



Wrocław
University
of Science
and Technology

Fizyka

semestr letni

2020/2021

Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30

Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10

sala wirtualna

– zajęcia online

Sylwia Majchrowska

sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl

<https://majsylw.netlify.app/teaching/>

pokój 213, budynek L-1



Zasady termodynamiki

Dzięki pierwszej zasadzie termodynamiki wiemy, że jedyne procesy, które mogą zachodzić, to te zachowujące energię. Nie może to być jednak jedyne ograniczenie stawiane przez naturę, ponieważ wiele pozornie możliwych procesów termodynamicznych, które zachowywałyby energię, nie zachodzi. Przykładowo, gdy dwa ciała są w kontakcie termicznym, ciepło nigdy nie płynie z ciała zimniejszego do cieplejszego, mimo że nie jest to zabronione przez pierwszą zasadę termodynamiki. Dlatego też muszą istnieć jakieś inne (dodatkowe) zasady termodynamiki, opisujące zachowanie układów fizycznych.

Jedną z nich jest *druga zasada termodynamiki*, która ogranicza możliwe przemiany energii. Energia nie może spontanicznie przechodzić z jednego ciała do drugiego, tak samo jak nie możemy przenieść ciepła z ciała zimniejszego do cieplejszego bez wykonania pracy. Nie możemy wyodrębnić śmietanki z kawy bez procesu chemicznego, który zmieniłby właściwości fizyczne układu lub jego otoczenia. Nie możemy użyć energii wewnętrznej zawartej w powietrzu do napędzania samochodu lub energii oceanu, aby napędzić statek bez zakłócenia otoczenia tych ciał.





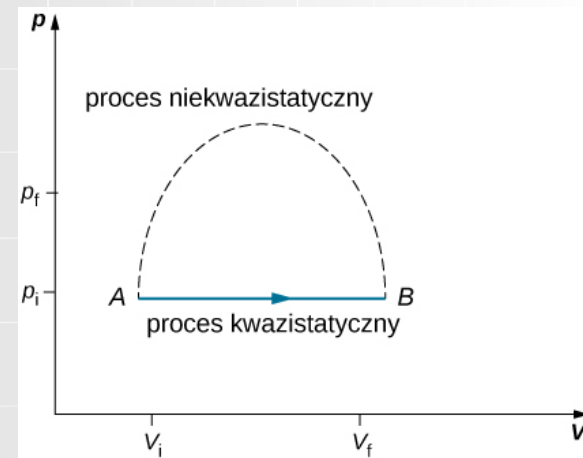
Procesy termodynamiczne

Podczas rozwiązywania problemów z mechaniki izolujemy rozpatrywane ciało, analizujemy siły zewnętrzne, które na nie oddziałują oraz używamy zasad Newtona, aby przewidzieć jego zachowanie. W termodynamice postępujemy podobnie. Zaczynamy od zidentyfikowania części świata, którą chcemy zbadać; tę część nazywamy układem (układ to wszystko, co posiada interesujące nas właściwości termodynamiczne; może być to pojedynczy atom lub cała Ziemia). Po wybraniu układu ustalamy, w jaki sposób oddziałuje na niego środowisko lub otoczenie. Ostatecznie badamy termiczne własności układu, stosując zasady termodynamiki.

Termiczne własności układu opisane są za pomocą zmiennych termodynamicznych (ang. thermodynamic variables). Dla gazu doskonałego tymi zmiennymi są ciśnienie, objętość, temperatura i liczba cząsteczek lub moli gazu. Różne typy układów są zwykle charakteryzowane różnymi zbiorami zmiennych. Przykładowo zmienne termodynamiczne dla gumki recepturki to napięcie, długość, temperatura i masa.

Proces kwazistatyczny (ang. quasi-static process) to taki idealny lub wymyślony proces, w którym zmiana stanu zachodzi nieskończenie powoli, tak że w każdej chwili możemy uznać, iż układ znajduje się w równowagowym stanie termodynamicznym ze sobą i swoim środowiskiem. Procesy kwazistatyczne zachodzą na tyle wolno, że układ pozostaje w równowagowym stanie termodynamicznym w każdej chwili, mimo że zmienia się w czasie. Równowagowy stan termodynamiczny układu jest potrzebny do poprawnego określenia wartości wielkości makroskopowych, takich jak temperatura i ciśnienie układu, dla każdej chwili procesu. W związku z tym procesy kwazistatyczne mogą być przedstawiane jako dobrze zdefiniowane drogi w przestrzeni stanów układu.

Procesy kwazistatyczne nie mogą być tak naprawdę eksperymentalnie zrealizowane dla jakiegokolwiek skończonej zmiany układu, wynika, że wszystkie procesy zachodzące w przyrodzie są niekwazistatyczne.



W procesie kwazistatycznym praca wykonywana przez gaz dana jest wzorem:

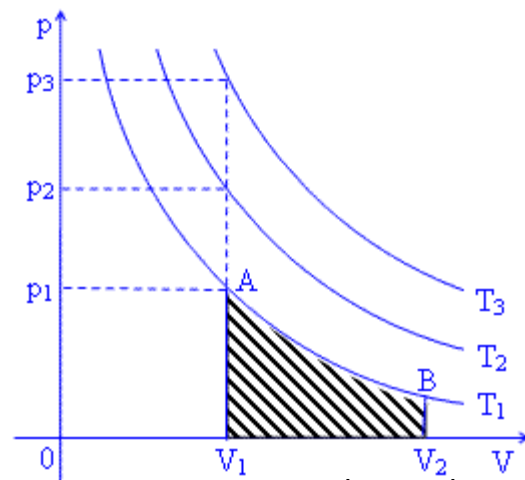
$$W = p\Delta V$$



Procesy izotermiczne

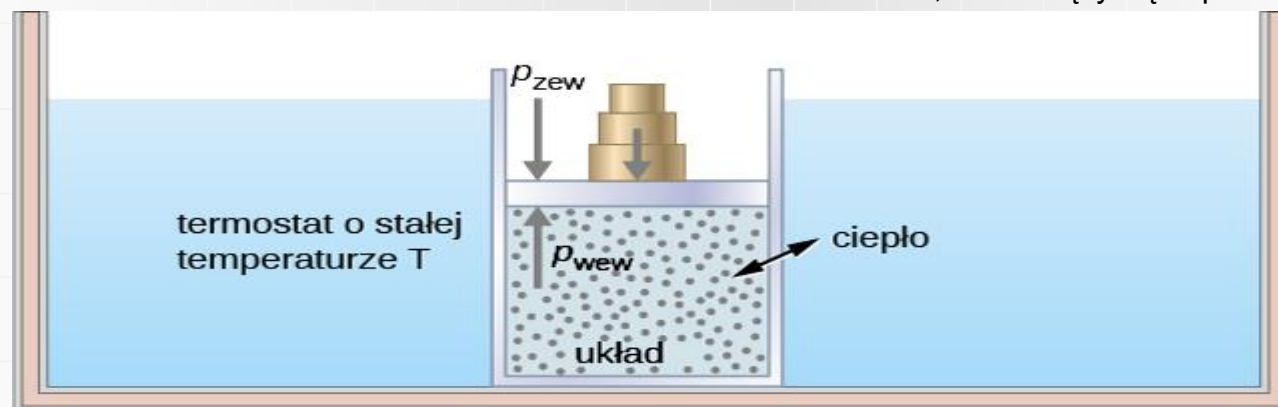
Proces izotermiczny (ang. isothermal process) jest zmianą stanu układu przy stałej temperaturze. Proces ten możemy osiągnąć poprzez utrzymywanie układu w stanie równowagi termicznej za pomocą dużego termostatu. Przypomnijmy, że termostat to idealny, nieskończenie duży układ, którego temperatura się nie zmienia. W praktyce temperatura skończonego termostatu jest kontrolowana poprzez dodawanie lub usuwanie w razie potrzeby skończonej ilości energii.

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_izotermicky_dej&l=pl



$$p \sim \frac{1}{V}$$
$$pV = \text{const.}$$
$$W_T = RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

izotermiczny proces na wykresie (p,V) jest reprezentowany przez łuk rozpoczynający się w punkcie A, a kończący się w punkcie B

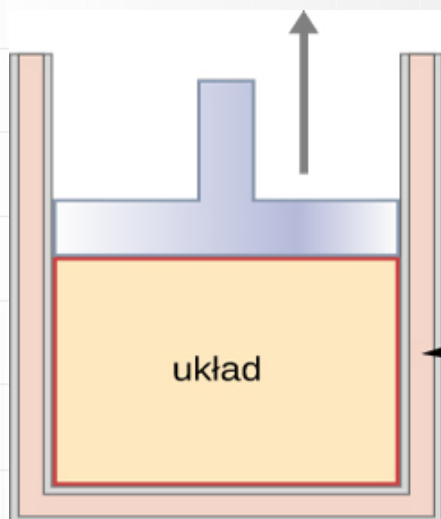


Rozszerzanie układu o stałej temperaturze. Usunięcie obciążników prowadzi do zaburzenia równowagi działających sił i w efekcie tłok się unosi. Wraz z podnoszeniem się tłoka temperatura jest chwilowo obniżona, co powoduje, że ciepło przepływa z termostatu do układu. Tak więc energia potrzebna do podniesienia tłoka pochodzi z termostatu.



Procesy adiabatyczne

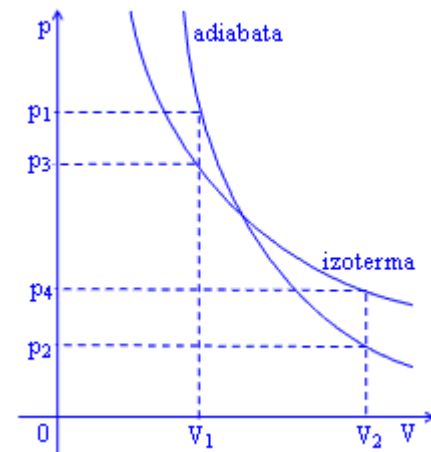
W procesie adiabatycznym (ang. adiabatic process) układ jest oddzielony od swojego środowiska. Dlatego mimo że stan układu się zmienia, ciepło nie może przepłynąć do układu ani z niego wypłynąć. Proces adiabatyczny może być przeprowadzony zarówno kwazistatycznie jak i niekwazistatycznie. Kiedy układ się rozszerza adiabatycznie, musi wykonywać pracę nad otoczeniem, a więc jego energia musi spadać, co znajduje odbicie w spadającej temperaturze układu. Rozszerzanie adiabatyczne prowadzi do obniżenia temperatury, natomiast sprężanie adiabatyczne prowadzi do jej wzrostu.



$$pV^{\kappa} = \text{const. } \kappa = \frac{C_p}{C_v}$$

(brak wymiany ciepła z otoczeniem $\Delta Q = 0$)

Pierwsza zasada termodynamiki dla przemiany adiabatycznej ma postać: $U_a = W_a$, ponieważ w tej przemianie nie ma wymiany ciepła z otoczeniem ($Q_a = 0$). W przemianie adiabatycznej wykonana nad gazem praca całkowicie zamienia się na jego energię wewnętrzną powodując wzrost temperatury. Istnieje pewne podobieństwo do przemiany izochorycznej, w której pobrane ciepło pozostawało całkowicie w gazie powodując wzrost jego energii wewnętrznej, a więc i temperatury. Oczywiście jest, że dostarczenie do gazu 100 J ciepła izochorycznie spowoduje ten sam wzrost temperatury co wykonanie nad nim 100 J pracy adiabatycznie.



Tłok w odizolowanym naczyniu z gorącym, sprężonym gazem zostaje uwolniony. Tłok się podnosi, objętość układu rośnie, a ciśnienie i temperatura maleją. Część energii wewnętrznej zamienia się w pracę. Jeśli rozszerzanie zachodzi w ramach czasowych, podczas których ilość ciepła wymienianego przez układ można zaniedbać, proces jest nazywany adiabatycznym. Podczas idealnego procesu adiabatycznego ciepło ani nie przepływa do układu, ani z niego nie odpływa.

Rysunek wyżej przedstawia izotermę (hiperbola) opisującą przemianę izotermiczną oraz adiabatę (bardziej stroma niż izoterma) - opisującą przemianę adiabatyczną. Tym samym zmianom objętości $V_2 - V_1$ odpowiadają zmiany ciśnienia:

- większa w przemianie adiabatycznej $p_1 - p_2$,
- mniejsza w przemianie izotermicznej $p_3 - p_4$.

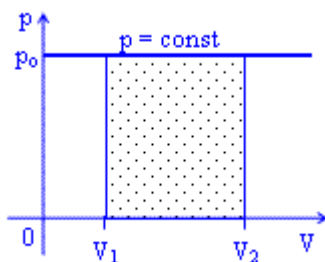


Procesy izobaryczne

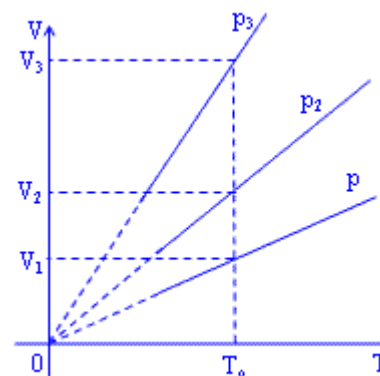
Jest to przemiana, w której ciśnienie gazu jest $p = \text{const}$. Zachodzi ona wtedy, gdy gaz zamknięty w pionowym cylindrze z ruchomym tłokiem jest ogrzewany lub oziębiany. W wyniku tego tłok wędruje w górę lub w dół zmieniając swoją energię potencjalną grawitacji. Mówimy, że wtedy gaz wykonuje pracę (podnosi tłok), lub otoczenie wykonuje pracę nad gazem (tłok wędruje w dół). Zmianie ulegają temperatura i objętość gazu.

prawo Gay-Lussaca (gej-lusaka)

w izobarycznej przemianie stałej masy gazu doskonałego jego objętość zależy wprost proporcjonalnie od temperatury bezwzględnej.



Zauważmy, że na wykresie zależności ciśnienia od objętości w przemianie izobarycznej (rysunek z lewej strony) praca wykonana przez gaz jest liczbowo równa polu pod wykresem $p = f(V)$. Figura pod wykresem jest prostokątem o bokach p_0 i $(V_2 - V_1)$.



$$\frac{V}{T} = \text{const.}$$

Wykresem prawa Gay-Lussaca są proste, które nazywamy izobarami (rysunek z lewej strony). Przedstawia on izobary dla różnych ciśnień tej samej masy gazu. Zachodzi $p_1 > p_2 > p_3$, ponieważ dla tej samej temperatury T_0 mamy $V_1 < V_2 < V_3$.



Procesy izochoryczne

Przemiany gazowe, które omówimy dotyczą stałej masy gazu.

W przemianie izochorycznej objętość gazu jest $V = \text{const.}$ Zachodzi ona wtedy, gdy gaz zamknięty w naczyniu jest ogrzewany. Zmianie ulegają wtedy jego ciśnienie i temperatura.

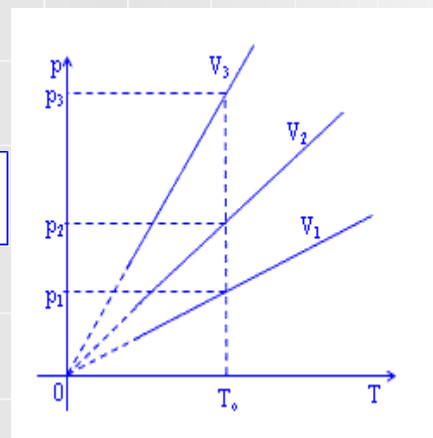
prawo Charles/a (szarla)

w izochorycznej przemianie stałej masy gazu doskonałego jego ciśnienie zależy wprost proporcjonalnie od temperatury bezwzględnej.

Pierwsza zasada termodynamiki $U = Q + W$ dla tej przemiany przyjmie postać:

$$\Delta U = Q_V = nc_V \Delta T$$

W przemianie izochorycznej, jeśli gaz pobierze np. 100J ciepła, to pozostaje ono w gazie jako jego energia wewnętrzna powodując wzrost temperatury.



$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

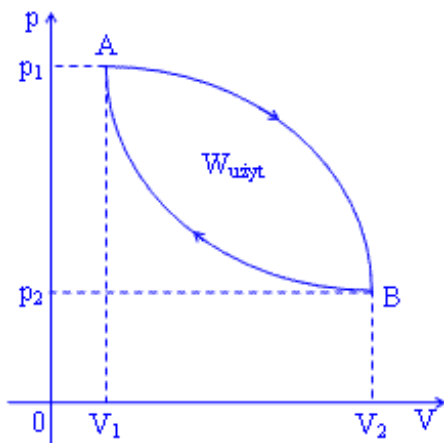
Wykresy zależności ciśnienia od temperatury w przemianie izochorycznej nazywamy izochorami. Są to proste i przedstawia je rysunek u góry, na którym są izochory dla różnych objętości tej samej masy gazu. Zachodzi $V_1 < V_2 < V_3$, ponieważ dla tej samej temperatury T_0 mamy $p_1 > p_2 > p_3$.



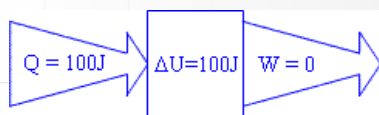
Cykle przemian termodynamicznych

Mówimy, że układ przechodzi proces kołowy zwany też cyklem (ang. cyclic process), jeśli końcowy stan układu jest taki sam jak początkowy. Zatem właściwości układu, takie jak temperatura, ciśnienie, objętość, energia wewnętrzna, nie zmieniają się podczas pełnego cyklu

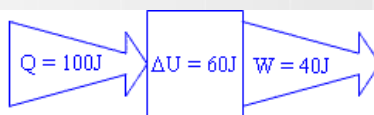
$$\Delta U = 0J$$



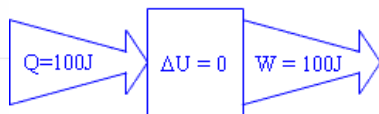
Procesy termodynamiczne dzielimy również ze względu na to, czy są odwracalne, czy nie. Proces odwracalny (ang. reversible process) to taki, którego drogę można odwrócić w wyniku małych zmian zmiennych termodynamicznych. Taki proces musi więc być kwazistatyczny. Zauważmy jednak, że proces kwazistatyczny niekoniecznie jest odwracalny. Przykładowo, jeśli wystąpi tarcie między tłokiem a ściankami cylindra zawierającego gaz, to stracona w jego wyniku energia uniemożliwi odwrócenie procesu i powrót do początkowego stanu systemu.



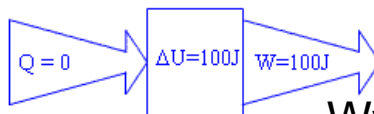
Przemiana izochoryczna



Przemiana izobaryczna



Przemiana izotermiczna



Przemiana adiabatyczna

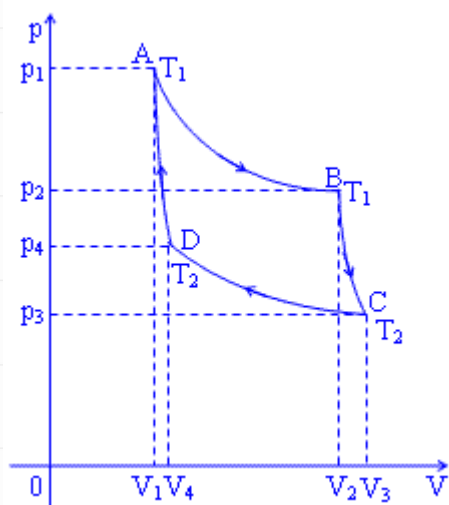
Stosunki energetyczne w różnych przemianach dla gazu doskonałego przedstawia rysunek obok. Przyjęto, że gaz pobiera 100 J ciepła. Na rysunku pokazane jest, co się dzieje z tym ciepłem w poszczególnych przemianach.

Wykres pV twojego własnego procesu:
<https://www.geogebra.org/m/mXvUPjFz>



Cykl Carnota

Spośród wielu cykli przemian termodynamicznych, którym może być poddawany gaz w silniku cieplnym, jest cykl Carnota. Sadi Carnot (1796-1832), to francuski inżynier, który jako pierwszy opracował teoretyczne podstawy silnika cieplnego. Rysunek poniżej przedstawia przemiany w cyklu Carnota na wykresie $p = f(V)$.



- AB - $\left\{ \begin{array}{l} \text{Izotermiczne rozprężanie} \\ \text{gaz } \textcolor{red}{\text{pobiera ciepło:}} \quad Q_1 = nRT_1 \ln(V_2/V_1) \\ \text{i wykonuje tyle samo pracy: } W_1 = nRT_1 \ln(V_2/V_1) \end{array} \right.$
- BC - $\left\{ \begin{array}{l} \text{Adiabatyczne rozprężanie} \\ \text{gaz wykonuje pracę:} \quad W_2 = nc_v(T_1 - T_2) \end{array} \right.$
- CD - $\left\{ \begin{array}{l} \text{Izotermiczne sprężanie} \\ \text{gaz } \textcolor{red}{\text{oddaje ciepło:}} \quad Q_2 = nRT_2 \ln(V_3/V_4) \\ \text{i pobiera tyle samo pracy: } W_2 = nRT_2 \ln(V_3/V_4) \end{array} \right.$
- DA - $\left\{ \begin{array}{l} \text{Adiabatyczne sprężanie} \\ \text{gaz pobiera pracę:} \quad W_4 = nc_v(T_1 - T_2) \end{array} \right.$

Sprawność każdego silnika cieplnego jest:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{gdzie:} \quad \begin{array}{l} Q_1 - \text{to ciepło pobrane,} \\ Q_2 - \text{to ciepło oddane.} \end{array}$$

Sprawność - stosunek pracy wykonanej przez silnik do ciepła dostarczonego do silnika.

Sprawność silnika Carnota jest:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 \ln \frac{V_1}{V_2} - T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_1}{V_2}} \quad \text{ale} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_3}{V_4}$$

więc
$$\eta_c = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$



Przykład 1.1

Silnik Carnota

Silnik Carnota ma sprawność 0,6, a temperatura zbiornika ciepła usuwanego z silnika (zimnego rezerwuaru) jest równa 300K.

- Jaka jest temperatura źródła ciepła dostarczanego do silnika (ciepłego rezerwuaru)?
- Jeśli silnik wykonuje pracę 300J na cykl, to ile ciepła jest pobierane z ciepłego rezerwuaru podczas jednego cyklu?
- Ile ciepła jest oddawane do zimnego rezerwuaru w jednym cyklu?

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \rightarrow T_2 = \frac{T_1}{1 - \eta} = \frac{300K}{1 - 0.6} = 750K$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \rightarrow Q_1 = \frac{W}{\eta} = \frac{300J}{0.6} = 500J$$

$$Q_2 = Q_1 - W = 500J - 300J = 200J$$

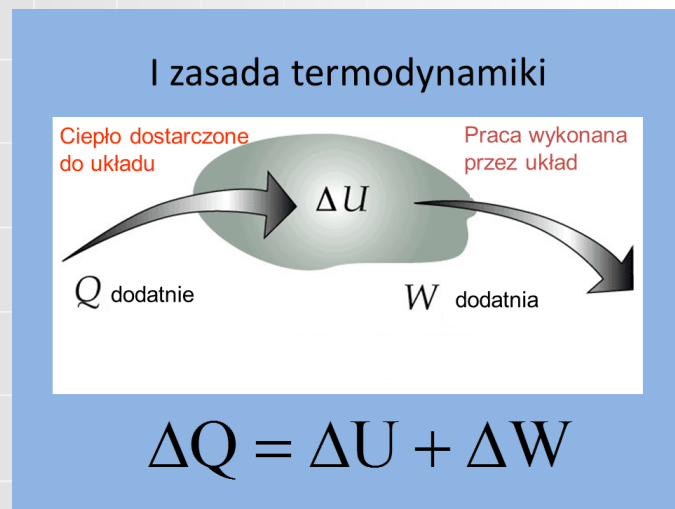
Silnik Carnota ma największą możliwą sprawność przekształcania ciepła w pracę między dwoma rezerwuarami, ale nie musi to oznaczać, że sprawność ta jest równa 100%. Wraz ze wzrostem różnicy temperatur ciepłego i zimnego rezerwuaru wzrasta sprawność silnika Carnota.



Ograniczenia pierwszej zasady termodynamiki

Pierwsza zasada termodynamiki to jedno z podstawowych praw termodynamiki, jest sformułowaniem zasady zachowania energii dla układów termodynamicznych. Zasada stanowi podsumowanie równoważności ciepła i pracy oraz stałości energii układu izolowanego

- Ograniczeniem pierwszej zasady termodynamiki jest to, że nic nie mówi o kierunku przepływu ciepła.
- Nie orzeka też, czy proces ten jest spontaniczny czy nie.
- Nie uwzględnia procesów odwrotnych. W rzeczywistości ciepło nie przekształca się całkowicie w pracę. Gdyby tak było udało się zamienić całe ciepło na pracę, to my może prowadzić statki przez ocean, pobierając ciepło z woda oceanu.



- **Zerowa zasada termodynamiki** \Rightarrow prawo równoważności stanów układów termodynamicznych. Z zasady tej wynika istnienie temperatury empirycznej
- **Pierwsza zasada termodynamiki** \Rightarrow prawo zachowania energii dla układów termodynamicznych.
- **Druga zasada termodynamiki** \Rightarrow prawo stałego wzrostu entropii. Określa kierunek w którym mogą samorzutnie przebiegać procesy termodynamiczne.
- **Trzecia zasada termodynamiki** \Rightarrow prawo dążenia entropii do zera, gdy wartość temperatury bezwzględnej tego układu dąży do zera.



Druga zasada termodynamiki

Wszystkie zjawiska w przyrodzie, obejmujące dostatecznie dużą liczbę cząsteczek, przebiegają w jednym kierunku, którego nie można odwrócić. Zjawiska w przyrodzie są nieodwracalne:

- ciepło samoistnie płynie od ciała cieplejszego do chłodniejszego - nigdy odwrotnie,
- dwa gazy lub dwie ciecze samoistnie się wymieszają (dyfuzja), ale potem nie rozdziela się samodzielnie,
- gaz samoistnie rozpręży się z jednego do drugiego pustego naczynia, ale sam nie wróci do pierwszego,
- w ruchach pod wpływem sił tarcia energia mechaniczna całkowicie zamienia się w wewnętrzną, a w silnikach cieplnych proces odwrotny wymaga oddania do otoczenia części pobranego ciepła.

Z powyższych obserwacji wynika, że układy samoistnie dążą do nieuporządkowania.

- wg Carnota (1796 - 1832):

silnik cieplny nie może pracować nie pobierając ciepła ze źródła ciepła
i nie oddając jego części do chłodnicy.

- wg Ostwalda (1853 – 1932):

perpetuum mobile drugiego rodzaju * nie jest możliwe do zbudowania..

- wg Plancka (1858 - 1947):

niemożliwe jest skonstruowanie działającego w obiegu zamkniętym silnika,
którego działanie polegałoby tylko na podnoszeniu ciężarów
i równoczesnym ochładzaniu jednego źródła ciepła.

- wg Clausiusa (1822 - 1888):

ciepło nie może samorzutnie przejść od ciała o temperaturze niższej do ciała o temperaturze wyższej.
Takie przejście jest możliwe, jeśli jednocześnie wykonana będzie praca..

* Perpetuum mobile drugiego rodzaju to silnik cieplny, który 100 % pobranego ciepła zamieniałby na energię mechaniczną (tyle wykonałby pracy).



Entropia

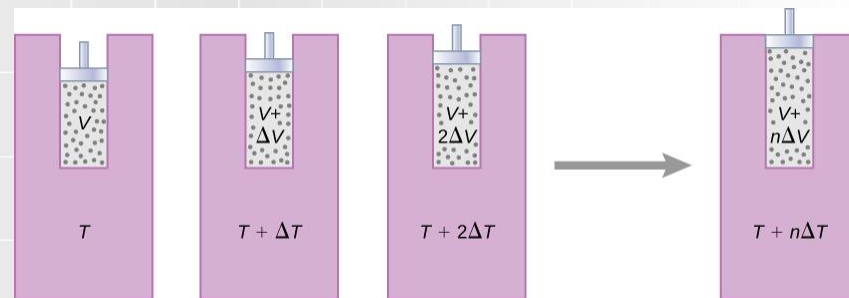
Drugą zasadę termodynamiki najlepiej można sformułować na podstawie zmiany entropii (ang. entropy), oznaczanej symbolem S . Entropia, tak jak energia wewnętrzna, jest funkcją stanu. Oznacza to, że zmiana entropii ΔS jest niezależna od drogi termodynamicznej między dwoma stanami i zależy jedynie od zmiennych termodynamicznych tych dwóch stanów.

Rozważmy najpierw zmianę entropii ΔS układu podczas procesu odwracalnego przy stałej temperaturze. W tym przypadku zmiana entropii układu dana jest wzorem

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

gdzie Q to ciepło wymienione przez układ o temperaturze T (w kelwinach). Jeżeli układ pobiera ciepło, czyli $Q > 0$, entropia układu wzrasta.

Aby wyrazić zmianę entropii układu podczas procesu odwracalnego, dla którego temperatura nie musi być stała, musimy zmodyfikować wzór $\Delta S = \frac{Q}{T}$. Wyobraź sobie układ, który przechodzi ze stanu A do stanu B małymi etapami. Temperatury związane z tymi stanami to T_A i T_B . Podczas każdego etapu przejścia układ wymienia ciepło ΔQ_i w sposób odwracalny przy temperaturze T_i . Taki proces może być osiągnięty eksperymentalnie poprzez umieszczenie układu w kontakcie termicznym z dużą liczbą rezerwuarów o różnej temperaturze T_i . Zmiana entropii dla każdego etapu to $\Delta S_i = Q_i/T_i$.



$$\Delta S = S_B - S_A = \sum_i \Delta S_i$$

Proces izochoryczny: $\Delta S = \frac{3}{2} \cdot nR \cdot \ln(T_2/T_1)$

Co się stanie, jeśli proces będzie nieodwracalny? Oczekujemy wtedy, że entropia zamkniętego układu lub układu i jego otoczenia (w szczególności całego Wszechświata) będzie się zwiększała.

Prawo wzrostu entropii

$$\longrightarrow \Delta S \geq 0 \frac{J}{K}$$



Przykład 1.2

Zmiana entropii topniejącego lodu

Kostka lodu o masie 50g i temperaturze 0°C jest powoli podgrzewana, co prowadzi do przemiany w wodę o tej samej temperaturze. Jaka jest zmiana entropii tego lodu? Ciepło topnienia lodu $c_{tl} = 335 \text{ J/g}$.

$$Q = mc_{tl} = 50g * 335 \frac{J}{g} = 16.8 \text{ kJ}$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{16.8 \text{ kJ}}{273 \text{ K}} = 61.5 \frac{J}{K}$$

Podczas zmiany stanu skupienia temperatura jest stała dlatego możemy napisać, że $\Delta S = \frac{Q}{T}$. To samo równanie mogłoby być również użyte w przypadku zmiany stanu skupienia z ciekłego na gazowy, ponieważ podczas tej przemiany temperatura również nie ulega zmianie.



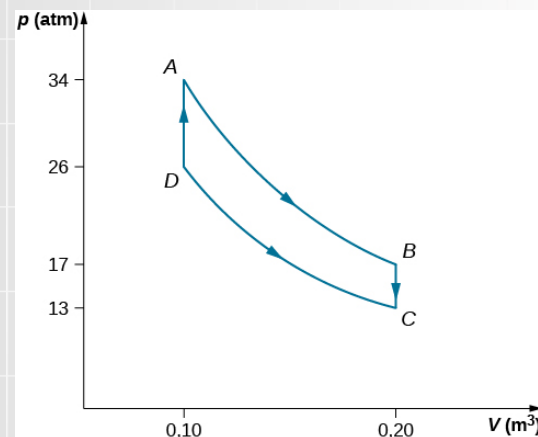
Przykład 1.3

Silnik Stirlinga

Rozwiążmy teraz zadanie z silnikiem Stirlinga (ang. Stirling engine). W tym zadaniu użyjemy 0,001 mola gazu jednoatomowego, który na początku ma temperaturę 133°C i objętość 0,1m³. Stan początkowy oznaczmy jako A. Etapy działania wspomnianego silnika są następujące:

1. Etap AB: rozprężanie izotermiczne przy 133°C od 0,1m³ do 0,2m³.
 2. Etap BC: ochładzanie izochoryczne do 33°C.
 3. Etap CD: sprężanie izotermiczne przy 33°C od 0,2m³ do 0,1m³.
 4. Etap DA: podgrzewanie izochoryczne do 133°C i 0,1m³.
- a) Narysujmy wykres pV dla silnika Stirlinga z odpowiednimi oznaczeniami przejść.
b) Uzupełnij tabelę z wartościami W, Q i ΔS dla każdego etapu pracy silnika.
c) Wyznacz sprawność tego silnika.

Stosując równanie stanu gazu doskonałego, obliczamy ciśnienie w każdym punkcie, dzięki czemu możemy nanieść punkty na wykres pV. Praca w procesie izotermicznym obliczana jest przy użyciu równania $W = nRT \ln(V_2/V_1)$, a dla procesu izochorycznego wynosi zero. Ilość wymienionego ciepła otrzymujemy z pierwszej zasady termodynamiki, $Q = \Delta U - W$, gdzie $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot nR\Delta T$ dla gazów jednoatomowych. Zmiana entropii dla etapów izotermicznych jest równa Q/T , z kolei dla procesów izochorycznych wynosi $\Delta S = \frac{3}{2} \cdot nR \ln(T_2/T_1)$. Sprawność silnika obliczamy, używając $\eta = W/Q_C$.



Etap	W (J)	Q (J)	ΔS (J/K)
$A \rightarrow B$	2.3	2.3	0.0057
$B \rightarrow C$	0	-1.2	0.0035
$C \rightarrow D$	-1.8	-1.8	-0.0059
$D \rightarrow A$	0	1.2	-0.0035
Pełen cykl	0.5	0.5	≈0

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_{AB} + Q_{CD}}{Q_{AB} + Q_{DA}} = 0.11$$



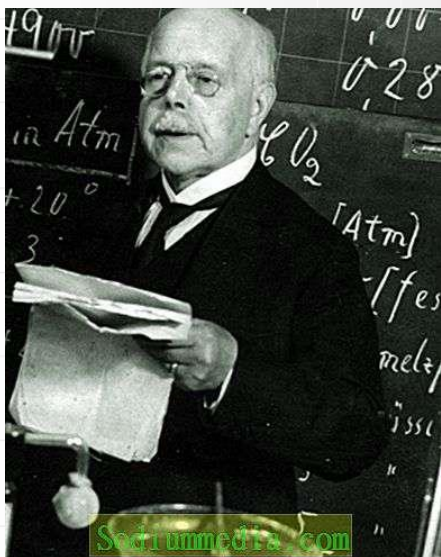
Trzecia zasada termodynamiki

Trzecia zasada termodynamiki (zasada Nernsta, teoremat cieplny Nernsta) może być sformułowana jako postulat: nie można za pomocą skończonej liczby kroków uzyskać temperatury zera bezwzględnego (zero kelwinów), jeżeli za punkt wyjścia obierzemy niezerową temperaturę bezwzględną.

Podstawą takiego zdefiniowania III zasady termodynamiki jest analiza sprawności lodówki. Jak wiemy, lodówka działa na zasadzie odwrotnego cyklu Carnota, a jej sprawność dana jest wzorem:

$$\eta = \frac{Q_{\text{odebrane}}}{W} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Jeżeli ciało o określonej temperaturze T_1 chcielibyśmy schłodzić do $T_2 \rightarrow 0$, odbierając przy tym skończone ciepło Q , to analizując wzór widzimy, że w takim wypadku $\frac{Q}{W} \rightarrow 0$, czyli $W \rightarrow \infty$. Gdybyśmy podstawili $T_2 = 0$, równanie nie miałoby sensu matematycznego, co oznacza, że nie da się osiągnąć temperatury zera bezwzględnego w skończonej liczbie kroków, wobec czego czasem spotykany zapis tej zasady $S(T = 0) = 0$ jest w myśl tego, co pokazano, błędny.



