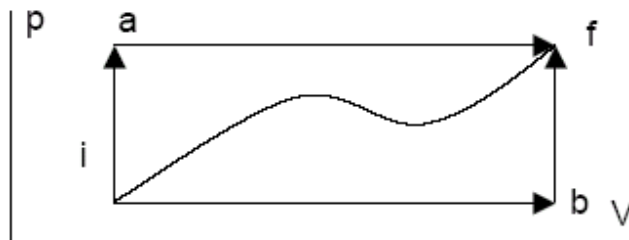
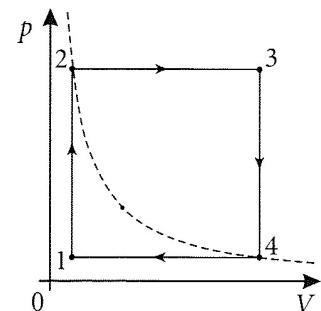


- Niech zależność ciepła właściwego od temperatury ma postać:  $c=A+BT^2$ , gdzie A i B są stałymi, a T temperaturą w skali Celsjusza. Porównać ciepło właściwe tej substancji w zakresie temperatur od  $T=0^\circ\text{C}$  do  $T=T_0$  z jej ciepłem właściwym w środkowym punkcie przedziału  $T_0/2$ .
- Termometr o masie 0,055 kg i cieple właściwym  $0.2 \text{ cal}/(\text{kg}\cdot\text{K})$  wskazuje temperaturę  $15^\circ\text{C}$ . Termometr ten całkowicie zanurzonego w 0.3 kg wody, w wyniku czego osiągnął on taką samą temperaturę końcową jak woda. Jaka była temperatura wody przed zanurzeniem w niego termometru, jeżeli termometr, który jest dokładnie wyskalowany wskazuje  $44,4^\circ\text{C}$ ? Pomiń inne straty ciepła.
- Gdy układ przeprowadzono ze stanu i do stanu f na drodze iaf (rys. poniżej), stwierdzono, że  $Q=50 \text{ cal}$  oraz  $W=20 \text{ cal}$ . Natomiast na drodze ibf,  $Q=36 \text{ cal}$ . (a) Ile wynosi W na drodze ibf? (b) Jakie jest Q dla krzywoliniowej drogi powrotnej fi, jeżeli na tej drodze  $W=-13 \text{ cal}$ ? (c) Przyjmując, że  $U_i=10 \text{ cal}$ . Jakie jest  $U_f$ ? (d) Jakie jest Q dla procesu ib, jeżeli  $U_b=22 \text{ cal}$ ? A jakie dla procesu bf?
- Obliczyć pracę wykonaną w przemianach: izotermicznej, izobarycznej i adiabatycznej.
- Najniższa próżnia jaką można osiągnąć w laboratorium odpowiada ciśnieniu  $10^{-10} \text{ mm Hg}$ . Ile cząsteczek znajduje się w jednym  $\text{cm}^3$  takiej „próżni”, w temperaturze pokojowej?
- Obliczyć prędkość średnią, prędkość średnią kwadratową oraz prędkość najbardziej prawdopodobną dla rozkładu Maxwella.
- Obliczyć energię kinetyczną ruchu obrotowego wszystkich cząsteczek zawartych w 1 kg tlenu przy  $47^\circ\text{C}$ .
- Kawałek lodu o masie 0.1 kg mający początkową temperaturę 240 K, zamienia się w parę przy temperaturze 373 K. Wyznaczyć zmianę entropii przyjmując, że ciepła właściwe lodu i wody nie zależą od temperatury. Ciśnienie atmosferyczne. Ciepła właściwe lodu i wody równe są odpowiednio:  $1.8 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{deg})$ ,  $4.18 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{deg})$ , ciepło topnienia lodu  $3.35 \cdot 10^5 \text{ J}/\text{kg}$ , ciepło



parowania wody  $2.26 \cdot 10^6 \text{ J}/\text{kg}$ .

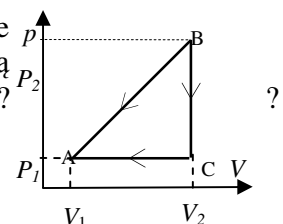
- Bryłka miedzi o masie 75g po wyjęciu z pieca hutniczego zostaje wrzucona do szklanej zlewki o masie 300g zawierającej 200g wody. Temperatura wody wzrasta od  $12^\circ\text{C}$  do  $27^\circ\text{C}$ . Jaka jest temperatura pieca?
- Kalorymetr aluminiowy o masie 800 g zawiera 0,5 kg wody zmieszanej z lodem (w stanie równowagi). Oblicz masę lodu, jeśli po skropleniu w kalorymetrze 150 g pary wodnej w temperaturze  $100^\circ\text{C}$  temperatura wzrosła do  $100^\circ\text{C}$ .
- Mol gazu doskonałego poddano cyklowi zamkniętemu, składającemu się z dwóch przemian izochorycznych i z dwóch izobarycznych. Punkty 2 i 4 leżą na tej samej izotermie. W stanach 1 i 3 temperatury wynoszą  $T_1$  i  $T_3$ . Wyprowadź wzór na temperaturę T gazu w stanach 2 i 4.



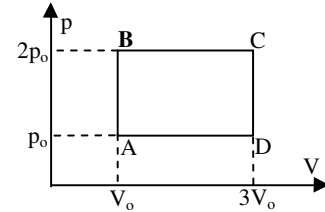
12. Obliczyć pracę przypadającą na jeden mol gazu doskonałego rozprężającego się izotermicznie, tzn. w stałej temperaturze, od objętości początkowej  $V_1$  do objętości końcowej  $V_2$ .
13. Wykazać, że dla gazu doskonałego, podlegającego przemianie adiabatycznej,  $pV^\kappa = \text{const}$ , gdzie  $\kappa = C_p/C_v$ .
14. Wykazać, że sprawność silnika Carnota, w którym substancją roboczą jest gaz doskonały, wynosi  $\eta = (T_1 - T_2)/T_1$ .
15. W zbiorniku o stałej objętości znajduje się gaz o masie  $m$  i temperaturze  $t_1 = 47^\circ\text{C}$ . Wskutek chwilowego otwarcia zaworu część gazu o masie  $1/5 m$  wydostała się na zewnątrz.
  - a) Oblicz końcową temperaturę gazu w zbiorniku, jeśli jego ciśnienie spadło do 75% ciśnienia początkowego.
  - b) Oblicz, do jakiej wartości musiałaby wzrosnąć temperatura gazu pozostałego w zbiorniku, aby jego ciśnienie nie uległo zmianie.
16. Średnia energia kinetyczna cząsteczek tlenu poruszających się w naczyniu wynosi  $E_{\text{sr}} = 10^{-21}\text{J}$ . Obliczyć gęstość tlenu  $\rho$  w tych warunkach, jeśli ciśnienie wywierane przez tlen wynosi  $p = 2\text{atm}$ .
17. W naczyniu znajdują się dwa gazy: azot i wodór w temperaturze  $T = 300\text{K}$ . Obliczyć:
  - a) średnią energię cząsteczek azotu  $E_1$  i wodoru  $E_2$ , b) średnią prędkość cząsteczek azotu  $v_1$  i wodoru  $v_2$ . Jak zależą energie i prędkości cząsteczek od ich liczby w naczyniu? 15-4
18. Pewna masa  $m$  azotu zajmuje objętość  $V_1 = 3\text{dm}^3$  w temperaturze  $T_1 = 100\text{K}$ . Obliczyć temperaturę  $T_2$  połowy tej masy azotu w objętości  $V_2 = 6\text{dm}^3$ , pod tym samym ciśnieniem. 15-6
19. Obliczyć ciśnienie  $p$  wywierane przez  $N = 10^9$  cząsteczek gazu w objętości  $V = 1\text{mm}^3$  i temperaturze  $T = 5000\text{K}$ .
20. W temperaturze  $t_1$  stopni Celsjusza gaz zajmował objętość  $V_1$ , a w temperaturze  $t_2$ , objętość  $V_2$ . Obliczyć współczynnik rozszerzalności objętościowej  $\alpha$ , jeżeli ciśnienie pozostawało stałe. 15-12
21. W dwu naczyniach o pojemnościach  $V_1$  i  $V_2$  znajdują się dwa różne gazy o masach  $m_1$  i  $m_2$  i masach cząsteczkowych  $\mu_1$  i  $\mu_2$ . Obliczyć ciśnienie mieszaniny gazów powstałej po połączeniu obu naczyń przewodem, którego pojemność można pominąć. Temperatura obydwu gazów jest stała i wynosi  $T$ . 15-13
22. Do naczynia o pojemności  $V$ , zawierającego suche powietrze w temperaturze  $T$ , wprowadzono masę  $m$  wody. Obliczyć wilgotność względną  $w_w$  w naczyniu. 15-14
23. W dwóch jednakowych naczyniach o pojemności  $V = 1\text{m}^3$  każde znajduje się nasycona para wodna: w pierwszym w temperaturze  $T_1 = 0^\circ\text{C}$  masa  $m_1 = 4,84\text{g}$  pary wodnej wywiera ciśnienie  $p_1 = 610\text{Pa}$ , w drugim w temperaturze  $T_2 = 120^\circ\text{C}$  masa  $m_2 = 1122\text{g}$  pary wodnej wywiera ciśnienie  $p_2 = 198,5 \cdot 10^3\text{Pa}$ . Obliczyć, ile razy wzrosłoby ciśnienie w każdym z tych naczyń, gdyby nie zmieniając temperatury rozłożyć całą parę wodną na mieszaninę cząsteczek tlenu  $\text{O}_2$  i wodoru  $\text{H}_2$ . 15-15
24. Butla zawiera gaz w temperaturze  $T_1$ . Po wypuszczeniu części gazu zwiększono temperaturę do  $T_2$ . Obliczyć, ile razy ( $x$ ) wzrosła gęstość gazu w butli, jeżeli ciśnienie wzrosło  $k$  razy. 15-18

25. Probówka o długości  $L$  i przekroju  $S$  została odwrócona otwartym końcem do dołu i wskutek obciążenia zasklepionego końca masą  $m$  zanurzona do wody na głębokość  $x+a$ . Obliczyć wysokość słupka wody w probówce. Masę probówki zaniedbać. 15-22
26. Naczynie jest zamknięte ruchomym tłokiem o całkowitej masie  $M$ . Pole przekroju poprzecznego naczynia wynosi  $S$ . Pod tłokiem znajduje się masa  $m$  tlenu. Obliczyć, jaki powinien być przyrost temperatury  $\Delta T$  gazu, aby tłok podniósł się na wysokość  $h$ , jeżeli ciśnienie atmosferyczne wynosi  $p$ . 15-23
27. Cylinder z gazem zamknięto ruchomym tłokiem o przekroju  $S$ . Następnie powoli za pomocą ciężaru  $Q$  wciśnięto tłok tak, że uzyskano względną zmianę objętości gazu równą  $a$ . Obliczyć minimalne ciśnienie  $p$ , jakie wytworzy się w gazie, jeżeli nagle usuniemy ciężar  $Q$ . Siły tarcia pominać. 15-24
28. Cylinder z gazem zamknięto ruchomym tłokiem o przekroju  $S$ , a następnie wciskając tłok za pomocą pewnej siły wytworzono dodatkowe ciśnienie  $p$ , uzyskując względną zmianę objętości gazu równą  $a$ . Czy po gwałtownym usunięciu siły cylinder oderwie się od stołu na którym stoi? Masa cylindra wynosi  $m$ . 15-25
29. Ruchomy tłok zamyka gaz w cylindrycznym naczyniu. Wyciągając tłok powoli zwiększono  $n$ -krotnie objętość gazu, przy czym ciśnienie spadło do wartości  $p_1$ . Czy wynik doświadczenia zależy od szybkości wyciągania tłoka? 15-32
30. Do kalorymetru o masie  $m_1 = 400\text{g}$  ( $c_1 = 400\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ) i temperaturze  $t_1 = 50^\circ\text{C}$  wlewo wodę o masie  $m_2 = 100\text{g}$  ( $c_2 = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ) i temperaturze  $t_2 = 10^\circ\text{C}$ . Po czasie  $\tau = 10\text{ min}$  kalorymetr osiągnął minimalną temperaturę  $t_k = 20^\circ\text{C}$ . Obliczyć średnią szybkość strat ciepła spowodowaną niedoskonałą izolacją ciepłą kalorymetru. 16-2
31. W kalorymetrze zmieszano  $m_1 = 100\text{g}$  nafty ( $c_1 = 2100\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ) o temperaturze  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  z  $m_2 = 100\text{g}$  wody ( $c_2 = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ) o temperaturze  $t_2 = 30^\circ\text{C}$ . Mieszanina osiągnęła w ciągu kilku minut temperaturę  $t_3 = 20^\circ\text{C}$ . Sprawdzić, czy wynik ten jest zgodny z zasadą bilansu cieplnego, a jeśli nie, podać prawdopodobną przyczynę powstałej różnicy. 16-3
32. Do naczynia, w którym znajduje się  $m_1 = 0,1\text{ kg}$  lodu o temperaturze  $t_1 = -10^\circ\text{C}$  i ciepłe właściwym  $c_1 = 2100\text{ J/kg}\cdot\text{K}$  wlewo  $m_2 = 0,05\text{ kg}$  wody o temperaturze  $t_2 = 20^\circ\text{C}$  ( $c_2 = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ). Określić stan końcowy mieszaniny. Ciepło krzepnięcia wody  $\lambda = 334\cdot 10^3\text{ J/kg}$ . 16-4
33. Grzałka elektryczna o oporze  $R_1 = 33\Omega$  w określonym czasie doprowadza pewną masę wody od  $0^\circ\text{C}$  do wrzenia ( $\Delta t = 100\text{ K}$ ). Jaki opór należy dołączyć do grzałki, aby w tym samym czasie doprowadzała tę samą masę lodu od temperatury  $0^\circ\text{C}$  do wrzenia. Dla wody dane są: ciepło właściwe  $c = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$  i ciepło topnienia  $\lambda = 3,3\cdot 10^5\text{ J/kg}$ . 16-10
34. Pewną ilość wody doprowadzono do nietrwałej równowagi, oziębiając ją do temperatury  $t_0 = -5^\circ\text{C}$ . Czy zakłócenie tej równowagi, np. przez potrząśnięcie, może doprowadzić do całkowitego zamrożenia wody? Ciepło topnienia lodu  $\lambda = 3,3\cdot 10^5\text{ J/kg}$ , ciepło właściwe wody  $c_w = 4200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . 16-17
35. Obliczyć zmianę temperatury  $\Delta t$  sprężyny, jeżeli w czasie  $\tau = 100\text{ s}$  po  $n = 100$  pełnych drganiach ich amplituda zmalała od  $a_1 = 60\text{ cm}$  do  $a_2 = 40\text{ cm}$ . Masa sprężyny stanowi  $\eta = 1\%$  masy  $m$  wprawionej w drgania przez sprężynę. Ciepło właściwe materiału sprężyny  $c = 200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ . Zaniedbać straty ciepła do otoczenia (na opory ruchu). 16-24

