

LXIX OLIMPIADA FIZYCZNA

ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

CZĘŚĆ II

Rozwiązania zadań drugiej części I stopnia należy przysyłać do **Okręgowych Komitetów Olimpiady Fizycznej** w terminie do 15 listopada b.r. O kwalifikacji do zawodów II stopnia będzie decydować suma punktów uzyskanych za rozwiązania zadań części I i II.

Szczegóły dotyczące regulaminu oraz organizacji Olimpiady można znaleźć na stronie internetowej <http://www.kgof.edu.pl>.

Krótką informacją na temat poprawnej redakcji rozwiązań zadań Olimpiady Fizycznej

Zadania powinny być rozwiązane jasno, przejrzysto i czytelnie. Każde zadanie powinno być rozwiązane na oddzielnej kartce papieru. Poszczególne etapy rozumowania należy opisać, a wszelkie zależności fizyczne, które nie są wprost podane w podręcznikach szkolnych – udowodnić. Należy również objaśnić wszelkie oznaczenia występujące w rozwiązaniach zadań. Rysunki mogą być wykonane odręcznie – muszą być jednak przejrzyste i czytelne oraz dobrze opisane w tekście.

Rozumowanie przedstawione w rozwiązaniach nie może zawierać luk logicznych. Każdy krok rozumowania powinien być zwięźle opisany, a przyjęte założenia – klarownie uzasadnione. Rozwlekłość jest uznawana za ujemną cechę pracy.

Rozwiązanie zadania teoretycznego powinno być poprzedzone analizą problemu poruszanego w zadaniu, a zakończone dyskusją wyników. Rozwiązania zadań teoretycznych powinny odnosić się do ogólnej sytuacji opisanej w treści, dane liczbowe (o ile zostały podane) powinny być podstawione dopiero do ostatecznych wzorów.

W zadaniach doświadczalnych należy wyraźnie rozgraniczyć części teoretyczną i doświadczalną. Część teoretyczna zadania doświadczalnego powinna zawierać analizę problemu wraz z wyprowadzeniem niezbędnych wzorów (o ile nie ma ich wprost w podręcznikach szkolnych) oraz sugestią metody doświadczalnej. Część doświadczalna powinna zawierać m.in. opis układu doświadczalnego ilustrowany rysunkiem, opis wykonanych pomiarów, wyniki pomiarów, analizę czynników mogących wpływać na wyniki (jak np. rozpraszanie energii lub opory wewnętrzne mierników), opracowanie wyników wraz z dyskusją niepewności pomiarowych. Wykresy do zadania doświadczalnego powinny być starannie wykonane, najlepiej na papierze milimetrycznym. Ocenie podlegają wyłącznie elementy rozwiązania opisane w pracy. W zadaniach doświadczalnych osobno oceniana jest część teoretyczna i część doświadczalna. Niedopuszczalne jest fałszowanie, fałszowanie lub modyfikowanie danych pomiarowych - za tego typu działania grozi dyskwalifikacja.

W rozwiązaniach można posługiwać się dowolnym układem jednostek, chyba że tekst zadania mówi wyraźnie inaczej.

ZADANIA CZĘŚCI II (termin wysyłania rozwiązań — 15 listopada 2019 r.)

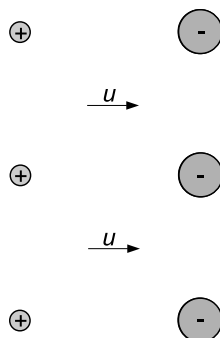
Uwaga: Rozwiązanie każdego zadania powinno być napisane na oddzielnym arkuszu papieru podaniowego. Na każdym arkuszu należy umieścić identyfikator otrzymany w trakcie rejestracji oraz nazwisko i imię autora pracy. Na pierwszym arkuszu pracy dodatkowo należy podać adres e-mail autora pracy oraz nazwę i adres szkoły. Osoby, które chcą być poinformowane listownie o wynikach kwalifikacji, do pracy powinny dołączyć zaadresowaną do siebie kopertę z naklejonym znaczkiem.

ZADANIA TEORETYCZNE

Należy przesłać rozwiązania trzech (i tylko trzech) dowolnie wybranych zadań teoretycznych. Za każde z trzech zadań można otrzymać maksimum 20 punktów.

Zadanie T1.

Pod koniec roku 2018 doniesiono o locie modelu samolotu napędzanego silnikiem jonowym. Celem tego zadania jest oszacowanie siły ciągu oraz mocy takiego silnika.



Rys. 1. Schemat silnika jonolotu. Wektor \vec{u} to prędkość przepływu powietrza. (W celu wyznaczenia pola elektrycznego układ prętów zastępujemy przez jedną okładkę kondensatora, a układ walców – przez drugą.)

Rozważmy napęd jonowy składający z cienkich, równoległych przewodów (emiterów) oraz odległych o d równoległych do nich przewodzących walców (kolektorów), patrz rysunek. Napięcie między emiterami a kolektorami wynosi U . Działanie napędu można opisać następująco:

- Silne pole elektryczne w pobliżu cienkich przewodów powoduje tworzenie jonów dodatnich, które następnie przemieszczają się pod wpływem pola elektrycznego w kierunku walców. Szybkość powstawania jonów (ładunek na jednostkę czasu) jest dana wzorem

$$I = \begin{cases} \alpha U (U - U_0) & \text{gdy } U > U_0, \\ 0 & \text{gdy } U \leq U_0, \end{cases}$$

gdzie U_0 i α są stałymi (dla danej geometrii układu).

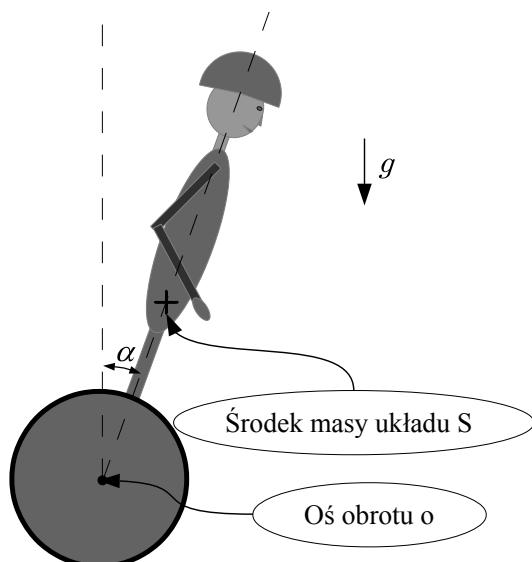
- Pole elektryczne między cienkimi przewodami a walcami powoduje przemieszczanie się jonów w kierunku walców. Przemierzając się jony zderzają się z cząsteczkami powietrza. Przyjmij, że rozważane tu pole jest takie, jak pole pomiędzy okładkami płaskiego kondensatora o odległości między okładkami znacznie mniejszej od rozmiarów liniowych okładek, a napięcie między okładkami jest równe U . Uwzględnij, że pole elektryczne o natężeniu E wywołuje ruch jonów względem powietrza z prędkością $v = \mu E$, gdzie μ jest stałą (dla ustalonych parametrów powietrza) zwaną ruchliwością jonów.

- Jony ulegają zobojętnieniu po zetknięciu się z powierzchnią kolektora.

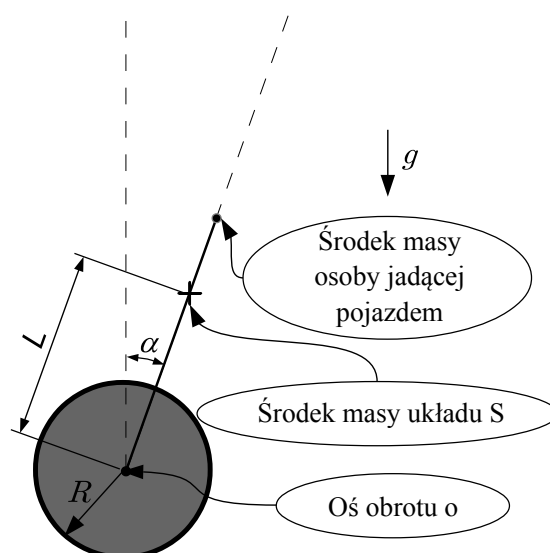
Przyjmując, że powietrze w obszarze między przewodami a walcami porusza się od przewodów do walców ze stałą prędkością u , a moc wydatkowana przez źródło napięcia wynosi P , wyznacz siłę ciągu tego napędu. Podaj wynik liczbowy dla $U = 40000 \text{ V}$, $\mu = 2,0 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{sV}}$, $d = 0,2 \text{ m}$, $u = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $P = 600 \text{ W}$, $U_0 = 20000 \text{ V}$.

Zadanie T2.

Koła pewnego dwukołowego pojazdu (typu segway) umieszczone są na wspólnej osi o . Oś ta jest jednocześnie osią wirnika silnika elektrycznego napędzającego pojazd. Koła i wirnik są do siebie na stałe przymocowane i obracają się razem, a ich sumaryczny moment bezwładności względem osi o jest równy I . Całkowita masa pojazdu wraz z osobą jadącą na nim wynosi M . Promień każdego z kół jest równy R , środek masy S układu znajduje się w stałej odległości L od osi o . Przyspieszenie ziemskie wynosi g .



Rys. 2a. Pojazd typu segway wraz z jadącą nim osobą



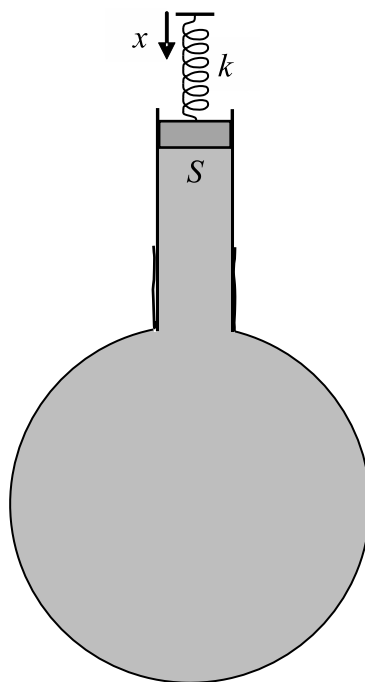
Rys. 2b. Uproszczony rysunek pojazdu typu segway wraz z jadącą nim osobą

Pojazd porusza się po poziomym podłożu ze stałym przyspieszeniem a tak, że odcinek SO , gdzie O jest punktem na o w połowie odległości między kołami, tworzy z pionem kąt α , patrz rys. 2a. Koła toczą się bez poślizgu. Wyznacz przyspieszenie a .

Pomiń tarcie toczne i opór powietrza.

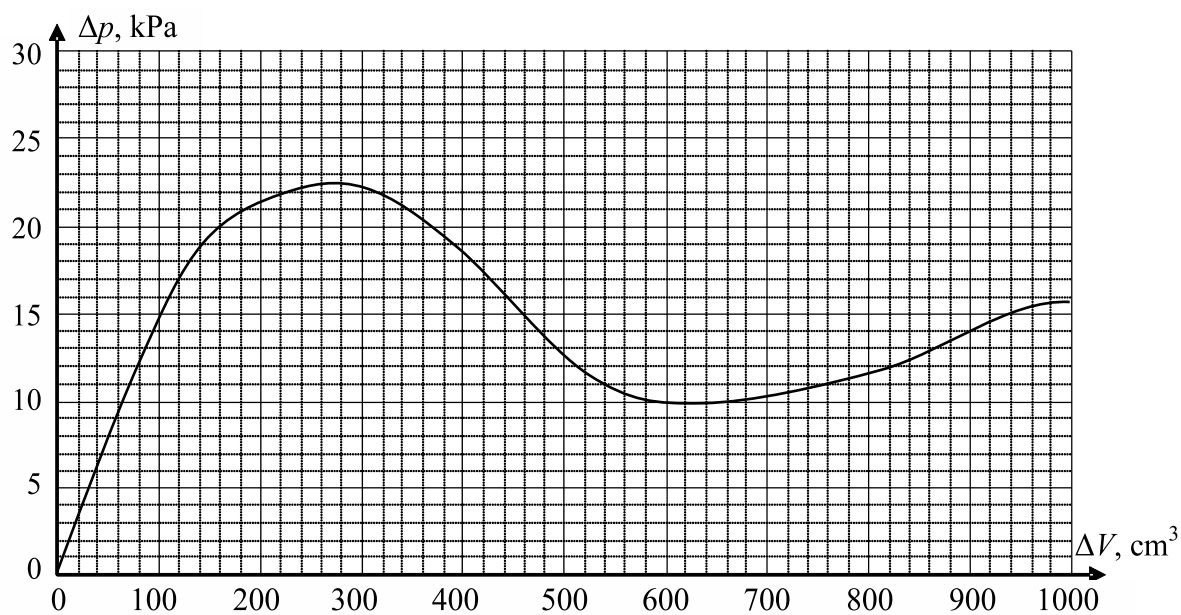
Uwaga: część układu niebędącą kołami ani wirnikiem możemy modelować przez nieważki pręt przymocowany na stałe do obudowy silnika, na końcu którego znajduje się punktowy ciężarek, patrz rys. 2b.