Inne sformułowanie głosi, że entropia substancji tworzących doskonałe kryształy dąży do 0, gdy temperatura dąży do 0 K.

Jednym z użytecznych wniosków wyciągniętych z trzeciej zasady termodynamiki jest redukcja entropii przy przechodzeniu do zera absolutnego. Oznacza to, że system stara się zorganizować. Ten fakt można wykorzystać na przykład do przekształcenia paramagnetycznego w stan ferromagnetyczny podczas chłodzenia.

Warto zauważyć, że najniższą osiągniętą obecnie temperaturą jest $5 \cdot 10^{-10}$ K (2003, laboratorium Massachusetts Institute of Technology, USA).



Słownik

ciepły rezerwuuar (ang. hot reservoir)

– źródło ciepła dostarczanego do silnika

chłodziarka (ang. refrigerator)

– urządzenie, które pobiera ciepło z zimnego rezerwuuaru

chłodziarka (pompa ciepła) idealna (ang. perfect refrigerator (heat pump))

– chłodziarka (pompa ciepła), która usuwa (oddaje) ciepło bez wykonania pracy nad układem

cykl Carnota (ang. Carnot cycle)

– cykl składający się z dwóch izoterm o temperaturach dwóch rezerwuuarów oraz z dwóch adiabat łączących izotermy

entropia (ang. entropy)

– funkcja stanu, która się zmienia, gdy ciepło jest wymieniane między układem i jego otoczeniem

nieodwracalność (ang. irreversibility)

– cecha procesów naturalnych

nieuporządkowanie (ang. disorder)

– miara nieuporządkowania układu; im większe nieuporządkowanie, tym większa entropia

proces nieodwracalny (ang. irreversible process)

– proces, po którym układ oraz jego środowisko nie mogą być jednocześnie przywrócone do swoich początkowych stanów

proces odwracalny (ang. reversible process)

– proces, w którym zarówno układ, jak i środowisko teoretycznie mogą wrócić do swoich oryginalnych stanów



Słownik

pompa ciepła (ang. heat pump)

– urządzenie, które dostarcza ciepło do ciepłego rezerwuaru

proces izentropowy (ang. isentropic)

– odwracalny i adiabatyczny proces, w którym nie ma tarcia ani wymiany ciepła

sformułowanie drugiej zasady termodynamiki według Clausiusa

– ciepło nigdy nie przepływa spontanicznie z ciała zimniejszego do cieplejszego

sprawność (ang. efficiency)

– stosunek pracy wykonanej przez silnik do ciepła dostarczonego do silnika z ciepłego rezerwuaru

silnik ciepły (ang. heat engine)

– urządzenie zamieniające ciepło na pracę

sformułowanie drugiej zasady termodynamiki według Kelvina

– niemożliwe jest przekształcenie ciepła z pojedynczego źródła w pracę bez żadnego efektu ubocznego

silnik idealny (ang. perfect engine)

– silnik przekształcający ciepło w pracę ze sprawnością 100%

silnik Carnota (ang. Carnot engine)

– silnik cieplny Carnota, chłodziarka lub pompa ciepła pracujące w cyklu Carnota

sformułowanie drugiej zasady termodynamiki w oparciu o pojęcie entropii

– entropia układu zamkniętego lub całego wszechświata nigdy nie maleje

twierdzenie Carnota (ang. Carnot principle)

– twierdzenie opisujące sprawność lub wydajność urządzenia cieplnego pracującego w cyklu Carnota: nie istnieje silnik pracujący między dwoma rezerwuarami o danych temperaturach, który miałby większą sprawność od silnika odwracalnego, działającego między tymi samymi rezerwuarami

trzecia zasada termodynamiki (ang. third law of thermodynamics)

– nie można osiągnąć temperatury zera bezwzględnego w skończonej liczbie kroków schładzania

współczynnik wydajności (ang. coefficient of performance)

– miara efektywności chłodziarki lub pompy ciepła

zimny rezerwuár (ang. cold reservoir)

– zbiornik ciepła usuwanego z silnika



Praca domowa

- wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
 1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
 2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
 3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na swoją przestrzeń na dysku gogle (lub na adres email prowadzącej).



Wrocław
University
of Science
and Technology

Terminy

	LUTY	MARZEC					KWIECIEŃ					MAJ					CZERWIEC				LIPIEC	
PN	22	1	8	15	22	29	5	12 Pn N	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5		
WT	23	2	9	16	23	30 Pt P	6	13	20	27	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6		
ŚR	24	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2 Cz P	9	16	23	30	7		
CZ	25	4	11	18 H1	25 H2	1	8 H3	15 H4	22 H5	29 H6	6 H7	13 H8	20 H9	27 H10	3	10	17	24	1	8		
PT	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9		
SO	27	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10		
N	28	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11		
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P		

H2: 25.03.21 godz. 12:00

Email: sylvia.majchrowska@pwr.edu.pl