

XXXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP II

Zadania teoretyczne

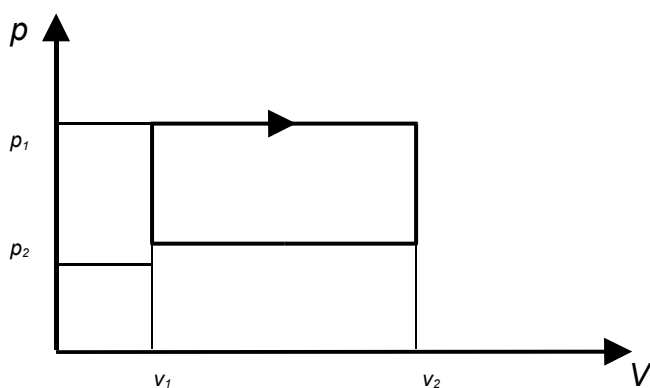
ZADANIE T3

W temperaturze $T = 373 \text{ K}$ (100°C) prężność nasyconej pary wodnej wynosi 1 atm ($p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$). Woda parując (wrząc) w tej temperaturze zmniejsza swoją gęstość z $\rho_1 = 1,0010^3 \text{ kg/m}^3$ na $\rho_2 = 0,5879 \text{ kg/m}^3$. Ciepło parowania wody wynosi $q = 2257,5 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ i prawie nie zależy od temperatury. Ile wynosi temperatura wrzenia wody pod ciśnieniem o 10% wyższym ($p_2 = 1,104 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$)?

Rozważ cykl Carnota: w pierwszym etapie następuje wrzenie wody pod ciśnieniem $p_2 = 1,104 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ w szukanej temperaturze T_2 , w drugim następuje adiabatyczne rozprężenie pary do ciśnienia $p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, w trzecim – skraplanie pary pod ciśnieniem p_1 w temperaturze $T = 373 \text{ K}$ i w czwartym następuje adiabatyczne sprężanie wody do ciśnienia p_2 . Dla małych zmian ciśnienia ($p_2 - p_1 \ll p_1$) zmiana objętości wzdłuż adiabaty jest znacznie mniejsza od zmiany objętości przy zmianie stanu skupienia.

ROZWIĄZANIE ZADANIA T3

Zgodnie ze wskazówką rozpatrujemy pewną masę wody podlegającą przemianom cyklu Carnota. Wykres tego cyklu przemian w układzie zmiennym p, V przedstawiony jest na rycinie 1.



Ryc. 1

Skorzystano z przybliżenia podanego w Wskazówce polegającym na przybliżeniu adiabaty przez izochorę. Sprawność tego cyklu można wyrazić przez temperatury początkowej i końcowej przemiany izotermicznej:

$$\eta = \Delta T(T + \Delta T).$$

Tutaj T oznacza temperaturę wrzenia wody pod ciśnieniem $p_1 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, a ΔT oznacza różnicę pomiędzy temperaturą wrzenia wody pod ciśnieniem p_2 i pod ciśnieniem p_1 :

$$\Delta T = T_2 - T_1.$$

Sprawność cyklu Carnota może też wyrazić pracę mechaniczną L uzyskaną w danym cyklu oraz ciepło pobrane z termostatu Q . W myśl treści zadania ciepło pobrane przez wodę w pierwszym etapie cyklu Carnota jest właśnie ciepłem parowania q pomnożonym przez masę wody: $Q = mq$. Natomiast praca mechaniczna wykonana przez układ w pierwszym etapie cyklu Carnota wynosi $L_1 = -p_1 \Delta V$, a w trzecim: $L_3 = -p_2 \Delta V$. Praca mechaniczna wykonana przez układ w drugim i czwartym etapie cyklu Carnota wynosi zero, gdyż w procesach izochorycznych (które przybliżają tu procesy adiabatyczne) praca mechaniczna nie jest wykonywana. Tak więc sprawność cyklu Carnota w naszym przypadku wynosi:

$$\eta = \frac{\Delta V(p_2 - p_1)}{mq}.$$

Porównując dwa wyrażenia na sprawność dostajemy:

$$\Delta T = T \frac{\Delta V(p_2 - p_1)}{mq} \left[1 - \frac{\Delta V(p_2 - p_1)}{mq} \right]^{-1}.$$

Wprowadzając gęstości wody i pary otrzymujemy:

$$\Delta T = T \frac{(\rho_1 - \rho_2)(p_2 - p_1)}{\rho_1 \rho_2 q} \left[1 - \frac{(\rho_1 - \rho_2)(p_2 - p_1)}{\rho_1 \rho_2 q} \right]^{-1}$$

Jest to ostateczne wyrażenie na zmianę temperatury wrzenia wody. Podstawiając dane liczbowe uzyskujemy:

$$\Delta T = 2,58 \text{ K}.$$

Temperatura wrzenia wody pod ciśnieniem o 10% wyższym od normalnego jest o 2,58 K wyższa i wynosi 102,58°C.

Punktacja:

- | | |
|--|------|
| Za podanie sprawności cyklu Carnota $\eta = \Delta T / T$ | 2 p. |
| Za obliczenie pracy mechanicznej L i skorzystanie ze wzoru na sprawność $\eta = L / Q$ | 5 p. |
| Za podanie ostatecznego wzoru na zmianę temperatury wrzenia | 2 p. |
| Za podanie wartości liczbowej | 1 p. |

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF” 88/89

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl