

Termodynamika jest gałęzią nauki zajmującą się, ogólnie biorąc, przekształcaniami energii z jednej postaci w drugą oraz właściwościami ciał biorących udział w tych procesach. W szczególności termodynamika techniczna zajmuje się zależnościami między ciepłem i pracą oraz właściwościami fizykochemicznymi systemów materialnych.

Ciepło właściwe jest to własność termofizyczna płynu. Średnie ciepło właściwe: (przemiany, T,P) (1.31) zależne jest od rodzaju przemiany, temperatury i ciśnienia, przy czym zależność od temperatury jest silniejsza niż od ciśnienia. Ta ogólna zależność może być ograniczona do uzależnienia ciepła właściwego tylko od przemiany, jak to ma miejsce w gazach doskonałych, lub od przemiany i temperatury, co charakteryzuje gazy półdoskonałe. Szczególną rolę w termodynamice odgrywają ciepła właściwe dwu przemian: • odbywającej się przy stałej objętości, czyli izochorycznej:  $C_v$  - ciepło właściwe przy stałej objętości,  $J/kg \cdot K$

• odbywającej się przy stałym ciśnieniu, czyli izobarycznej:  $C_p$  - ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu,  $J/kg \cdot K$

Stała objętość: powietrze ogrzewane w plastikowym/szklanym naczyniu. Stałe ciśnienie: ogrzewany/ochładzany balonik. Działanie otoczenia na układ termodynamiczny nazywane jest pracą, jeżeli wynik tego działania można sprowadzić tylko do zmiany położenia ciężaru, znajdującego się poza układem, względem poziomu odniesienia. Działania otoczenia na układ zamknięty, które nie mogą być zaliczane do różnego rodzaju prac, są nazywane w termodynamice zewnętrznym ciepłem układu, a sposób w jaki jest przekazywane to ciepło wymianą ciepła, przepływem ciepła lub przenoszeniem ciepła. Wymiana ciepła jest realizowana na różne pod względem fizycznym sposoby: przewodzenie, konwekcję i radiacyjną wymianę ciepła. W układach otwartych energia jest przekazywana również przez granice układu wraz z przepływem substancji w postaci energii kinetycznej, potencjalnej lub entalpii, zwanej często w technice energią cieplną. W przypadku gdy zjawiska wymiany ciepła zmieniają się w miarę upływu czasu, występuje nieustalona wymiana ciepła, a gdy nie zmieniają się w czasie – ustalona wymiana ciepła. Wymiana ciepła występuje pod wpływem różnicy temperatury. Przy rozpatrywaniu zjawisk wymiany ciepła jest konieczna znajomość pola temperatury. Polem temperatury jest nazywany zbiór wartości temperatury we wszystkich punktach rozpatrywanego ciała w danej chwili. Pole temperatury  $T$  jest określone przez zależność temperatury od współrzędnych przestrzeni (np. kartezjańskich  $x, y, z$ ) oraz od czasu  $t$ :  $T=f(x,y,z,t)$  ( 1.1) Gdy pole temperatury zmienia się w czasie, wymiana ciepła jest nieustalona. Wymiana ciepła jest ustalona, gdy pole temperatury nie zmienia się w czasie, czyli gdy temperatura jest tylioi: o funkcją współrzędnych przestrzeni  $T = F( x,y,z), = 0$  (1.2) W zależności od liczby współrzędnych przestrzeni, w kierunku których zmienia się temperatura, pole temperatury i wymiana ciepła są jedno-, dwu- lub trójwymiarowe. Zbiór punktów przestrzeni o jednakowej temperaturze tworzy powierzchnię izotermiczną. Zbiór punktów powierzchni o jednakowej temperaturze tworzy linię izotermiczną. Ponieważ w jednym punkcie przestrzeni nie mogą występować różne temperatury

tej samej substancji, powierzchnie (lub linie) izotermiczne nie przecinają się, lecz tworzą powierzchnie (lub linie) zamknięte albo kończą się na powierzchni ciała. Zarówno w termodynamice, jak i w wymianie ciepła ciepło  $Q$  [kJ] jest wielkością skalarną, chociaż mówimy o kierunku przepływu ciepła od wyższej do niższej temperatury. Stosunek elementarnej ilości ciepła  $dQ$  do czasu trwania wymiany tej ilości ciepła jest nazywany strumieniem ciepła (wyrażanym w  $W$ )

a w warunkach ustalonych:

Strumień ciepła, podobnie jak i ciepło, jest wielkością skalarną. Po odniesieniu strumienia ciepła do jednostki pola powierzchni  $A$  (ściśle zorientowanej w przestrzeni) otrzymuje się wektor zwany gęstością strumienia ciepła (wyrażoną w  $W/m^2$ ). Jest to wektor prostopadły do powierzchni izotermicznej, skierowany zgodnie ze spadkiem temperatury, o module równym stosunkowi elementarnego strumienia ciepła  $dQ$  do elementarnego pola powierzchni  $dA$ , przez którą strumień ten przepływa

lub w zapisie wektorowym:

W szczególnym przypadku gęstość strumienia ciepła w każdym punkcie rozpatrywanej powierzchni jest taka sama i wynosi:

Punktem wyjścia do określenia pola temperatury w ciele stałym jest równanie różniczkowe przewodzenia ciepła, które otrzymuje się na podstawie równania bilansu energii dla elementarnej objętości substancji. W prostokątnym układzie współrzędnych  $x, y, z$  elementarna objętość substancji jest przedstawiona jako prostopadłościan o bokach  $dx, dy, dz$  i objętości  $dV = dx dy dz$  (rys. 1.5).

Y Przy stałym ciśnieniu bilans energii dla ciała stałego przechodzi w bilans entalpii. Przyrost entalpii substancji (o gęstości  $\rho$  i cieple właściwym  $c_P$ ) zawartej w elementarnej objętości  $dV$  zmienia się w czasie  $dt$  o wartość

Ta zmiana entalpii wywołana jest doprowadzaniem ciepła z zewnątrz przez przewodzenie i ewentualnie doprowadzaniem ciepła od wewnątrz, gdy istnieją wewnętrzne źródła ciepła. Strumień ciepła przewodzony wzdłuż osi  $x$  zmienia się na odległości  $dx$  o

Analogicznie otrzymuje się zmiany strumieni ciepła w pozostałych kierunkach osi współrzędnych. Pozwala to na zestawienie równania bilansu entalpii dla izotropowego ciała stałego w postaci równania

Wyprowadzone niżej wzory na jednostkową energię cieplną  $u$  i entalpię  $h = u + Pv$  nazywane są też kalorycznymi równaniami stanu. Entalpia reprezentuje energię cieplną w równaniach bilansowych systemów otwartych, z jakimi bardzo często mamy do czynienia w technice. W ogólnym przypadku substancji prostej, kiedy stan tej substancji jest w zupełności określony przez 2 parametry:  $T, P$  lub  $T, v$  (ew.  $P, v$ ), energia cieplna i entalpia są funkcjami dwu zmiennych:  $u = f(T, v)$   $h = f(T, P)$  Gazy doskonałe i półdoskonałe Na energię cieplną gazów doskonałych i półdoskonałych składa się wyłącznie energia kinetyczna ruchów molekuł i atomów, pomija się energię potencjalną oddziaływania tych cząstek na siebie.

Chodzi tu o energie ruchu postępowego i obrotowego a w gazach półdoskonałych jeszcze o energię ruchu drgającego atomów w molekule. Energia cieplna 1 kg gazu doskonałego lub półdoskonałego może być najprościej wyznaczona z równania I zasady termodynamiki:

zastosowanego do przemiany izochorycznej, w której dla  $v = \text{const}$  jest  $dv = 0$  tak że równanie I Z.T. upraszcza się do postaci

Wynika z tego, że ciepło doprowadzone do ciała zachowującego stałą objętość w całości podwyższa energię wewnętrzną tego ciała. Ale ciepło przemiany izochorycznej określa wzór  $dqv = cvdT$  (3.36) Przyrównując stronami (3.35) i (3.36), otrzymuje się:

w którym indeks  $v$  oznacza różniczkowanie przy  $v = \text{const}$ . Dla gazów doskonałych jest oczywiście  $cv = \text{const}$   $f(T)$  i całkowanie równania (3.37) w granicach od stanu odniesienia (normalnego, standardowego) do stanu bieżącego daje

czyli  $u - u_0 = cv \cdot (T - T_0) = cv \cdot (t - t_0)$  (3.39) Przyjmuje się temperaturę stanu odniesienia  $T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^\circ\text{C}$  i wtedy: