

ĆWICZENIE 21

SPRAWDZENIE ŚLUSZNOŚCI I ZASADY TERMODYNAMIKI

Wszystkie ciała zbudowane są z cząsteczek, które znajdują się w ciągłym ruchu. Z ruchem tym związana jest energia kinetyczna. Wskutek bardzo częstych zmian prędkości tych cząsteczek i ogromnej ich liczby, możemy operować jedynie średnią wartością ich energii kinetycznej. Poziomą średnią energii kinetycznej ruchu postępowego cząsteczek najwygodniej jest wyrazić liczbą pewnych jednakowych porcji (stopni) w przyjętej umownie skali. Tę właśnie liczbę stopni (porcji) energii nazywamy temperaturą. Temperatura jest więc miarą średniej energii kinetycznej ruchu postępowego cząstek danego ciała. Energia ta jest związana zależnością wprost proporcjonalną z temperaturą w skali bezwzględnej.

$$E_{k\dot{s}r} = C T$$

gdzie C jest wielkością stałą lub zależnością liniową z temperaturą w skali Celsjusza

$$E_{k\dot{s}r} = C (t + 273^\circ) = C 273^\circ + CT.$$

Energia wewnętrzną danego ciała nazywamy sumę wszystkich zawartych w nim energii. Tak więc w skład energii wewnętrznej danego ciała wchodzi:

- E_k (energia kinetyczna) ruchu postępowego wszystkich cząsteczek tego ciała,
- E_k ruchu obrotowego wszystkich cząsteczek tego ciała,
- E_p (energia potencjalna) cząsteczek związana z siłami działającymi między cząsteczkami,
- E_k atomów związana z ruchami atomów wewnątrz cząsteczek,
- E_p atomów związana z siłami wiążącymi te atomy w cząsteczkach (energia chemiczna),
- E_k elektronów w atomach związana z ich ruchem postępowym i obrotowym,
- E_p elektronów związana z siłami działającymi między jądrem atomu i elektronami,
- E_k związana z ruchem nukleonów w jądrach,
- E_p związana z potężnymi siłami jądrowymi, działającymi między nukleonami w jądrze (energia jądrowa),
- Energia równoważna masie spoczynkowej wszystkich elementów atomów.

Ciało którego cząsteczki mają wyższą średnią energię kinetyczną ruchu postępowego, czyli o wyższej temperaturze, może przekazywać część tej energii poprzez przewodzenie, konwekcję lub promieniowanie drugiemu ciału o temperaturze niższej. Ciepłem nazywamy tę część energii wewnętrznej, która

jest przekazywana między ciałami o różnych temperaturach. Wielkość przekazywanej (pobranej lub oddanej) w ten sposób energii wyrażamy wzorem:

$$Q = m c \Delta t$$

gdzie:

- Δt - przyrost temperatury ciała pobierającego ciepło lub ubytek temperatury ciała oddającego ciepło,
- m - masa ciała pobierającego lub oddającego ciepło,
- c - ciepło właściwe.

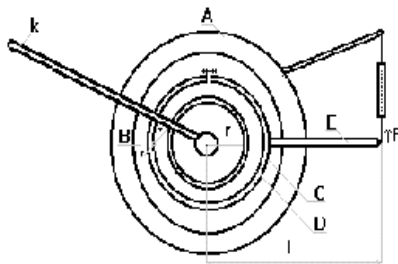
I zasada termodynamiki dotyczy zmian energii wewnętrznej pewnego wyodrębnionego układu ciał. Mówi ona, że:

Zmiana energii wewnętrznej układu jest równa sumie dostarczonego do tego układu ciepła i wykonanej nad tym układem pracy przez siły zewnętrzne.

$$\Delta U = Q + W.$$

Zarówno ciepło tracone przez układ, jak i przez pracę wykonywaną przez układ przyjmujemy ze znakiem minus.

W ćwiczeniu sprawdzenia I zasady termodynamiki wykonuje się przy pomocy termoergometru. Jego schematyczną budowę przedstawia rysunek:



- A - obudowa z listwą,
- B - naczynie kalorymetryczne,
- C - jarzmo,
- D - tuleja,
- E - listwa ruchoma,
- K - korba

Termoergometr składa się z następujących części:

- tulei połączonej z korbą,
- pierścienia hamującego (jarzma) połączonego z listwą ruchomą,
- naczynia kalorymetrycznego,
- obudowy kalorymetru połączonej z listwą nieruchomą.

W skład układu, w którym ma obowiązywać I zasada termodynamiki wchodzi następujące elementy:

- naczynie kalorymetryczne,
- nafta,
- układ cierny (tuleja i jarzmo).

Obracając tuleję wewnątrz jarzma pokonujemy siłę tarcia T między tuleją i jarzmem, w ten sposób wykonujemy nad układem pracę W . Wielkość wykonanej pracy obliczamy z definicji pracy:

$$W = T s,$$

s – przemieszczenie się tulei względem jarzma:

$$s = 2 \pi r n,$$

gdzie:

r – promień tulei,

n – liczba obrotów.

Siła tarcia T działa zarówno na tuleję, jak i na jarzmo i w związku z tym usiłuje obracać jarzmo i połączoną z nim listwę ruchomą w kierunku zgodnym z kierunkiem obrotu tulei. Aby zapobiec tym obrotom i utrzymać tuleję i listwę w równowadze, do końca listwy przyłożona jest siła F , której wartość pokazuje dynamometr. Korzystając z zasady równowagi dźwigni możemy zapisać:

$$T r = F l$$

gdzie:

l – długość listwy,

$T r$ – moment siły tarcia

$F l$ – moment siły utrzymujący listwę w równowadze.

Z powyższego wzoru obliczamy siłę tarcia i podstawiamy do wzoru na pracę:

$$T = \frac{F l}{r}$$

$$W = \frac{F l}{r} 2 \pi F l.$$

Wykonana nad układem praca powoduje przyrost energii wewnętrznej układu, co możemy stwierdzić mierząc temperaturę układu, przed i po wykonaniu pracy. Układ jest odizolowany od otoczenia, jednak izolacja ta nie jest doskonała, ponieważ z chwilą rozpoczęcia wykonywania nad układem pracy, jego temperatura staje się wyższa od temperatury otoczenia oraz z powodu niedoskonałości izolacji, układ traci do otoczenia część ciepła. Tych strat nie jesteśmy w stanie obliczyć. Straty ta można jednak w stosunkowo prosty sposób wyeliminować. Wykonując doświadczenie próbne. Układ ma temperaturę początkową równą temperaturze otoczenia, po wykonaniu określonej przez prowadzącego ćwiczenia liczny obrotów, mierzymy temperaturę końcową. Przed wykonaniem doświadczenia należy obniżyć temperaturę układu o połowę uzyskanego przyrostu w doświadczeniu próbnym. Wtedy w pierwszej fazie doświadczenia temperatura układu będzie niższa od temperatury otoczenia i wskutek niedoskonałej izolacji - układ pobierze z otoczenia pewną ilość ciepła. W drugiej fazie doświadczenia, gdy temperatura będzie wyższa od temperatury otoczenia, układ straci do otoczenia taką samą ilość ciepła jaką pobrał w pierwszej fazie doświadczenia. Dzięki tak przeprowadzonemu doświadczeniu możemy przyjąć, że całkowita wymiana ciepła między układem a otoczeniem jest równa zeru czyli: $Q = 0$.

W takiej sytuacji sprawdzenie słuszności I zasady termodynamiki sprowadza się do sprawdzenia czy:

$$\Delta U = W.$$

Pierwsza zasada termodynamiki jest słuszna gdy:

$$|W - \Delta U| \leq \Delta W + \Delta(\Delta U).$$

Przebieg pomiarów.

1. Wyznaczamy masę naczynia kalorymetrycznego.
2. Wyznaczamy masę nafty.
3. Wykonujemy doświadczenie próbne
 - Mierzmy temperaturę początkową układu t_0 ,
 - Wykonujemy nad układem pracę (obracając ze stałą prędkością i siłą korbkę termoergometru określoną przez prowadzącego ilość obrotów n).
 - Mierzmy temperaturę końcową t_k .
 - Obliczamy $\Delta t = t_k - t_0$.

4. Zmniejszamy (przez ochłodzenie) temperaturę układu do temperatury

$$t_p = t_0 - \frac{\Delta t}{2}$$

5. Wykonujemy doświadczenie jak w punkcie 3, (zapisując np.: co 20 obrotów) wartość siły wskazywanej przez dynamometr.
6. Wyliczamy przyrost energii wewnętrznej układu spowodowany wykonaniem nad nim pracy:

$$W = 2 \pi F l n$$

gdzie:

F - średnia wartość siły,

l - długość listwy $l = 50$ cm,

n - liczba obrotów podana przez prowadzącego.

7. Wyliczamy przyrost energii wewnętrznej układu :

$$\Delta U = [(m_k + m_t + m_j)c_s + m_n c_n](t_k - t_p)$$

gdzie:

c_s - ciepło właściwe stali,

c_n - ciepło właściwe nafty.

Jako wartości nie obarczone błędem możemy przyjąć:

masę układu ciernego: $m_t + m_j = 68$ g.

ciepło właściwe stali : $c_s = 428$ J/kg deg.,

ciepło właściwe nafty; $c_n = 2,14 \times 10^3$ J/kg deg

długość listwy: $l = 0,5$ m.

8. Błędy pozostałych wielkości występujących we wzorach z punktów 6 i 7, należy oszacować.
9. Błędy ΔW i ΔU należy obliczyć metodą różniczki zupełnej.