

LVI OLIMPIADA FIZYCZNA (2006/2007). Etap I część 2, zadanie doświadczalne – D3.**Źródło:** Andrzej Wysmołek - plik**Autor:** Andrzej Wysmołek, KG OF**Nazwa zadania:** Stała słoneczna**Działy:****Słowa kluczowe:****Zadanie doświadczalne – D3, zawody I stopnia części 2, LVI OF.**

Masz do dyspozycji:

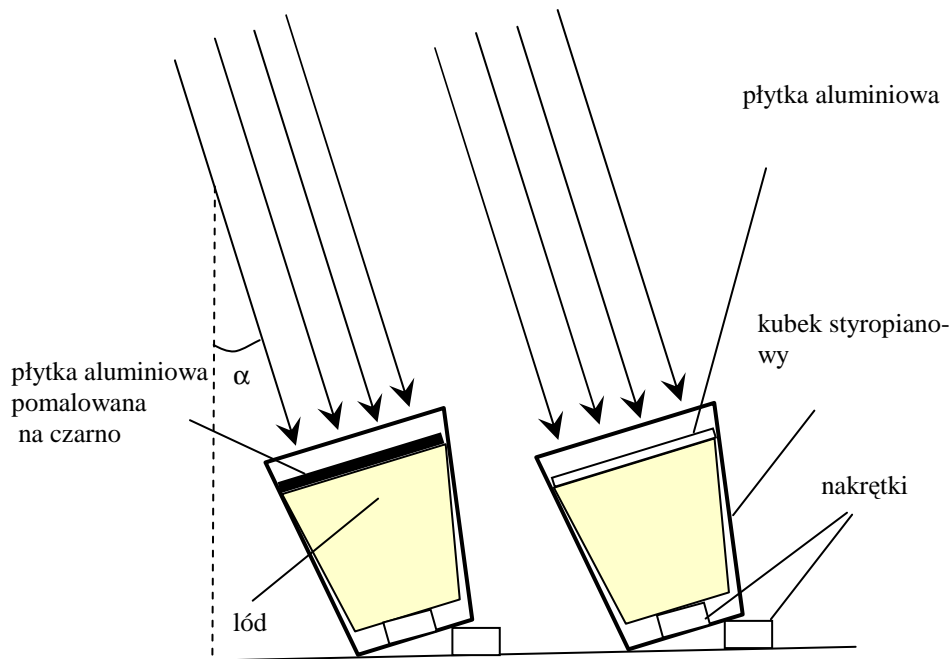
- kubki styropianowe do gorących napojów,
- blachę aluminiową o błyszczącej powierzchni,
- narzędzia do cięcia i obróbki blachy,
- czarną farbę wodoodporną (najlepiej w sprayu)
- wodę,
- lodówkę z zamrażalnikiem,
- zlewkę o niewielkiej pojemności ze skalą objętości lub dużą strzykawkę ,
- zegarek z sekundnikiem,
- linijkę,
- kątomierz,
- niewielkie przedmioty (np. plastikowe nakrętki do butelek), które mogą służyć jako podpórki lub podstawki.

Wyznacz moc promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię 1m^2 ziemi w słoneczny dzień w godz. pomiędzy 11^{00} a 13^{00} . W rozwiązaniu zadania podaj dokładną datę, czas rozpoczęcia i zakończenia pomiarów oraz nazwę miejscowości, w której przeprowadzono doświadczenie.

Przyjmij, że ciepło topnienia lodu wynosi $L = 330000 \text{ J/kg}$. Przyjmij również, że aluminiowa blacha pomalowana czarną farbą absorbuje 95%, natomiast blacha niepomalowana - 15% padającego na nią promieniowania słonecznego.

Rozwiązanie

Zadanie można rozwiązać badając topnienie lodu pod wpływem promieniowania słonecznego. Żeby odseparować wpływ promieniowania słonecznego od efektów związanych z innymi rodzajami przepływu ciepła, należy wykorzystać to, że blaszka poczerniona pochłania energię promieniowania słonecznego znacznie lepiej niż blaszka niepomalowana. Można to zrobić porównując szybkość topnienia lodu, umieszczonego w styropianowych kubkach: jednego nakrytego poczernioną płytką i drugiego nakrytego niepoczernioną płytką aluminiową (rys. 1).



