



Podstawy Fizyki Ciepło

Praca zbiorowa

Ćwiczenie F 21

**SPRAWDZENIE SŁUSZNOŚCI I ZASADY  
TERMODYNAMIKI**

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny  
Siedlce 2019

## 1. Wstęp

W ćwiczeniu w praktyczny sposób sprawdzamy czy I zasada termodynamiki jest słuszna. Wykonujemy to przy pomocy termoergometru.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi:

1. termoergometr,
2. dynamometr wyskalowany w N,
3. termometr,
4. waga analityczna.

Cieczą pomiarową jest nafta.

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny. Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

- rodzaje energii; wewnętrzna, kinetyczna, potencjalna;
- temperatura
-

## 2. Wprowadzenie

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. Poziom średniej 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 miarą średniej energii kinetycznej ruchu postępowego cząstek danego ciała. Energia ta jest związana zależnością wprost proporcjonalną z temperaturą w skali bezwzględnej.

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

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

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

Energią wewnętrzną danego ciała nazywamy sumę wszystkich zawartych w nim energii. W jej skład 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:

- $\Delta t$  - 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.***

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

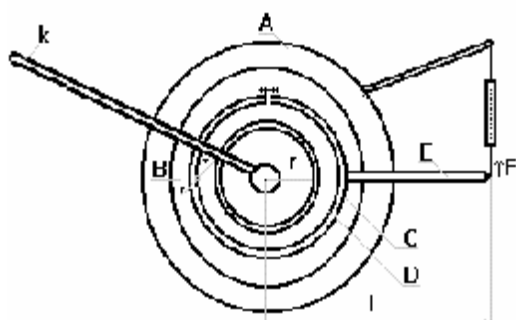
Zarówno ciepło tracone przez układ, jak i przez pracę wykonywaną przez układ przyjmujemy ze znakiem minus.

### 3. Termoergometr

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

Schematyczną budowę przedstawia rysunek:



- A - obudowa z listwą nieruchomą,
- B - naczynie kalorymetryczne,
- C - jarzmo,
- D - tuleja,
- E - listwa ruchoma,
- k - korbka

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:

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

$$W = \frac{Fl}{r} 2\pi Fl.$$

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 te 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 obniżamy 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 zero - 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 -  $m_k$ .
2. Wyznaczamy masę nafty ( $m_n$ ). Ważąc naczynie kalorymetryczne napełnione w 2/3 wysokości naftą ( $m_{k+n}$ ).

$$m_n = m_{k+n} - m_k$$

Wyniki notujemy w tabeli

	$m_k$ [g]	$m_{k+n}$ [g]	$m_n$ [g]	$t_0$	$t_k$
1					
2					
3					
Śr.					

3. Wykonujemy doświadczenie próbne
  - Mierzmy temperaturę początkową układu  $t_0$ ,
  - Wykonujemy nad układem pracę (obracając ze stałą prędkością i siłą korbkę termoeogometru 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 ( $t_{pp}$ )

$$t_{pp} = t_0 - \frac{\Delta t}{2}$$

5. Wykonujemy pomiar główny jak w punkcie 3
  - temperatura początkowa układu  $t_{pp}$ ,
  - Wykonujemy  $n$  obrotów obracając ze stałą prędkością i siłą korbkę termoeogometru. Co 20 obrotów (nie przerywając obracania korbką) zapisujemy w tabeli wartość siły (w Newtonach) wskazywaną przez dynamometr.

Obroty	F[N]
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	
200	

- Mierzmy temperaturę końcową  $t_{kp}$ .
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:

$$\Delta U = [(m_k + m_t + m_j)c_s + m_n c_n](t_{kp} - t_{pp})$$

gdzie:

$c_s$  – ciepło właściwe stali,

$c_n$  – ciepło właściwe nafty.

Jako wartości bez błędu możemy przyjąć:

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

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, szacujemy jako:

$$\Delta n = 1; \quad \Delta F = 0,05N, \quad \Delta m_n = \Delta m_k = 0,01g \quad \text{ i } \quad \Delta t_p = \Delta t_k = 1^{\circ}C.$$

9. Błędy  $\Delta W$  i  $\Delta U$  należy obliczyć metodą różniczki zupełnej.

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

$$\frac{\partial W}{\partial F} = 2\pi \cdot l \cdot n \quad \frac{\partial W}{\partial n} = 2\pi \cdot l \cdot F$$

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

$$\frac{\partial(\Delta U)}{\partial m_k} = c_s(t_k - t_p); \quad \frac{\partial(\Delta U)}{\partial m_n} = c_n(t_k - t_p); \quad \frac{\partial(\Delta U)}{\partial t_k} = (m_k + m_t + m_j)c_s + m_n c_n;$$

$$\frac{\partial(\Delta U)}{\partial t_p} = -((m_k + m_t + m_j)c_s + m_n c_n)$$



Literatura:

Instrukcje ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki A. Daniluk