

XL OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP WSTĘPNY

Zadania doświadczalne

Rozwiąż wybrane przez siebie jedno z poniżej podanych dwóch zadań doświadczalnych.

ZADANIE D1

Nazwa zadania: „Zmiany temperatury w zależności od otoczenia „

A. Puszkę z cienkiej blachy o pojemności nie większej niż $0,5\text{dm}^3$ (np. po zagęszczonym mleku) opróżnij wycinając otwór o średnicy ok. 5mm w denku oraz przebijając mały otworek w ścianie bocznej w pobliżu denka. Wykorzystując otworek w ścianie bocznej oraz drugi zrobiony po przeciwnej stronie zawieś puszkę jak na rys. 6 i napełnij gorącą wodą. Wstaw termometr do otworu w denku i wyznacz zależność temperatury T wody od czasu. Zrób wykres zależności $\ln(T-T_0)$ od czasu t gdzie T_0 oznacza temperaturę otoczenia, którą powinieneś zmierzyć.

Doświadczenie wykonaj dwukrotnie: raz dla puszkę lśniącej, a raz dla tej samej puszkę, poczernionej na zewnątrz warstwą sadzy (okopć puszkę np. nad płomieniem świecy lub nad płomieniem palącej się waty nasyconej terpentyną)

Omów i zinterpretuj otrzymane wyniki.



rys. 6

UWAGA: W przypadku użycia płomienia terpentyny zachowaj dużą ostrożność. Zapalając watę nasyconą terpentyną połóż ją na niepalnym podłożu, z dala od łatwopalnych substancji, najlepiej pod wyciągiem lub na dworze.

Nazwa zadania: „Wyznaczenie przyspieszenia ziemskiego”

B. Mając do dyspozycji sprężynę, statyw z łapą, kilkanaście ciężarków z haczykami o jednakowej, ale nieznanej masie, linijkę, papier milimetrowy, wyznacz przyspieszenie ziemskie.

ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

A. Ciało o temperaturze T wyższej od temperatury otoczenia T_0 przekazuje energię otoczeniu trzema drogami: przez promieniowanie, konwekcję i przewodnictwo. Całkowita ilość energii tracona przez to ciało w jednostce czasu jest proporcjonalna do różnicy temperatury $T-T_0$

$$\Delta Q = -k(T - T_0)$$

gdzie ΔQ oznacza energię (ilość ciepła) oddaną otoczeniu w przedziale czasu Δt , k - współczynnik proporcjonalności, którego wartość zależy od własności ciała, a w szczególności od własności jego powierzchni. Jest to prawo stygnięcia sformułowane przez Newtona.

Stracie ciepła przy stygnięciu towarzyszy spadek temperatury. Ilość ciepła ΔQ oddana otoczeniu w czasie Δt wyraża się wzorem $\Delta Q = mc\Delta T$, gdzie m jest masą ciała, c jest ciepłem właściwym, ΔT - zmianą temperatury w czasie Δt .

Stąd

$$mc \frac{\Delta T}{\Delta t} = -k(T - T_0),$$

A więc

$$\frac{\Delta T}{T - T_0} = -\frac{k}{mc} \Delta t$$

Całkując to równanie stronami

$$\int \frac{dT}{T - T_0} = -\frac{k}{mc} \int dt$$

Otrzymujemy

$$\ln(T - T_0) = -\frac{k}{mc} t + C$$

Stałą całkowania C wyznaczamy z warunków początkowych: dla czasu $t=0$ temperatura ciała wynosiła T_1 . Stąd $C = \ln(T_1 - T_0)$ i równanie przyjmuje postać

$$\ln(T - T_0) = \ln(T_1 - T_0) - \frac{k}{mc} t$$

Wprowadźmy oznaczenie $r = (k/mc)$, wtedy

$$\ln(T - T_0) = \ln(T_1 - T_0) - \frac{t}{r}$$

Lub w postaci wykładniczej

$$T - T_0 = (T_1 - T_0)e^{-t/r}$$

Z równania tego wynika, że różnica temperatur między ciałem i otoczeniem maleje z czasem w sposób wykładniczy.

W omawianym doświadczeniu porównuje się procesy stygnięcia wody wypełniającej puszkę o lśniącej powierzchni i poczernionej powierzchni znajdujących się w takich samych warunkach. Straty ciepła na konwekcję i przewodnictwo są takie same w obu przypadkach - zapewniają to warunki doświadczenia (zaniedbujemy wpływ cienkiej warstwy sadzy na przewodnictwo). Różnica pomiędzy badanymi procesami spowodowana jest promieniowaniem termicznym.

Jeżeli temperatura otoczenia T_0 jest niższa od temperatury ciała T , to ciało efektywnie wypromieniowuje w jednostce czasu energię P równą

$$P = aS\sigma(T^4 - T_0^4)$$

Gdzie S jest powierzchnią ciała, σ - stałą Stefana - Boltzmanna, a oznacza zdolność pochłaniania ciepła przez ciało w temperaturze bezwzględnej T . Dla ciała doskonale czarnego, którego przybliżeniem jest poczerniona puszka, $a=1$. Dla puszeki

lśniącej $a < 1$, a więc straty ciepła poprzez promieniowanie są w tym przypadku mniejsze i woda w tej puszcze powinna stygnąć wolniej. Dla niezbyt dużych różnic temperatur $T - T_0$ ilość ciepła oddawana otoczeniu w jednostce czasu poprzez promieniowanie jest w przybliżeniu proporcjonalna do różnicy temperatur $T - T_0$, co jest zgodne z prawem stygnięcia Newtona.

Porównując współczynnik r dla procesu stygnięcia wody w puszcze lśniącej i poczernionej należy zauważyć, że iloczyn mc , który trzeba zastąpić wyrażeniem $m_w c_w + m_p c_p$ (gdzie wielkości ze wskaźnikiem w odnoszą się do wody, a ze wskaźnikiem do puszki) jest taki sam w obu przypadkach. Natomiast współczynnik k jest większy dla puszki poczernionej.

Doświadczenie

Do doświadczenia użyto puszki po zagęszczonym mleku o pojemności ok. $0,4 \text{ dm}^3$ i termometru o zakresie $0^\circ - 150^\circ \text{C}$. Puszkę przygotowano wg. Instrukcji podanej w treści zadania. Temperatura otoczenia wynosiła $T_0 = 22^\circ \text{C}$, a temperaturę początkową wody $T_1 = 86^\circ \text{C}$. Odczyt temperatury przeprowadzono w czasie 2 godz. Najpierw co 2, a następnie co 4 min. Do pomiaru czasu używano stopera. Dokładność odczytu temperatury $\Delta T = 0,5^\circ \text{C}$, błąd odczytu czasu $\Delta t = 1 \text{ s}$.

Wartości $(T - T_0)/(T_1 - T_0)$ wraz z błędami odłożono na papierze półlogarytmicznym. Zależność $\ln(T - T_0)$ od czasu jest, zgodnie z przewidywaniami, zależnością liniową. Bardzo uważny obserwator może spostrzec, że w ciągu pierwszych minut doświadczenia spadek temperatury jest szybszy niż w późniejszym okresie, co jest związane z intensywnym parowaniem na powierzchni wody. Można ten efekt zmniejszyć uszczelniając otwory w puszcze np. watą. Ogólnie jednak $\ln(T - T_0) = C - t/r$, ($C = \text{const}$).

Dla $t = 0$ $\ln(T_1 - T_0) = C$, a więc stała odpowiada logarytmowi początkowej różnicy temperatur. Znajdziemy teraz sens fizyczny współczynnika r . Niech $(T - T_0)/(T_1 - T_0) = 1/2$, znajdziemy czas $T_{1/2}$ po jakim różnica temperatur zmniejszy się 2 razy:

$$\ln(1/2) = -\frac{t_{1/2}}{r}$$

$$\ln 2 = \frac{t_{1/2}}{r}$$

$$T_{1/2} = r \ln 2 = 0,69315r$$

A więc po czasie $r \ln 2$ różnica temperatur zmniejszy się 2 razy.

W badanym zakresie temperatur oba procesy stygnięcia miały charakter wykładniczy. Wyznaczono współczynnik r dla obu przypadków posługując się metodą najmniejszych kwadratów. Dla puszki lśniącej otrzymano $r_1 = (121 \pm 2) \text{ min}$ i $(t_{1/2})_1 = (84 \pm 1,4) \text{ min}$, dla puszki poczernionej $r_2 = (94 \pm 4) \text{ min}$ i $(t_{1/2})_2 = (64 \pm 2,8) \text{ min}$. Poczerniona puszka stygnie szybciej.

B. Stosując prawo Hooke'a do sprężyny rozciągniętej o Δx pod wpływem zawieszonych na niej ciężarków o masie Δm można wyznaczyć stosunek przyspieszenia ziemskiego g i stałej sprężystości sprężyny k . Dla sprężyny znajdującej się w równowadze

$$k\Delta x = \Delta mg$$

Należy zmierzyć wydłużenie Δx sprężyny w funkcji zawieszonych masy $\Delta m = nm$, gdzie n – ilość ciężarków, m – masa jednego ciężarka i odkładając $\Delta x = f(\Delta m)$ na papierze milimetrowym wyznaczyć $g/k = \tan \alpha$, gdzie α kąt nachylenia prostej $f(\Delta m) = (g/k)\Delta m$.

Następnie należy zbadać zależność okresu drgań T sprężyny od masy ciężarków. Dla sprężyny nieważkiej okres drgań wynosiłby

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta m}{k}},$$

a więc zależność $T_0^2(n)$ powinna być zależnością liniową i dla sprężyny nie obciążonej ($n = 0$) $T_0 = 0$. W rzeczywistości sprężyna nie obciążona drga z niezerowym okresem co jest związane z jej masą, która jest rozmieszczona wzdłuż jej całej długości. Można przypuszczać, że okres drgań rzeczywistej sprężyny jest równy $T = 2\pi \sqrt{(\Delta m + m_{ef})/k}$, gdzie m_{ef} jest efektywną masą sprężyny. Aby to sprawdzić należy zmierzyć okres drgań sprężyny w zależności od liczby zawieszonych na niej ciężarków. Wykres zależności $T^2(4\pi^2 \Delta m)$ jest linią prostą, która nie przechodzi przez początek układu współrzędnych, a tangens kąta nachylenia tej prostej wynosi $\tan\beta = 1/k$. Łącząc te dwa wyniki otrzymujemy

$$g = \frac{\tan\alpha}{\tan\beta}.$$

Zauważmy, że tak wyznaczone g nie zależy od masy ciężarków. Można więc przyjąć, że masa pojedynczego ciężarka $m=1$ i $\Delta m=n$.

Doświadczenie

Do pomiarów użyto sprężyny zawieszanej na statywie i 14 ciężarków o masie 50g każdy. Wydłużenie sprężyny mierzono linijką, a okres drgań stoperem, przy czym mierzono czas trwania 60 okresów. Wyniki doświadczenia przedstawiono na papierze milimetrowym jako zależności $\Delta x=f(n)$ i $T^2 = f(4\pi^2 n)$, a następnie do punktów doświadczalnych dopasowano proste metodą najmniejszych kwadratów. Wyznaczono wartość przyspieszenia ziemskiego $g = (9,54 \pm 0,37)m/s^2$.

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF XL”

Komitet Główny Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl