

Termodynamika, ciepło

C. Właściwy

Rozwiązanie każdego zadania zapisz na oddzielnej, podpisanej kartce z wyraźnie zaznaczonym numerem zadania.

1 Zadanie – Ogrzewanie wody

Ile ciepła należy dostarczyć 900 g wody, aby ogrzać ją o 20 K? Wynik wyraż w kJ. Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi $4200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$.

Odpowiedź: Należy dostarczyć 75,6 kJ.

2 Zadanie – Ochładzanie sali

W pomieszczeniu są klimatyzatory o maksymalnej mocy chłodniczej 3 kW. W sali znajduje się 39 studentów. Można przyjąć, że każdy z nich wydziela ciepło z szybkością około 350 kJ/godz. W pomieszczeniu znajduje się także 17 żarówek, każda o mocy 80 W. Ponieważ na zewnątrz panuje wysoka temperatura, przez ścianę przenika ciepło z szybkością 6 MJ/godz. Ile klimatyzatorów powinno być włączonych, jeśli powietrze w pomieszczeniu ma być utrzymywane w stałej temperaturze 18°C ?

Odpowiedź: Powinny być włączone 3 klimatyzatory.

3 Zadanie – Kolektor słoneczny

Na dachu zamontowany jest kolektor słoneczny o sprawności $n = 23\%$. Energia słoneczna docierająca do kolektora przekazywana jest do wody krążącej w rurach kolektora. Jaka jest powierzchnia kolektora, jeśli w ciągu godziny ogrzewa 190 litrów wody, zwiększając jej temperaturę o 20°C ? Przyjmij, że w danej godzinie natężenie promieniowania słonecznego wynosi $630 \text{ W}/\text{m}^2$. Ciepło właściwe wody wynosi $4200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, a jej gęstość $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Odpowiedź: Powierzchnia kolektora słonecznego wynosi $30,6 \text{ m}^2$.

4 Zadanie – Ciepło właściwe ciała

Do aluminiowego kalorymetru o masie 200 g włożono kulę o masie 401 g. Następnie do naczynia wiano 18 g wrzącej wody i zamknięto kalorymetr, aby zminimalizować wymianę ciepła z otoczeniem. Po ustaleniu się równowagi termicznej układu zmierzono temperaturę wody, wyniosła ona 43°C . Temperatura początkowa kalorymetru i kuli jest równa temperaturze otoczenia i wynosi 28°C . Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi $4200 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, a ciepło właściwe aluminium $900 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Oblicz ciepło właściwe kuli, a następnie sprawdź w tablicy, z jakiego materiału jest najprawdopodobniej zbudowana. Zastanów się, dlaczego otrzymana wartość różni się od wartości podanej w tablicy.

substancja	ciepło właściwe J/(kg·K)
cyna	220
miedź	380
nikiel	460
glin	900

Odpowiedź: Ciepło właściwe kuli wynosi 268 J/(kg·K). Otrzymana wartość ciepła właściwego różni się od wartości podanych w tablicy. W obliczeniach nie uwzględniliśmy wymiany ciepła między otoczeniem a układem, która występuje mimo zastosowania kalorymetru. Kula jest prawdopodobnie zbudowana z cyny.

5 Zadanie – Topienie złota

Jubiler na stopienie złota zużył 1280 J energii. Oblicz, ile złota stopił jubiler, wiedząc, że złoto było już podgrzane do temperatury topnienia oraz że ciepło topnienia złota wynosi 64 kJ/kg.

Odpowiedź: Złotnik stopił 20 g złota.

6 Zadanie – Parowanie wody

Do naczynia zawierającego 0,3 kg wody włożono grzałkę o mocy 900 W, a następnie doprowadzono wodę do wrzenia. Ile wody wyparowało w ciągu 1 minut wrzenia? Przyjmij, że ciepło parowania wody wynosi 2270 kJ/kg.

Odpowiedź: Wyparowało 23,8 g wody.

7 Zadanie – Silnik spalinowy

Samochód jedzie po autostradzie ze stałą prędkością. By utrzymać prędkość, silnik pracuje z mocą 20 kW. Sprawność silnika wynosi 25%. Ile zapłacimy za benzynę zużytą przez samochód jadący przez 2 godziny? Cena benzyny na stacji paliw wynosi 4,78 zł/l, ciepło spalania wynosi 42 MJ/kg, a jej gęstość 0,7 g/cm³.

Odpowiedź: Za benzynę zapłacimy 93,65 zł.

8 Zadanie – Lód w ciepłej wodzie

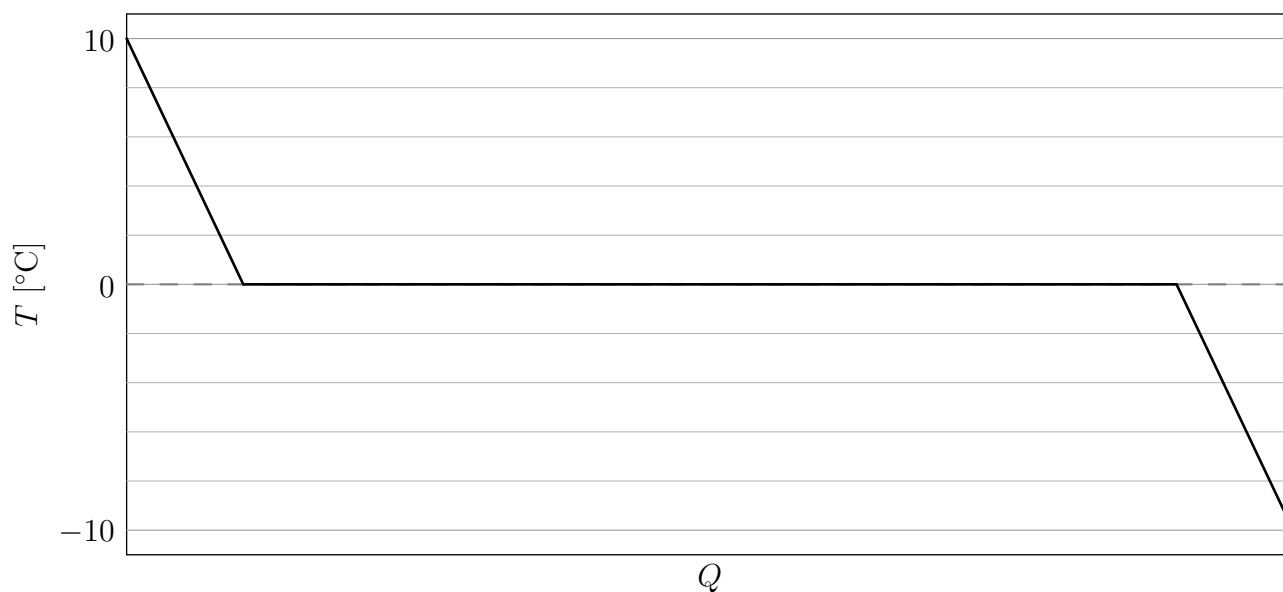
Blok lodu o temperaturze -5°C i masie 290 g włożono do 760 g wody o temperaturze 75°C . Oblicz końcową temperaturę układu, zakładając, że nie następuje wymiana ciepła z otoczeniem. Przyjmij wartości: ciepła właściwego lodu 2050 J/(kg K), ciepła topnienia lodu 334 kJ/kg, ciepła właściwego wody (cieczy) 4200 J/(kg K).

Odpowiedź: Końcowa temperatura układu $T_f = (T_w m_w c_w + (T_i c_i - l_i) m_i) / [(m_i + m_w) c_w] \approx 31,6^{\circ}\text{C}$.

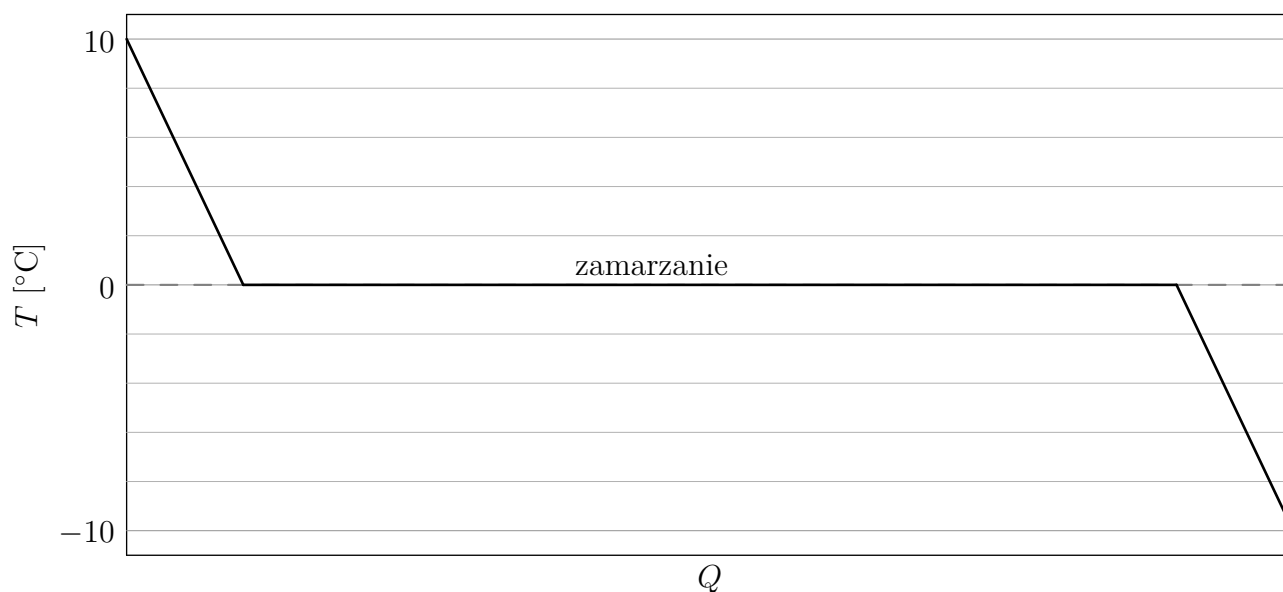
9 Zadanie – Zjawiska cieplne

Na rysunku poniżej przedstawiono zależność temperatury próbki 3 g H_2O od wymienionego z otoczeniem ciepła. Rozpoznaj i podpisz przedstawione zjawiska cieplne. Oblicz, ile kalorii próbka wymieniła z otoczeniem podczas całego procesu przedstawionego na rysunku. Potrzebne dane znajdują się w tabeli. Przyjmij, że na diagramie został przedstawiony cały proces przemiany fazowej. Uwaga, rysunek nie zachowuje skali.

ciepło topnienia/zamarzania	336000 J/kg
ciepło parowania/skrapłania	2270000 J/kg
ciepło właściwe (woda)	4200 J/(kg·K)
ciepło właściwe (lód)	2100 J/(kg·K)
ciepło właściwe (para wodna)	2000 J/(kg·K)



Odpowiedź:



Całkowita ilość ciepła wymienionego z otoczeniem, podczas wszystkich procesów ukazanych na rysunku, jest równa w przybliżeniu 285 cal.

10 Zadanie – Granitowa płyta

Powierzchnia płyty granitowej to $111 \cdot 10^3 \text{ m}^2$, a jej grubość 6 m. Pod płytą panuje temperatura 30°C , a nad płytą -4°C . Oblicz ciepło przepływające przez płytę w trakcie jednej minuty, jeśli współczynnik przewodnictwa cieplnego granitu jest równy $2,12 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$.

Odpowiedź: Ciepło: $Q \approx 80 \text{ MJ}$.

11 Zadanie – Ceglany dom

Ceglany dom ma ściany o grubości 35 cm. Wewnątrz domu utrzymywana jest stała temperatura 18°C . Temperatura powietrza na zewnątrz wynosi 14°C .

a) Oblicz, ile ciepła stracimy w ciągu sekundy przez jedną ze ścian o powierzchni 18 m^2 . Przyjmij, że przewodnictwo cieplne cegły wynosi $0,8 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$.

b) Aby zapobiec utracie ciepła, ocieplono budynek z zewnątrz warstwą styropianu o grubości 50 cm. Ile teraz tracimy ciepła przez tę samą ścianę? Przyjmij, że przewodnictwo cieplne styropianu wynosi $0,04 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m})$.

c) Jaka temperatura panuje na złączeniu materiałów?

Odpowiedź: Przez ceglany mur tracimy około $164,57 \text{ J}$ na sekundę, a przez mur ocieplony warstwą styropianu $5,6 \text{ J}$ na sekundę. Temperatura między cegłą a styropianem jest równa $17,4^\circ\text{C}$.

12 Zadanie – Wydłużenie szyny

Oblicz, o ile zmieni się długość stalowej szyny po ogrzaniu jej do temperatury 15°C , jeśli jej długość przy temperaturze 7°C jest równa 14 m. Współczynnik rozszerzalności cieplnej użytej stali jest równy $0,99 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

Odpowiedź: Wydłużenie szyny: $\Delta l = \alpha \Delta T l \approx 1,11 \text{ mm}$.

13 Zadanie – Zegar

Pewien zegar, posiadający wahadło z niklu, odmierza dokładnie czas w temperaturze 23°C . Temperatura spadła do 5°C . O ile więcej wahań w ciągu doby wykona zegar w niższej temperaturze? Przyjmij, że współczynnik rozszerzalności cieplnej niklu wynosi $13 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$. Jeden koniec pręta z niklu zamocowany jest w taki sposób, by mógł obracać się w płaszczyźnie pionowej. Do drugiego końca pręta przymocowany jest ciężarek. Długość pręta jest znacznie większa od rozmiarów ciężarka. Pręt z niklu jest znacznie lżejszy niż przyczepiony do niego ciężarek.

Odpowiedź: Zegar wykona o 10,1 więcej wahań na dobę.

14 Zadanie – Spadająca kulka

Z jaką prędkością powinna spadać kulka wykonana z ołowiu, aby przy uderzeniu o ziemię całkowicie uległa stopieniu? Zakładamy, że mimo odkształcenia pocisk pozostał w całości oraz że przy uderzeniu $n = 32\%$ energii zostało przekazane pociskowi w formie ciepła. Temperatura początkowa kulki wynosi 290 K. Pozostałe potrzebne dane zamieszczone są w tabeli poniżej.

substancja	ciepło właściwe [J/(kg·K)]	ciepło topnienia [kJ/kg]	temperatura topnienia [°C]
cyna	222	59	232
ind	233	28	156
ołów	128	25	328

Odpowiedź: Kulka powinna spadać z prędkością około 6,36 m/s.

15 Zadanie – Spadająca kulka (1 wiersz tabeli)

Z jaką prędkością powinna spadać kulka wykonana z indu, aby przy uderzeniu o ziemię całkowicie uległa stopieniu? Zakładamy, że mimo odkształcenia pocisk pozostał w całości oraz że przy uderzeniu $n = 49\%$ energii zostało przekazane pociskowi w formie ciepła. Temperatura początkowa kulki wynosi 298 K. Pozostałe potrzebne dane zamieszczone są w tabeli poniżej.

substancja	ciepło właściwe [J/(kg·K)]	ciepło topnienia [kJ/kg]	temperatura topnienia [°C]
ind	233	28	156

Odpowiedź: Kulka powinna spadać z prędkością około 4,89 m/s.

16 Zadanie – Lodowiec

Oszacuj masę stopionego lodu z lodowca, który zsunął się i zatrzymał w dolinie. Początkowo lodowiec spoczywał na wysokości 395 m nad doliną i miał masę $9 \cdot 10^9$ kg. Załóż, że energia tracona przez zsuwający się lodowiec i spływającą wodę powstałą podczas topnienia lodowca powoduje dalsze topnienie lodu. Przyjmij ciepło topnienia lodu 334 kJ/kg. Przyspieszenie ziemskie w miejscu zdarzenia jest równe $9,8 \text{ m/s}^2$.

