

LXIV OLIMPIADA FIZYCZNA — ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

Rozwiązania zadań I stopnia należy przysyłać do **Okręgowych Komitetów Olimpiady Fizycznej** w terminach: część I — do 10 października b.r., część II — do 14 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 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 sugestię 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 milimetrowym. Ocenie podlegają wyłącznie elementy rozwiązania opisane w pracy. W zadaniach doświadczalnych osobno oceniana jest część teoretyczna i część doświadczalna.

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

ZADANIA DOŚWIADCZALNE

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

Zadanie D1

Masz do dyspozycji:

- plastikową buteleczkę o pojemności 20 – 50 ml,
- elektroniczny termometr z czujnikiem na kablu,
- wodę demineralizowaną,
- zamrażarkę,
- zegarek,
- folię aluminiową, taśmę klejącą.

Wyznacz ciepło właściwe lodu.

Wskazówki:

1. W otoczeniu o temperaturze T_0 , temperatura T przedmiotu pozostawionego w tym otoczeniu wynosi w chwili t

$$T = T_0 + \Delta T_0 \cdot e^{-t/\tau},$$

gdzie ΔT_0 jest różnicą temperatur przedmiotu i otoczenia w chwili $t = 0$, $e = 2,718...$ oznacza podstawę logarytmu naturalnego; $\tau = \alpha \cdot c \cdot m$, c – ciepło właściwe przedmiotu, m – masa przedmiotu, α – pewna stała związana z kształtem i rodzajem powierzchni przedmiotu.

2. Ciepło właściwe wody wynosi $c_W = 4200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Zadanie D2

Celem doświadczenia jest zbadanie spadania magnesu w pobliżu pionowej powierzchni, do której magnes jest przyciągany. Masz do dyspozycji:

- magnes neodymowy w kształcie kulki o średnicy 5 mm,
- płaską, pionową powierzchnię (np. stalowe drzwi, bok metalowej szafki, drzwi lodówki, itp.),
- papier milimetrowy i linijkę,
- taśmę klejącą,
- książki o różnej grubości.

1. Wyznacz czas t spadania magnesu od momentu jego puszczenia do chwili przyłgnięcia do powierzchni, w zależności od początkowej odległości d magnesu od tej powierzchni. Pomiary wykonaj dla możliwie szerokiego zakresu początkowych odległości.
2. Jeżeli siła przyciągania magnesu do powierzchni jest proporcjonalna do $1/d^k$ (gdzie k jest dodatnią liczbą rzeczywistą), to czas t jest w przybliżeniu proporcjonalny do $d^{(k+1)/2}$. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu wyznacz wartość k .

Przyspieszenie ziemskie wynosi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. W rozważanej sytuacji wpływ prądów indukowanych na ruch magnesu jest zanedbywalny.

Uwagi:

- Połknięcie magnesu może być bardzo niebezpieczne!
- Jeżeli nie masz możliwości zdobycia takiego magnesu, do 31 października 2014r. przyślij na adres KGOF zaadresowaną do siebie kopertę ze znaczkiem.

Zadanie D3

Pilot do telewizora steruje odbiornikiem za pośrednictwem wiązki niewidzialnego dla oka ludzkiego promieniowania podczerwonego. Mając do dyspozycji

- pilot do telewizora,
- cyfrowy aparat fotograficzny (np. kamerę internetową, aparat w telefonie),
- płytę CD o pojemności 700 MB,
- taśmę klejącą i plastelinę,
- linijkę, papier milimetrowy i nożyczki,

wyznacz długość fali promieniowania podczerwonego wytwarzanego przez pilot. Przyjmij, że odległość między ścieżkami na płycie CD wynosi $d = 1,55 \pm 0,05 \mu\text{m}$.

Wskazówka: Wybierz aparat, który jest czuły na promieniowanie podczerwone, tzn. może je „zobaczyć”, kiedy skieruje się na niego wiązkę z pilota.

Rozwiązanie zadania D1

Część teoretyczna

Ciepło właściwe lodu można wyznaczyć badając zależność od czasu temperatury porcji wody, która początkowo jest zamrożona. W trakcie doświadczenia powinniśmy zaobserwować trzy fazy tego procesu, różniące się szybkością zmian temperatury:

- ogrzewanie lodu od temperatury początkowej do temperatury $0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- topnienie lodu (podczas którego temperatura pozostaje równa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- ogrzewanie wody powstałej ze stopienia lodu

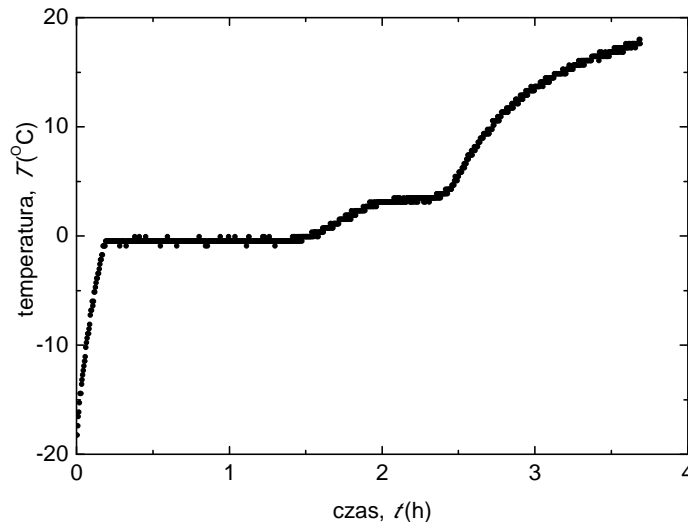
Zgodnie z treścią zadania zmiany temperatury badanego układu (buteleczki z lodem lub wodą) w czasie opisane są funkcją wykładniczą ze stałą czasową $\tau = \alpha \cdot c \cdot m$. Oznaczmy indeksami L wielkości odnoszące się do lodu, a indeksami W wielkości odnoszące się do wody. Mamy wówczas: $\tau_W = \alpha_W \cdot c_W \cdot m_W$ oraz $\tau_L = \alpha_L \cdot c_L \cdot m_L$. W rozważanym eksperymencie masy lodu i wody są jednakowe ($m_W = m_L = m$). Jeśli ogrzewanie lodu i wody przebiega w tych samych warunkach, tzn. temperatura otoczenia T_0 i szybkość wymiany ciepła z otoczeniem (która zależy od właściwości pojemnika) są takie same dla obu stanów skupienia ($\alpha_W = \alpha_L = \alpha$), to ciepło właściwe lodu można wyznaczyć z zależności:

$$c_L = c_W \cdot \tau_L / \tau_W. \quad (1)$$

Część doświadczalna

W niniejszym rozwiązaniu jako pojemnik na wodę wykorzystano walcowe opakowanie po filmie fotograficznym, napełnione 25 ml wody demineralizowanej. W wieczku pojemnika wykonano mały otwór, przez który wprowadzono czujnik termometru. Zadbano o to, aby czujnik znajdował się blisko osi walcowego opakowania i mniej więcej w połowie wysokości słupa wody. Kabel łączący czujnik z termometrem przyklejono do pojemnika, aby czujnik nie zmieniał swego położenia podczas eksperymentu. Po zamknięciu pojemnik owinięto folią aluminiową. Dzięki temu zmniejszono szybkość wymiany ciepła pomiędzy wnętrzem pojemnika a otoczeniem i tym samym uzyskano bardziej jednorodny rozkład temperatury wewnątrz pojemnika.

Tak przygotowany pojemnik umieszczono w zamrażarce, dbając o to, aby pozostawał on w pozycji pionowej. Po kilku godzinach wewnątrz pojemnika rejestrowano stałą temperaturę równą około $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wówczas wyjęto pojemnik i pozostawiono w pomieszczeniu o temperaturze $T_0 = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$. W tym momencie rozpoczęto rejestrowanie zależności temperatury wewnątrz pojemnika od czasu. Rysunek 1 przedstawia uzyskane wyniki pomiaru:



Rys. 1. Zależność od czasu temperatury wewnątrz pojemnika.

W pierwszej fazie eksperymentu ($t < 0,2h$) widoczne jest ogrzewanie lodu do temperatury $0^{\circ}C$. Po osiągnięciu przez badany układ tej temperatury następuje topnienie lodu, podczas którego temperatura pozostaje stała ($0,2h < t < 1,5h$). Następujący po tym okresie wzrost temperatury do ok. $4^{\circ}C$ ($1,5h < t < 2,4h$) związany jest z anomalną rozszerzalnością termiczną wody – w pojemniku nadal znajduje się mieszanina lodu i wody, jednak woda o największej gęstości (o temperaturze $4^{\circ}C$) opada na dno naczynia i znajduje się w otoczeniu czujnika temperatury. Po stopieniu całego lodu ($t \approx 2,4h$) następuje szybki wzrost temperatury układu, związany z ogrzewaniem wody.

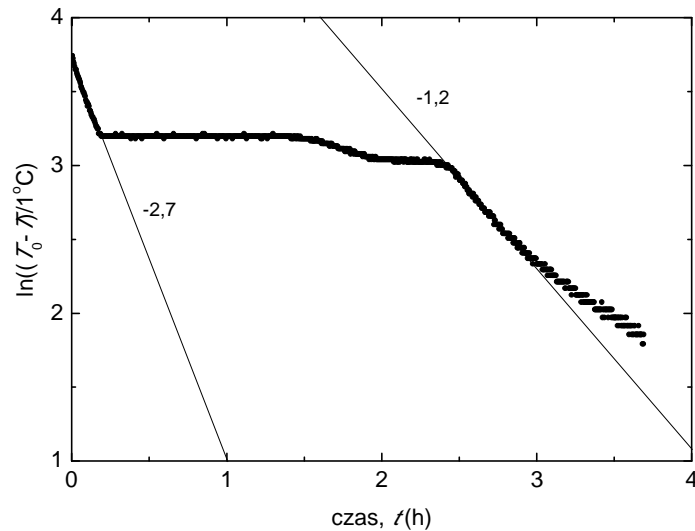
Zgodnie ze wskazówką 1 przyjmujemy:

$$T - T_0 = \Delta T_0 \cdot e^{-t/\tau},$$

zatem po podzieleniu powyższego równania stronami przez jednostkę temperatury i zlogarytmowaniu otrzymujemy:

$$\ln((T - T_0)/1^{\circ}C) = \ln(\Delta T_0/1^{\circ}C) - t/\tau.$$

Aby wyznaczyć stałe τ_L oraz τ_W można więc wykreślić zależność od czasu logarytmu naturalnego z różnicy temperatury otoczenia i chwilowej temperatury wewnątrz pojemnika wyrażonej w stopniach Celsjusza, a następnie dopasować proste do odcinków odpowiadających ogrzewaniu lodu i wody. Współczynniki kierunkowe tych prostych będą równe odpowiednio $-1/\tau_L$ oraz $-1/\tau_W$. Rysunek 2 przedstawia odpowiedni wykres:



Rys. 2. Zależność od czasu logarytmu naturalnego z różnicy temperatury otoczenia i chwilowej temperatury wewnątrz pojemnika wyrażonej w stopniach Celsjusza

Do części wykresu odpowiadającej ogrzewaniu lodu ($0h \leq t \leq 0,2h$) dopasowano prostą o współczynniku kierunkowym $-1/\tau_L \approx -2,7 \pm 0,1 \text{ h}^{-1}$, natomiast części wykresu odpowiadającej ogrzewaniu wody ($2,4 \text{ h} \leq t \leq 2,9 \text{ h}$) – prostą o współczynniku kierunkowym $-1/\tau_W \approx -1,2 \pm 0,1 \text{ h}^{-1}$. Dla temperatur pojemnika z wodą bliskich temperaturze otoczenia sposób wymiany ciepła pomiędzy pojemnikiem i otoczeniem ulega istotnym zmianom, np. wskutek zmian konwekcji powietrza wokół pojemnika. W związku z tym na wykresie przedstawionym na rysunku 2 dla $t > 2,9 \text{ h}$ obserwujemy odchylenie od liniowości, czyli od wykładniczej zależności temperatury wewnątrz pojemnika od czasu. Dlatego dla uzyskania najlepszej precyzji pomiaru najlepiej jest porównywać ogrzewanie lodu i wody w możliwie zbliżonych warunkach, tj. przy temperaturach możliwie bliskich 0°C .

Ostatecznie ciepło właściwe lodu obliczone zgodnie ze wzorem (1) wynosi:

$$c_L = 1900 \pm 250 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K}) .$$

Otrzymany wynik zgadza się w granicach niepewności pomiarowej z wartością podawaną w tablicach, równą około $2100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Stosunek stałych τ_L oraz τ_W , potrzebny do wyznaczenia c_L , można również wyznaczyć w doświadczeniu o odwrotnym przebiegu do opisanego, tj. podczas procesu ochładzania i zamarzania wody w zamrażarce. W takim jednak przypadku należy przed wykonaniem pomiarów sprawdzić stabilność temperatury w zamrażarce. W niektórych zamrażarkach bowiem wahania temperatury mogą być na tyle duże, że uniemożliwiają poprawne wykonanie pomiaru.

Punktacja:

- pomysł na pomiar zależności temperatury lodu/wody od czasu – 6 pkt.
- wzór (1) lub równoważny – 4 pkt.
- opis układu umożliwiającego poprawne wykonanie doświadczenia – 4 pkt.
- sporządzenie wykresu zależności temperatury układu od czasu w skali logarymicznej i identyfikacja poszczególnych etapów doświadczenia – 2 pkt.
- wyznaczenie τ_L/τ_W – 2 pkt.
- wynik liczbowy i jego dyskusja – 2 pkt.