Rys. 1

Żeby wykonać takie doświadczenie należy wyciąć z blachy aluminiowej dwie płytki w kształcie koła o identycznej średnicy, nieco mniejszej niż średnica górnej (wewnętrznej) części kubka. Jedną z płytek należy pomalować czarną farbą. Kubki styropianowe wypełnione wodą należy umieścić w zamrażalniku lodówki. Ponieważ, podczas zamrażania woda zwykle deformuje (rozrywa) ścianki kubków, dlatego po wyjęciu lodu z zamrażalnika należy wyrównać ewentualne nierówności powierzchni i przełożyć lód do nowych kubków. Ważne jest też, żeby lód wyjąć z lodówki odpowiednio wcześniej, tak, aby zdążył ogrzać się do temperatury 0°C przed rozpoczęciem właściwych pomiarów. Przy wkładaniu lodu do nowych kubków, należy zadbać o to, żeby nie przylegał on ściśle do ścianek styropianowych kubków i żeby na spodzie kubka było na tyle dużo miejsca, aby woda z roztopionego lodu nie zalewała płytek aluminiowych. Można to zapewnić wkładając na spód kubków plastikowe nakrętki (rys.1). Lód nakryty płytkami ustawiamy w kubkach tak, aby światło słoneczne padało prostopadłe do powierzchni płytek (rys. 1). Przy użyciu kątomierza mierzymy kąt nachylenia płytek do pionu. Następnie czekamy, aż blaszki przylgną całą swoją powierzchnią do lodu. Kiedy się to stanie wylewamy z kubków wodę jaka się w nich zebrała i ponownie wystawiamy je na działanie promieni słonecznych. Po 10–15 minutach mierzymy objętość wody powstałej ze stopionego lodu. W doświadczeniu wykonanym przy bezchmurnym niebie między godz. 11^{50} a 12^{02} , 8 maja 2006 r. w Warszawie, w kubku przykrytym blaszką poczernioną zebrało się $(20,0 \pm 0,5)\text{ cm}^3$ wody, natomiast w kubku z płytką niepoczernioną zebrało się $(14,0 \pm 0,5)\text{ cm}^3$ wody. Przyjmując, że gęstość wody wynosi 1000 kg/m^3 , różnica tempa topnienia lodu wynosi $\Delta m_1/\Delta t_1 = 8,3 \cdot 10^{-6}\text{ kg/s}$. Pomiaru powtórzono jeszcze dwukrotnie, uzyskując średnią różnicę tempa topnienia lodu $\Delta m/\Delta t = (9 \pm 2) \cdot 10^{-6}\text{ kg/s}$.

Bilans energii dla obu kubków można zapisać w postaci:

$$\begin{cases} m_1 L = P_1 \Delta t + Q_1 \\ m_2 L = P_2 \Delta t + Q_2 \end{cases} \quad (1)$$

gdzie m_1, m_2 – masy wody powstałej z lodu nakrytego odpowiednio poczernioną i błyszczącą płytką, P_1, P_2 – moc promieniowania słonecznego pochłaniana w jednostce czasu odpowiednio przez płytkę poczernianą i błyszczącą, Q_1, Q_2 – ciepło docierające do lodu z otoczenia.

Jeśli przez P_0 oznaczyć całkowitą moc promieniowania padającego na powierzchnię płytek, to zgodnie z treścią zadania należy przyjąć, że powierzchnia poczerniona absorbuje 95% P_0 promieniowania, natomiast blacha niepoczerniona absorbuje 15% P_0 .

Przy założeniu, że wymiana ciepła między otoczeniem a kubkami jest taka sama, tzn. $Q_1 = Q_2$, to spełniony będzie związek:

$$P_0 = \frac{L \Delta m}{S \Delta t}, \quad (2)$$

gdzie $S = \pi d^2/4$ – powierzchnia płytek o średnicy d . Średnicę płytek mierzymy linijką. W doświadczeniu wykonanym przez recenzenta użyto płytek o średnicy $d = (6,0 \pm 0,2)$ cm. Po podstawieniu wartości liczbowych do wzoru (2) uzyskano $P_0 = (440 \pm 130)$ W/m². Wynik ten jest znacznie niższy niż wartość stałej słonecznej wynoszącej 1367 W/m². Jest to przede wszystkim związane z pochłanianiem światła w atmosferze. Nie bez znaczenia może też być przyjęcie założeń o efektywności pochłaniania promieniowania słonecznego przez płytkę poczernioną i niepoczernioną oraz zanieczyszczeniem atmosfery w Warszawie powodującym pochłanianie dodatkowej części promieniowania słonecznego przed dotarciem do powierzchni ziemi. Jeśli uwzględnimy fakt, że promienie słoneczne padają na powierzchnię ziemi pod kątem $\alpha = (30 \pm 5)^\circ$ to moc promieniowania słonecznego padająca na 1 m² powierzchni ziemi wyniesie $P_s = P_1 \cos(\alpha) = (380 \pm 140)$ W/m². Wynik ten jest obarczony dużą niepewnością pomiarową wynikającą głównie z dużej niedokładności pomiaru objętości wody.

Proponowana punktacja

1. Pomysł doświadczenia umożliwiającego porównanie szybkości topnienia lodu przykrytego blaszką poczernioną i niepoczernioną (przykrycie lodu poczernioną i niepoczernioną płytką, objętość wody jako miara dostarczonej energii). do 2 pkt.
2. Ułożenie bilansu energetycznego uwzględniającego efektywność pochłaniania energii słonecznej przez płytki oraz wymianę ciepła z otoczeniem. do 2 pkt.
3. Przygotowanie układu doświadczalnego (wycięcie płytek, pomalowanie płytki, przygotowanie miejsca na wodę na dnie kubków, itp.) do 3 pkt.
4. Wykonanie pomiaru szybkości topnienia lodu pod wpływem promieniowania słonecznego (udokumentowane wyniki, wykonanie eksperymentu w wyznaczonym czasie, powtórzenie pomiarów) do 7 pkt.
5. Wyznaczenie średnicy płytek do 1 pkt.
6. Wyznaczenie mocy promieniowania padającego prostopadle do powierzchni płytek (wzór (2), wynik liczbowy z niepewnością pomiarową) do 3 pkt.
7. Wyznaczenie mocy promieniowania padającego na powierzchnię ziemi (pomiar kąta padania promieni słonecznych, wynik liczbowy i oszacowanie niepewności pomiarowej) do 2 pkt.