Zadanie T3.



Rys. 3a. Rurka z nałożonym gumowym balonikiem

Gumowy balonik nałożono na rurkę o przekroju wewnętrznym S , uszczelniono połączenie, całość wypełniono wodą i zamknięto rurkę tłokiem (patrz rys. 3a). Do tłoka dołączona jest sprężyna o stałej sprężystości k , której położenie górnego końca możemy regulować. Początkowo balonik był wypełniony, a ciśnienie w nim było równe zewnętrznemu. Objętość balonika (bez części naciągniętej na rurkę) była równa V . Wykres zależności nadwyżki ciśnienia (ponad ciśnienie zewnętrzne) Δp w baloniku od nadwyżki objętości ΔV ponad objętość początkową (bez rurki) V jest dany poniżej.



Rys. 3b. Zależność nadwyżki ciśnienia w baloniku od nadwyżki objętości

Pomiń ciężar wody i tłoka, a także tarcie tłoka o rurkę.

a) Wyznacz graficznie nadwyżkę ciśnienia w baloniku po przesunięciu górnego końca sprężyny w dół na odległość $x = 20$ cm. Przyjmij, że pole powierzchni tłoka wynosi $S = 10$ cm², a stała sprężystości sprężyny $k = 1$ N/cm.

b) Przesuwając powoli górny koniec sprężyny w dół zauważono, że w pewnym momencie nastąpiło skokowe przesunięcie tłoka (tzn. bardzo małe przesunięcie końca sprężyny spowodowało znaczne przesunięcie tłoka). Jaki warunek muszą spełniać parametry k i S , aby taka sytuacja była możliwa?

Warto zauważyć, że sytuacja opisana w punkcie b) jest analogiczna do efektu obserwowanego przy pompowaniu zwykłego balonika powietrzem – najpierw jest trudno go pompować, ale w pewnym momencie następuje gwałtowny wzrost objętości i dalsze pompowanie jest łatwiejsze.

Zadanie T4 - numeryczne.

Dwa miedziane bloki o wymiarach $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0,5\text{ m}$ zetknięto ze sobą większymi powierzchniami, tak że razem utworzyły sześcian o wymiarach $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$. Początkowo jeden z bloków miał temperaturę 300 K, natomiast drugi był rozgrzany do 900 K. Cały układ jest izolowany cieplnie od otoczenia.

Moc P z jaką ciepło przepływa przez prostopadłościenne, jednorodnie ciało o wymiarach $\Delta x \times a \times b$, gdzie $\Delta x \ll a$, $\Delta x \ll b$, wyraża się wzorem:

$$P = \lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

gdzie ΔT jest różnicą temperatur między ścianami o wymiarach $a \times b$, A jest polem powierzchni każdej z tych ścian ($= ab$), natomiast λ jest przewodnictwem cieplnym rozważanego ciała.

Z dokładnością do 1 minuty wyznacz czas, po którym różnica temperatur pomiędzy zewnętrznymi, przeciwległymi ścianami bloków spadnie do: a) 100 K, b) 10 K.

Gęstość miedzi: $\rho = 9000$ kg · m⁻³, ciepło właściwe: $c = 380$ J · (K · kg)⁻¹, przewodnictwo cieplne $\lambda = 380$ W · (m · K)⁻¹. Pomiń rozszerzalność cieplną miedzi.

Uwagi:

Rozwiązanie powinno zawierać: wzory używane w rozwiązaniu (wraz z wyprowadzeniem lub uzasadnieniem), opis zastosowanego algorytmu, opis kodu programu (lub np. arkusza kalkulacyjnego) użytego do rozwiązania wraz ze sposobem zagwarantowania (lub sprawdzenia) właściwej dokładności wyniku.

Nie jest dopuszczalne użycie programów do obliczeń symbolicznych lub gotowych programów do rozwiązywania równań różniczkowych.

