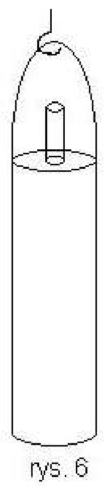
XL OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP WSTĘPNY
Zadania doświadczalne

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 0,5dm^3 (np. po zagęszczonym mleku) opróżnij wycinając otwór o średnicy ok. 5mm w denku oraz przebijając mały otworek w ściance bocznej w pobliżu denka. Wykorzystując otworek w ściance 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 puszki lśniącej, a raz dla tej samej puszki, 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)oddana 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 całkowanie 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 $r=(k/mc)_{-1}$, 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 puszki

lśniącej a<1, a więc straty ciepła poprzez promieniowanie są w tym przypadku mniejsze i woda w tej puszce 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 puszce lśniącej i poczernionej należy zauważyć, że iloczyn mc, który trzeba zastąpić wyrażeniem m_wc_w + m_pc_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.,4dm^3 i termometru o zakresie 0^o – 150^{0}C. Puszkę przygotowano wg. Instrukcji podanej w treści zadania. Temperatura otoczenia wynosiłaT_0=22^{o}C, a temperatur początkowa wody T_1=86^{o}C. Odczyt temperatury przeprowadzono w czasie 2 godz. Najpierw co 2, a następnie co 4min. Do pomiaru czasu używano stopera. Dokładność odczytu temperatury ΔT=0,5^{o}C, błąd odczytu czasu Δt=1s.
Wartości (T-T_0)/(T_1-T_0) wraz z błędami odłożono na papierze półlogarytmicznym. Zależność ln(T-T_0) od czasu jest, zgodne 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 puszce np. watą. Ogólnie jednak ln(T-T_0)=C - t/r , (C=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, znajdźmy czas $T_{1/2}$ po jakim różnica temperatur zmniejszy się 2 razy:

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

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

$$T_{1/2}=r\ln2=0,69315r$$

A więc po czasie rln2 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=+/-2)min i $(t_{1/2})_1$=(84+/-1,4)min, dla puszki poczernione r_2=((94+/-4)min i $t_{1/2})_2$=64+/-2,8)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 zawieszonej 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 = tanα, 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 $T = 2\pi\sqrt{\left(\Delta m + m_{ef}\right)/k}$, 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 kata nachylenia tej prostej wynosi *tanβ=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 *Δm=n.*

Doświadczenie

Do pomiarów użyto sprężyny zawieszonej 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 doświadczalne przedstawiono na papierze milimetrowym jako zależności Δ*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 Okregowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl