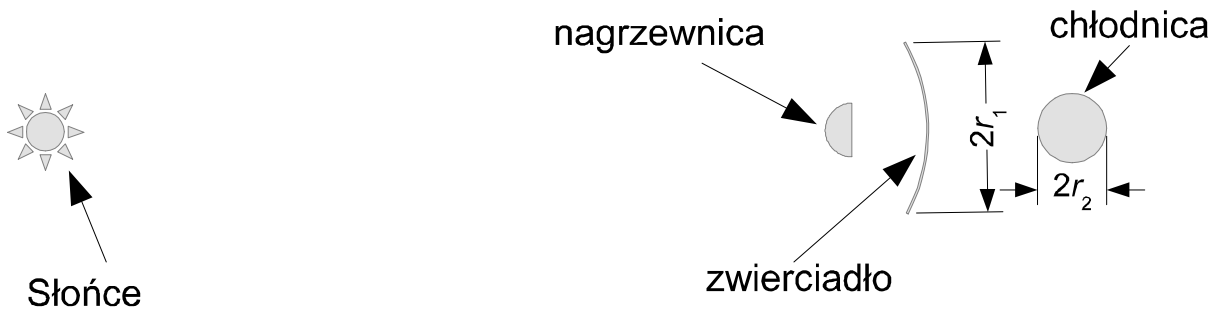
Gdy okładki idealnego kondensatora o pojemności  $C$  zewrżemy opornikiem o oporze  $R$ , napięcie między tymi okładkami zmienia się w czasie zgodnie ze wzorem

$$U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}},$$

gdzie  $U_0$  jest napięciem początkowym, a  $t$  – czasem, jaki upłynął od chwili zwarcia okładek.

*Zadanie 3. na następnej stronie*

### Zadanie 3.



W przestrzeni kosmicznej umieszczono elektrownię słoneczną przesyłającą energię na Ziemię za pomocą wiązki laserowej.

Elektrownia składa się z następujących elementów:

- idealnego zwierciadła będącego wycinkiem powierzchni walcowej promieniu  $R$ , długości  $L$  i szerokości  $2r_1$ ; zwierciadło jest ustawione prostopadle do kierunku Słońce – elektrownia.
- nagrzewnicy będącej półwałcem długości  $L$ , o idealnie białej (niepromieniującej) powierzchni zakrzywionej oraz doskonale czarnej, doskonale przewodzącej ciepło powierzchni płaskiej
- walcowej chłodnicy o promieniu  $r_2$  i długości  $L$ , o idealnie czarnej powierzchni bocznej i idealnie białych denkach
- silnika cieplnego pobierającego ciepło z nagrzewnicy, oddającego ciepło do chłodnicy; silnik nie jest pokazany na rysunku, część jego elementów może się znajdować wewnątrz nagrzewnicy lub chłodnicy

oraz dodatkowych elementów (między innymi rur łączących nagrzewnicę, chłodnicę i silnik) nieistotnych w rozważanym zagadnieniu. Denka chłodnicy i nagrzewnicy nie promieniują. Temperatura powierzchni Słońca wynosi  $T_s$ , promień Słońca to  $R_s$ , odległość środek Słońca–elektrownia wynosi  $d$ . Stałą Stefana-Boltzmanna oznaczamy literą  $\sigma$ .

- a) Wyznacz promień nagrzewnicy  $r_n$ , przy którym, (przy założeniu jej optymalnego położenia) różnica między ilością energii do niej dostarczanej i wypromieniowywanej z niej będzie największa.

Poniżej przyjmij, że promień nagrzewnicy jest równy promieniowi wyznaczonemu w punkcie a), a umieszczenie jej jest optymalne (tak jak w punkcie a).

- b) Wyznacz maksymalną temperaturę  $T_{\max}$ , jaką może osiągnąć nagrzewnica.
- c) Wyznacz maksymalną możliwą teoretycznie sprawność silnika oraz temperaturę chłodnicy przy tej sprawności. Wyniki wyraż przez  $p_s$  – moc promieniowania Słońca na jednostkę powierzchni w pobliżu stacji (stałą słoneczną),  $T_{\max}$  z punktu b),  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $L$ ,  $\sigma$  oraz  $T_1$  – temperaturę nagrzewnicy.
- d) Podaj wartości liczbowe wyznaczonych wielkości dla  $r_1 = 10$  m,  $L = 20$  m,  $R = 20$  m,  $r_2 = 1$  m,  $T_1 = 1200$  K,  $R_s = 7,0 \cdot 10^8$  m,  $d = 1,5 \cdot 10^{11}$  m,  $T_s = 5800$  K,  $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$  W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>).

#### Uwaga:

Uwzględnij, że  $R_s/d \ll 1$ ,  $r_1 < R < R_s$ ,  $L < R_s$ , oraz pomini to, że nagrzewnica blokuje część światła padającego na zwierciadło. Pomiń również obecność zwierciadła w pobliżu chłodnicy, to, że część promieniowania wyemitowanego przez nagrzewnicę wraca do niej po odbiciu od zwierciadła, oraz wszelkie promieniowanie zewnętrzne za wyjątkiem promieniowania Słońca. Zastosuj przybliżenie promieni przyosiowych optyki geometrycznej.