Odpowiedź: Masa stopionego lodu to około $m_i = m_0 g h / l \approx 100 \cdot 10^6$ kg, gdzie m_0 jest początkową masą lodowca, h zmianą wysokości lodowca, l ciepłem topnienia lodu, a g wartością przyspieszenia ziemskiego. Oszacowanie to m.in. zakłada, że h jest zmianą wysokości środka masy lodowca razem z powstałą z niego wodą.

17 Zadanie – Promieniowanie kuli

Gorąca kula o promieniu 6 cm, temperaturze powierzchni 700 K i względnej zdolności emisyjnej 0,76 wysyła energię w postaci promieniowania. Ile energii zaabsorbuje w ciągu 4 minut ciało doskonale czarne, które odbiera $3 \cdot 10^{-3}$ energii promieniowania wyemitowanego przez kulę? Stała Stefana-Boltzmana wynosi $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Odpowiedź: Ciało odbierze około 337 J energii.

18 Zadanie – Zmiana energii wewnętrznej układu

W pewnym procesie dostarczyliśmy do układu ciepło o wartości 250 J, wykonaliśmy pracę nad tym układem (np. sprężając go) o wartości 100 J oraz odebraliśmy od układu ciepło o wartości 270 J, a układ wykonał pracę o wartości 110 J. Oblicz zmianę energii wewnętrznej tego układu wskutek opisanego procesu.

Odpowiedź: Zmiana energii wewnętrznej układu: $\Delta U = Q_1 + W_1 + Q_2 + W_2 = -30$ J. Zauważ, że $Q_2 < 0$ oraz $W_2 < 0$.

19 Zadanie – Szybkość średnia atomu

W pewnym ośrodku o temperaturze 7°C , poruszają się atomy argonu. Oblicz szybkość średnią kwadratową, z jaką poruszają się cząsteczki tego gazu, wiedząc, że jego masa molowa wynosi 40 g/mol.

Odpowiedź: Szybkość średnia kwadratowa argonu jest równa w przybliżeniu $13,2$ m/s.

20 Zadanie – Pęcherzyk powietrza

Z dna jeziora o głębokości 27 m odrywa się pęcherzyk powietrza o promieniu $5,3$ mm. Temperatura na dnie jeziora wynosi $4,1^\circ\text{C}$. Pęcherzyk po dotarciu na powierzchnię jeziora zmienił się w półsferyczną bańkę o promieniu $13,8$ mm. Jaka temperatura panuje na powierzchni jeziora, jeśli ciśnienie atmosferyczne wynosi 100 kPa? Przyjmij, że gęstość wody wynosi 1000 kg/m³, a gęstość powietrza w warunkach normalnych $1,29$ kg/m³. Pomiń wpływ napięcia powierzchniowego na ciśnienie w pęcherzyku. Załóż, że temperatura powietrza w pęcherzyku jest zawsze równa temperaturze otoczenia.

Odpowiedź: Temperatura na powierzchni jeziora wynosi około $9,9^\circ\text{C}$.

21 Zadanie – Entropia i porcja wody

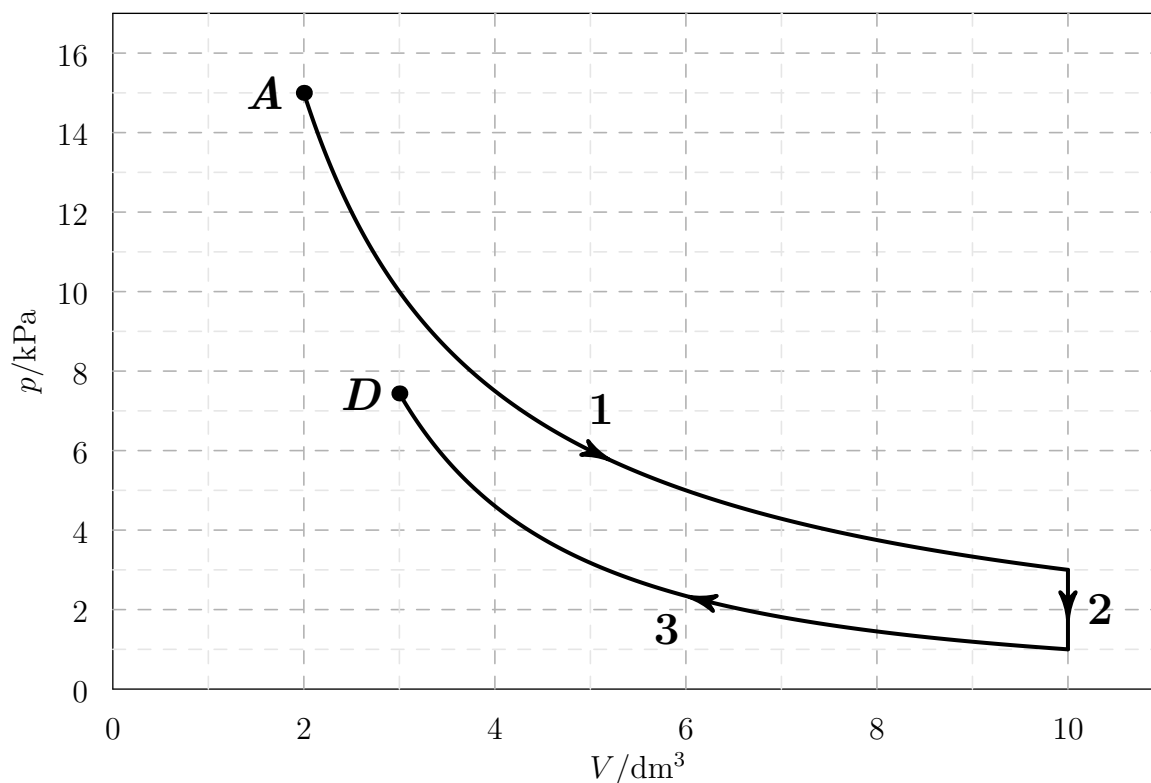
Oblicz zmianę entropii wody o masie 67 g podczas przemiany jej stanu z ciekłego (płyn) w stan gazowy (para) w temperaturze wrzenia pod ciśnieniem 1 atm. Przyjmij ciepło parowania równe 2257 kJ/kg.

Odpowiedź: Zmiana entropii: $\Delta S \approx 151219$ J / 373 K ≈ 405 J/K.

22 Zadanie – Przemiany gazowe

Ustalona porcja gazowego neonu przeszła przemiany 1, 2 i 3 przedstawione na poniższym wykresie, gdzie p oznacza ciśnienie gazu, a V jego objętość. Początkowo parametry gazu opisywał punkt A . Wiadomo, że przemiana 3 była adiabatyczna.

- Podaj nazwy przemian 1 i 2. W przypadku przemiany 1 swoją hipotezę dotyczącą rodzaju przemiany sprawdź w 3 różnych punktach.
- Dla każdej z przemian wskaż wielkości, które są zawsze równe 0 w trakcie tej przemiany.
- Czy gaz w punkcie D ma większą temperaturę niż w punkcie A ?
- Czy z punktu D może ta porcja gazu dotrzeć do punktu A w przemianie izobarycznej?

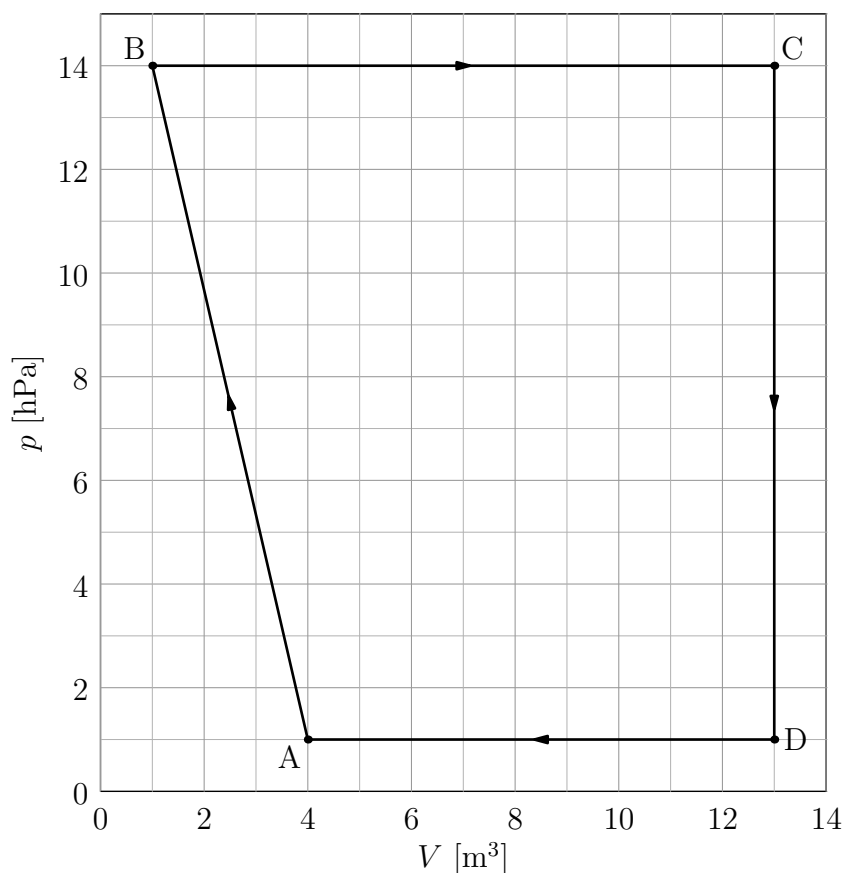


Odpowiedź:

- Przemiana 1 to przemiana izotermiczna, gdyż pV ma zawsze tę samą wartość, np. $2 \cdot 15 = 3 \cdot 10 = 5 \cdot 6$ (w jednostkach $\text{kPa} \cdot \text{dm}^3$). Przemiana 2 jest przemianą izochoryczną.
- W trakcie przemiany 1 zmiana temperatury oraz zmiana energii wewnętrznej są równe 0, w trakcie przemiany 2 zmiana objętości oraz praca (wykonana nad gazem lub wykonana przez gaz), a w trakcie przemiany 3 wymienione z otoczeniem ciepło.
- Nie. Iloczyn pV w punkcie A jest równy $2 \cdot 15 = 30$, a w punkcie D jest mniejszy niż $8 \cdot 3 = 24$ (w jednostkach $\text{kPa} \cdot \text{dm}^3$).
- Nie, gdyż ciśnienia w tych punktach są różne.

23 Zadanie – Praca wykonana przez gaz

Oblicz pracę wykonaną przez gaz podczas jednego cyklu przedstawionego na wykresie poniżej.



Odpowiedź: Praca wykonana przez gaz wynosi około 13700 J.

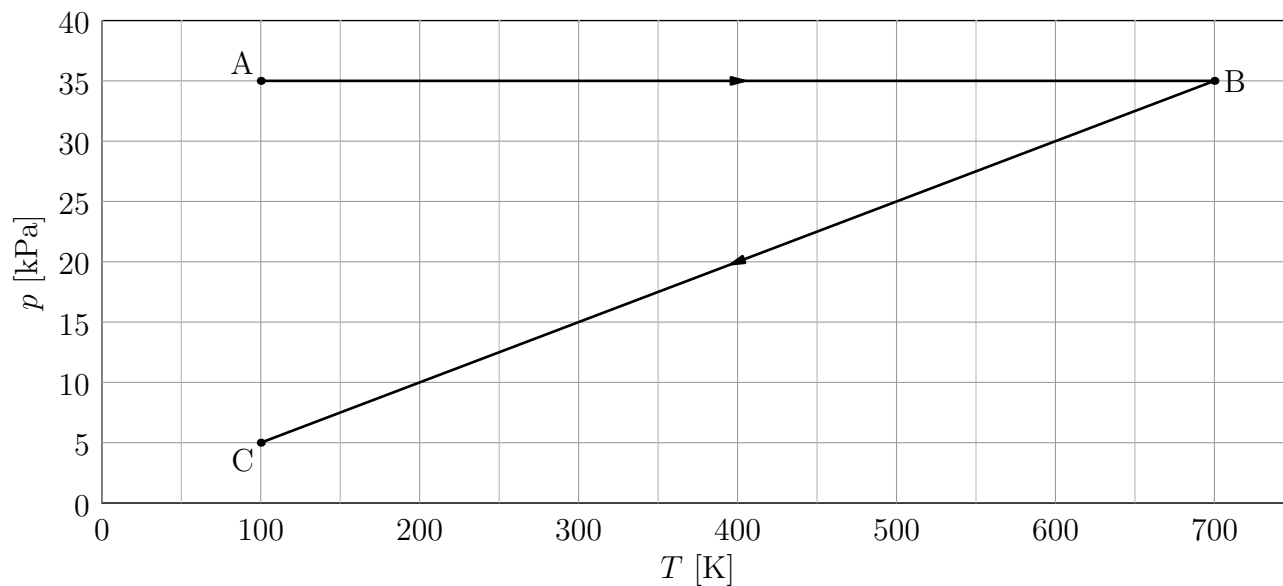
24 Zadanie – Przemiany gazu doskonałego

W szczelnym naczyniu, zamkniętym tłokiem, znajduje się hel. Masa gazu jest równa 2 kg, a początkowa temperatura 20°C . Gaz poddano przemianie izobarycznej, dostarczając mu 940 J ciepła. Jaką pracę wykonał hel podczas rozprężania? Przyjmij, że masa molowa gazu wynosi 4 g/mol.

Odpowiedź: Gaz wykonał pracę około 376 J.

25 Zadanie – Ciepło, energia wewnętrzna i praca w przemianach gazowych

Oblicz zmianę energii wewnętrznej gazu doskonałego, pracę wykonaną przez gaz oraz ciepło wymienione z otoczeniem podczas przemiany przedstawionej na wykresie poniżej. Przyjmij, że zmiana objętości wyniosła $0,34 \text{ m}^3$.

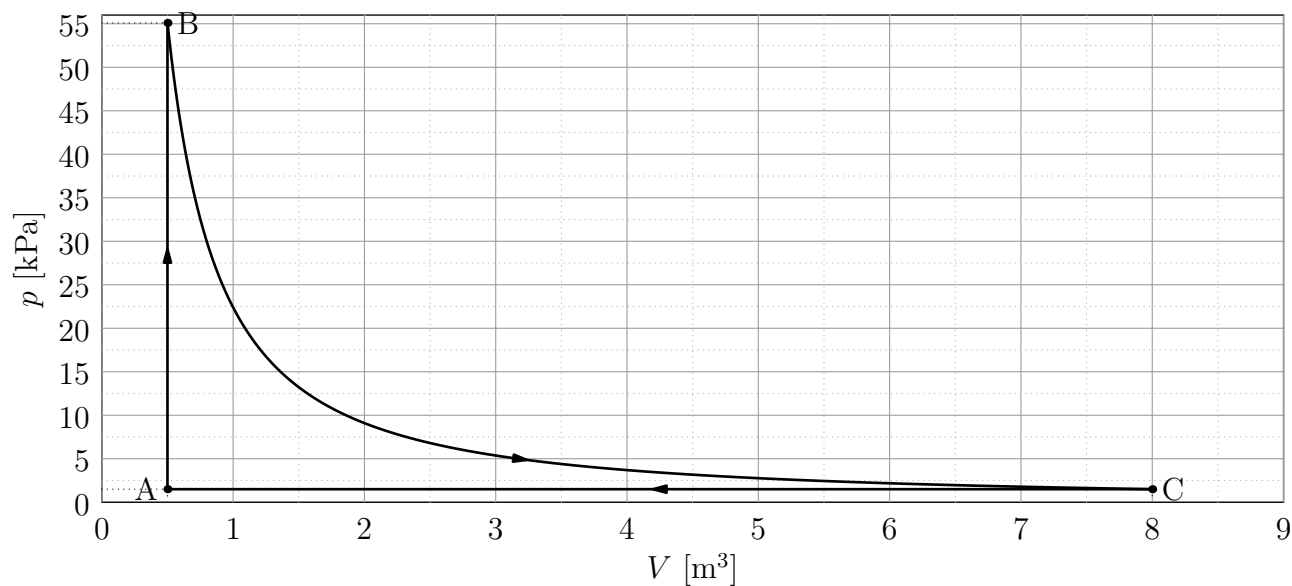


Odpowiedź: Podczas przemiany energia wewnętrzna gazu nie zmieniła się. Praca jaką wykonał gaz wynosi 11900 J , z otoczenia pobrał 11900 J ciepła.

26 Zadanie – Ciepło oddane i pobrane

Jeden mol jednoatomowego gazu doskonałego jest poddawany przemianom przedstawionym na wykresie poniżej. Wiedząc, że przemiana B-C jest przemianą adiabatyczną oraz że ciśnienie w punkcie A jest równe 1,5 kPa, a w punkcie B ciśnienie wynosi 55,1 kPa, oblicz:

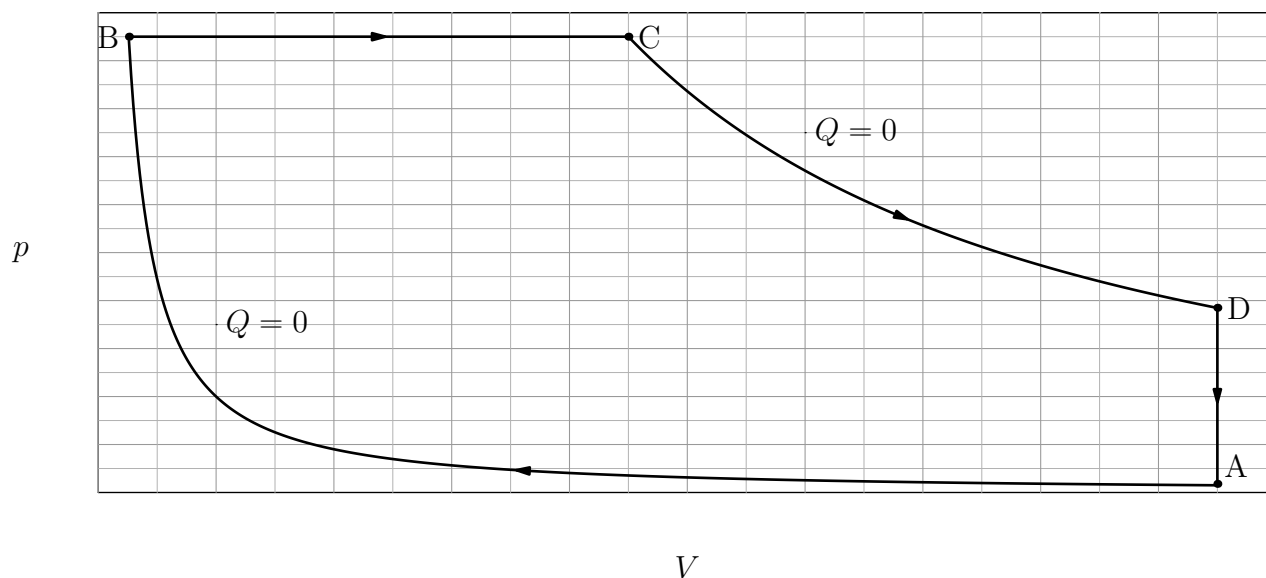
- energię pobraną przez gaz z grzejnika;
- energię oddaną chłodnicy;
- wypadkową pracę w jednym cyklu silnika cieplnego, w którym gaz poddawany jest opisanym przemianom;
- sprawność tego silnika.



Odpowiedź: Gaz pobrał z grzejnicy 40,2 kJ ciepła, a do chłodnicy oddał 28,1 kJ ciepła. Praca wykonana przez gaz wynosi 12,1 kJ, sprawność silnika jest równa 30%.

27 Zadanie – Cykl przemian gazu

Wyznacz sprawność cyklu dla ustalonej porcji gazu doskonałego przedstawionego na rysunku poniżej. Wynik przedstaw tylko w zależności od temperatur oraz stosunku ciepła właściwego w przemianie izobarycznej do ciepła właściwego w przemianie izochorycznej. Przemiany A-B oraz C-D są adiabatyczne. Dane są temperatury w punktach A, B, C, D.



Odpowiedź: Sprawność przedstawionego cyklu w zależności od temperatur:

$$\eta = 1 + \frac{1}{\kappa} \frac{T_A - T_D}{T_C - T_B}$$

κ - stosunek ciepła właściwego w przemianie izobarycznej do ciepła właściwego w przemianie izochorycznej, wykładnik adiabaty.

28 Zadanie – Przemiana adiabatyczna i izotermiczna

Porcję 2,2 kg benzenu o temperaturze 845,8 K i ciśnieniu $2 \cdot 10^5$ Pa sprężono adiabatycznie, a następnie rozprężono izotermicznie. Ilość ciepła pobrana w procesie izotermicznym jest równa przyrostowi energii wewnętrznej gazu w procesie adiabatycznym i wynosi 242 kJ. Oblicz objętość i ciśnienie gazu po przemianie

- adiabatycznej
- izotermicznej.

Przyjmij, że masa molowa gazu wynosi 78,1 g/mol, a wykładnik adiabaty 1,12.

Odpowiedź: Po przemianie adiabatycznej parametry gazu wynoszą $0,33 \text{ m}^3$, $6,82 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Po przemianie izotermicznej parametry gazu wynoszą $0,97 \text{ m}^3$, $2,33 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

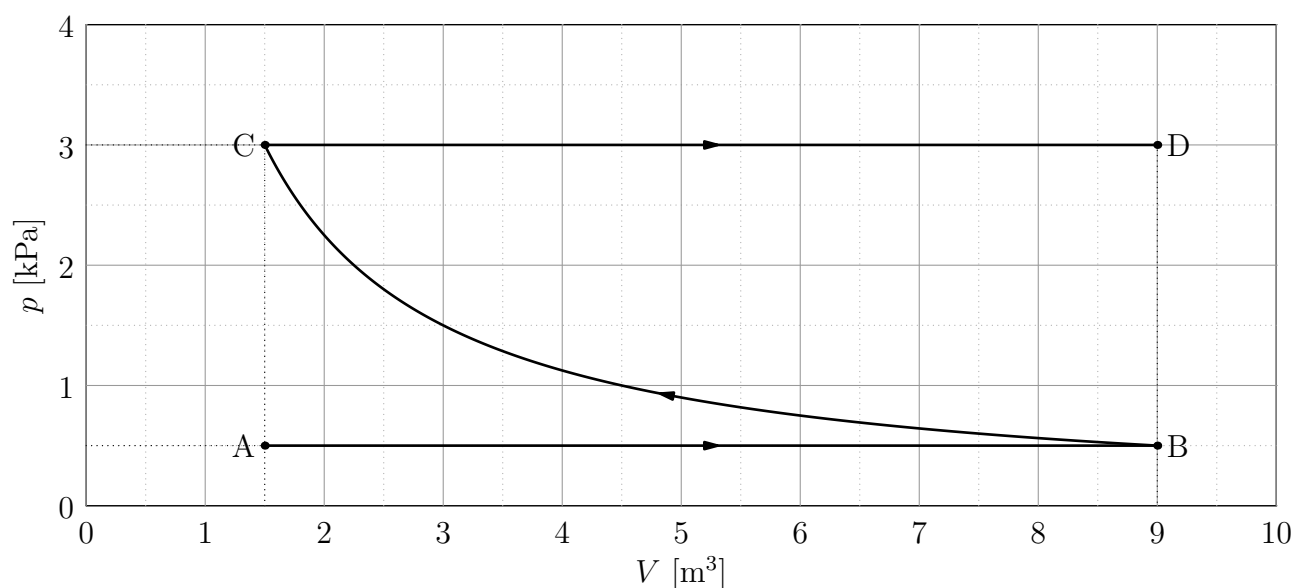
29 Zadanie – Entropia gazu

Zmianę entropii gazu doskonałego wyraża uniwersalny dla każdej przemiany wzór.

$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_k}{V_p} + n \cdot C_v \cdot \ln \frac{T_k}{T_p}$$

n - liczba moli, R - uniwersalna stała gazowa, V_k - objętość końcowa, V_p - objętość początkowa, C_v - ciepło molowe przy stałej objętości, T_k - temperatura końcowa, T_p - temperatura początkowa.

Jeden mol jednoatomowego gazu doskonałego został poddany przemianie izotermicznej i dwóm przemianom izobarycznym. Końcowe ciśnienie gazu jest równe 3 kPa. Korzystając z przedstawionego wzoru oraz wykresu poniżej, oblicz zmianę entropii dla każdego z trzech procesów. Zinterpretuj otrzymane wyniki.



Odpowiedź: Zmiana entropii w procesie A-B jest równa 37,2 J/K, o tyle samo entropia zmienia się w procesie C-D. Można zauważyć, że zmiana entropii w procesie izobarycznym zależy tylko od zmiany objętości gazu i ciepła molowego przy stałym ciśnieniu. W procesie B-C zmiana entropii wynosi $-14,9$ J/K. Przemiany przedstawione na wykresie odpowiadają sytuacji, w której gaz jest zamknięty w pojemniku z ruchomym tłokiem. Przemiany A-B i C-D przedstawiają izobaryczne rozprężanie gazu, przemiana B-C izotermiczne sprężanie gazu. Czasami entropia jest określana jako miara nieuporządkowania gazu. W stanie A cząsteczki mogą zajmować mniejszą objętość pojemnika niż w stanie B. Są bardziej ściśnięte i „uporządkowane” niż w stanie B. Także temperatura w stanie A jest niższa - można powiedzieć, że ruch cząsteczek jest bardziej „uporządkowany”. Gaz, rozprężając się, zwiększa zajmowaną objętość pojemnika, cząsteczki są bardziej „nieuporządkowane”. Również temperatura rośnie. W przemianie A-B entropia wzrasta. W przemianie izotermicznej B-C ściskając gaz, zmniejszamy zajmowaną przez niego objętość. Cząsteczki w stanie C są bardziej „uporządkowane” przestrzennie niż w stanie B. W przemianie B-C entropia gazu maleje. W przemianie C-D gaz zachowuje się tak samo, jak w przemianie A-B, rozpręża się. Entropia gazu rośnie.

30 Zadanie – Równanie van der Waalsa

Porcję 1,6 kg tlenu ogrzano od temperatury 170 K do temperatury 240 K. Podczas przemiany objętość gazu wzrosła od 3 m³ do 6 m³. Zakładając, że gaz spełnia równanie van der Waalsa, oblicz zmianę energii wewnętrznej gazu. Załóż, że masa molowa użytego gazu to 32 g/mol, ciepło molowe przy stałej objętości 10,7 J/(K·mol), a stałe występujące w równaniu van der Waalsa $a = 0,136 \text{ J}\cdot\text{m}^3/(\text{mol})^2$, $b = 0,032 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$.

Odpowiedź: Zmiana energii wewnętrznej gazu wynosi 37,5 kJ.