36. Z równi o długości podstawy  $s = 40$  cm zsunął się klocek miedziany. Obliczyć przyrost temperatury klocka, zakładając, że tylko połowa wydzielonego ciepła ( $\eta = 1/2$ ) została zużyta na jego ogrzanie. Współczynnik tarcia  $f = 0,5$ , ciepło właściwe miedzi  $c = 400$  J/kg·K. 16-25
37. O ile wzrośnie maksymalnie temperatura dwóch jednakowych kul ołowianych w wyniku ich centralnego zderzenia, jeżeli poruszają się one z prędkością  $v = 130$  m/s każda? Ciepło właściwe ołowiu  $c = 130$  J/kg·K. 16-27
38. Do długiej pionowej rury o przekroju  $S = 10$  cm<sup>2</sup> zawierającej glicerynę wsypano śrut w ilości  $m = 1$  kg. Śrut opadł ruchem jednostajnym. Oblicz zmianę temperatury w środkowej części rury. Ciepło właściwe gliceryny  $c = 2400$  J/kg·K, a jej gęstość  $\rho = 1200$  kg/m<sup>3</sup>. Przyjąć, że śrut ma znikomą pojemność cieplną. 16-28
39. Kulka spada z wysokości  $h$  na stół i odbija się od niego. Od pierwszego uderzenia o stół do następnego upłynął czas  $\tau_1$ . Obliczyć zmianę temperatury  $\Delta t$  na skutek odbicia kulki, jeśli jej ciepło właściwe wynosi  $c$ , a  $n$ -tą część wydzielonego ciepła pobiera kulka. 16-30
40. Temperatura kulki plastikowej rzuconej w dół z wysokości  $h$  z prędkością  $v_0$  wzrosła o  $\Delta t$  w czasie pierwszego odbicia. Jaką część  $k$  wydzielonego ciepła pobiera kulka, jeżeli następne odbicie nastąpiło po upływie czasu  $t_1$  od pierwszego odbicia? Ciepło właściwe kulki jest równe  $c$ . 16-31
41. Dwa gazy tlen i azot znajdujące się w naczyniu są rozdzielone nieruchomą ścianką przewodzącą ciepło. Tlen ma parametry: ciśnienie  $p_1$ , temperaturę  $T_1$  i objętość  $V_1$ , azot zaś odpowiednio:  $p_2$ ,  $T_2$ ,  $V_2$ . Obliczyć temperaturę, jaką mają gazy po zakończeniu wymiany ciepła. Ciepła właściwe gazów są dane i gazy zachowują się jak gaz doskonały. 17-3
42. Obliczyć pracę wykonaną przy sprężaniu adiabatycznym pewnej masy gazu od objętości  $V_1$  do  $V_2$ , jeżeli ciśnienie początkowe wynosiło  $p_1$ . Dany jest stosunek  $c_p/c_v = \kappa$ . 17-9
43. Masę  $m$  gazu o gęstości  $\rho_1$  sprężono adiabatycznie do  $n$  razy większej gęstości po ciśnieniem  $p_1$ . Obliczyć zmianę energii wewnętrznej  $\Delta U$ . Dana jest  $\kappa = C_p/C_v$ . 17-11
44. Cylinder o objętości  $V_1$  zawiera  $n$  moli gazu pod ciśnieniem  $p_1$ . Przesuwając tłok w cylindrze zmniejszono jego objętość wykonując przy tym pracę  $W$ . Obliczyć ciepło  $Q$  pobrane przez gaz w tym procesie, jeżeli temperatura gazu wzrosła do  $T_2$ . Dane jest  $\kappa = C_p/C_v$ . 17-12
45. Wzrost ciśnienia i objętości gazu w pewnym procesie ( $V$  – objętość) przedstawia na wykresie  $p, V$  odcinek prostej zaczynający się punkcie o współrzędnych  $p_1, V_1$ , a kończący się w punkcie o współrzędnych  $p_2, V_2$ . Obliczyć ciepło  $Q$  pobrane przez gaz w tym procesie, jeżeli dana jest wartość  $\kappa = C_p/C_v$ . 17-14
46. Obliczyć temperaturę  $T_2$  chłodnicy silnika termodynamicznego, który pracuje z temperaturą źródła ciepła równą  $T_1$  i wykonuje pracę  $W > 0$  przekazując do chłodnicy ciepło  $Q_2$ . 17-25
47. Silnik cieplny posiada źródło ciepła o temperaturze  $T_1$ , a chłodnicę o temperaturze  $T_2 < T_1$ . Silnik przekazał do chłodnicy ciepło  $Q$ . Obliczyć, jaką minimalną ilość ciepła  $Q_x$  pobrał silnik w tym samym czasie ze źródła ciepła.
48. Obliczyć pracę  $W$  wykonaną przez gaz przy cyklicznej przemianie ABC przedstawionej na rysunku, jeżeli parametry stanu B i A wynoszą odpowiednio  $p_2, V_2, p_1, V_1$ . Czy w procesie A→B gaz pobiera ciepło?



49. Masa  $m$  azotu jest poddana przemianie cyklicznej ABCDA (parametry na rysunku). Obliczyć sprawność silnika.

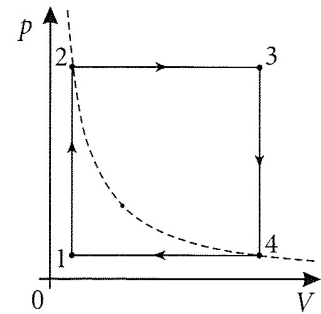


50. Gaz doskonały ulega w temperaturze  $27^\circ\text{C}$  odwracalnemu rozprężeniu izotermicznemu, wyniku czego zwiększa swoją objętość od 1,3l do 3,4l. Zmiana entropii gazu wynosi  $22\text{J/K}$ . Ile moli gazu poddano przemianie?

51. Ile wynosi zmiana entropii kostki lodu o masie 5g roztopionego w wiadrze wody o temperaturze minimalnie większej od temperatury topnienia lodu? Ile wynosi zmiana entropii łyżki wody o masie 5g, która ulegnie całkowitemu wyparowaniu po wylaniu jej na płytę o temperaturze minimalnej większej od  $100^\circ\text{C}$ ? Ciepło topnienia lodu  $L_t=333\text{kJ/kg}$ , ciepło parowania wody  $L_p=2257\text{kJ/kg}$ .

52. Dwa różne gazy doskonałe znajdują się w tym samym naczyniu po obu stronach przegrody. Temperatury i ciśnienia obu gazów są równe. Liczba moli pierwszego gazu  $n_1$ , drugiego  $n_2$ . W pewnej chwili usunięto z naczynia przegrodę i gazy zaczęły się ze sobą mieszać. Znaleźć zmianę entropii w tym procesie.

1.00g wody o objętości  $1,00\text{ cm}^3$  zmienia się w procesie wrzenia pod normalnym ciśnieniem atmosferycznym w  $1671\text{ cm}^3$  pary wodnej. Ciepło parowania wody przy ciśnieniu 1 atm wynosi  $538\text{ cal/g}$ . Obliczyć ciepło dostarczone układowi z otoczenia, pracę wykonaną przez układ nad otoczeniem i wzrost energii wewnętrznej układu.



W naczyniu o pojemności  $V=1\text{dm}^3$  znajduje się  $m = 0,2\text{g}$  wodoru. Obliczyć ciśnienie wodoru, jeżeli średnia energia cząsteczek wodoru wynosi  $E_{\text{sr}} = 4 \cdot 10^{-21}\text{ J}$ . 15-1

Cylinder zawiera tlen o temperaturze  $20^\circ\text{C}$ , ciśnieniu 15 atm i objętości 100l. Obniżenie tłoka w cylindrze powoduje zmniejszenie objętości zajmowanej przez gaz do 80l i wzrost temperatury do  $25^\circ\text{C}$ . Jakie jest obecnie ciśnienie gazu, przy założeniu, że tlen zachowuje się jak gaz doskonały?