Dodatkowe wskazówki dotyczące rozwiązywania zadań numerycznych znajdziesz w treściach i rozwiązaniach zadań numerycznych z poprzednich olimpiad.

ZADANIA DOŚWIADCZALNE

Należy przesłać rozwiązania dwóch (i tylko dwóch) dowolnie wybranych zadań doświadczalnych. Za każde z zadań doświadczalnych można otrzymać maksymalnie 40 punktów.

Zadanie D1.

Dioda półprzewodnikowa jest elementem elektronicznym o nieliniowej zależności między napięciem a natężeniem prądu. W typowym przypadku napięcie na diodzie spolaryzowanej w kierunku przewodzenia można opisać zależnością:

$$U = AT \log \left(\frac{I}{B} \right) + \frac{E_g}{e}, \quad (1)$$

gdzie:

U – napięcie na diodzie,

I – natężenie prądu płynącego przez diodę,

T – temperatura bezwzględna diody,

e – elementarny ładunek elektryczny,

A, B – stałe charakteryzujące diodę,

E_g – przerwa energetyczna (stała charakteryzująca półprzewodnik, z którego wykonana jest dioda).

Mając do dyspozycji:

- diodę krzemową (np. 1N4007) oraz czerwoną diodę świecącą (LED),
- wodę o temperaturze pokojowej, wrzątek oraz kostki lodu,
- klej, koszulkę termokurczliwą lub inne elementy zapewniające wodoszczelność,
- źródło napięcia stałego 9 V, np. baterię 6LF22,
- potencjometr ok. 50 k Ω ,
- 2 mierniki uniwersalne (multimetry),
- termometr (np. multimetr z sondą do pomiaru temperatury),
- przewody, krokodylki i inne elementy potrzebne do zestawienia układu pomiarowego,
- papier milimetryowy,

wyznacz przerwę energetyczną E_g każdej z diod.

Uwaga: Zachowaj ostrożność przy pracy z gorącą wodą.

Zadanie D2.

Masz do dyspozycji:

- gitarę (akustyczną lub klasyczną),
- przyrząd do pomiaru częstotliwości drgań strun lub do strojenia gitary (np. telefon z odpowiednią aplikacją),
- kilka (6-7) ciężarków o znanej masie (ok. 50 g każdy),
- lekki woreczek foliowy,
- lekki, sztywny drut (np. spinacz biurowy),
- papier milimetryowy,
- podpórki (np. krzesła) umożliwiające stabilne ułożenie gitary w odpowiedniej pozycji,

- taśmę mierniczą.

Dla dwóch skrajnych strun gitary, bez zdejmowania ich z gryfu, wyznacz:

a) ich siłę naciągu

oraz

b) masę na jednostkę długości.

Wskazówka: prędkość fal poprzecznych w strunie wyraża się wzorem $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$, gdzie μ oznacza masę na jednostkę długości struny, a F siłę jej naciągu.

Uwaga: Zachowaj ostrożność przy naciąganiu strun z uwagi na ryzyko ich pęknięcia.

Zadanie D3.

Masz do dyspozycji:

- kartki papieru A4 o znanej gramaturze (np. 80 g/m²),
- taśmę klejącą, linijkę, cyrkiel, ekierki, kątomierz, nożyczki, przybory do pisania (np. ołówki, długopisy, flamastry, kolorowe kredy),
- kamerę (np. w telefonie komórkowym) z funkcją nagrywania filmów o znanej liczbie klatek na sekundę,
- taśmę mierniczą dłuższą niż 2 m,
- komputer z odtwarzaczem multimedialnym pozwalającym na poklatkowe oglądanie filmu lub z programem umożliwiającym śledzenie punktu, np. Tracker <http://physlets.org/tracker/>.

Wyznacz współczynnik oporu aerodynamicznego stożków (samych powierzchni bocznych, bez podstaw) o kątach rozwarcia 45°, 60°, 90° poruszających się wzdłuż swoich osi. Przyjmij, że siła oporu powietrza dana jest wzorem $F_{\text{op}} = \frac{C\rho Sv^2}{2}$, gdzie:

- C jest współczynnikiem oporu aerodynamicznego, który należy wyznaczyć,
- ρ gęstością ośrodka, w którym porusza się stożek,
- S polem powierzchni podstawy stożka,
- v prędkością stożka.