

XLV OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP III

Zadanie teoretyczne

ZADANIE T3

Nazwa zadania: „Magiczny klimatyzator”

Klimatyzator zasysa powietrze o temperaturze $T_1 = 288K(15^\circ C)$ zawierające 10 g pary wodnej w 1 m^3 , oziębia je do temperatury $T_2 = 277K(4^\circ C)$ skraplając przy tym część zawartej w nim pary wodnej, po czym osuszone powietrze ogrzewa do temperatury $T_3 = 298K(25^\circ C)$ i wydmuchuje z szybkością $800\text{ m}^3/\text{h}$. Ciepło pobrane przez klimatyzator podczas ochładzania jest zużywane w całości do ogrzewania powietrza. Woda otrzymana w procesie skraplania jest natychmiast odprowadzana z klimatyzatora. Ciśnienie powietrza nie ulega zmianom podczas ochładzania oraz ogrzewania i jest równe ciśnieniu atmosferycznemu p_0 .

1. Oblicz masę pary wodnej (pozostaje) w 1 m^3 ogrzanego powietrza.
2. Oblicz moc niezbędną do zasilania opisanego klimatyzatora.

Dla uproszczenia obliczeń nie uwzględniaj zmiany liczby moli wilgotnego powietrza podczas skraplania wody. Do opisu pary wodnej oraz powietrza stosuj równanie Clapeyrona. Zależność ciśnienia pary nasyconej wody od temperatury podaje tabela.

Temperatura (K)	273	278	283	288
Ciśnienie (kPa)	0,61	0,78	1,23	1,70

Dane:

- Średnie molowe ciepło właściwe powietrza przy stałym ciśnieniu $C_p = (7/2)R$
- Stała gazowa $R = 8,314\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Masa 1 mola wody $\mu = 18\text{ g}$
- Ciepło parowania wody $q = 2,48 \cdot 10^6\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Ciśnienie atmosferyczne $p_0 = 100\text{ kPa}$.
-

ROZWIĄZANIE ZADANIA T3

Rozważmy 1 mol wilgotnego powietrza pod ciśnieniem p_0 w temperaturze T , zajmującego objętość V . Mamy

$$p_0 = RT/V \quad (1)$$

w tym ciśnienie parcjale pary wodnej wynosi

$$p_{\text{pary}} = (RT/V) \cdot (m/\mu), \quad (2)$$

gdzie m – masa pary zawartej w 1 molu powietrza jest zgodnie z (1) i (2) równa

$$m = \mu(p_{\text{pary}}/p_0).$$

Ciśnienie p_0 w zasysanym przez klimatyzator powietrzu wynosi $p_{\text{pary}} = (RT_1/1 \text{ m}^3) \cdot (10 \text{ g}/\mu) = 1,33 \text{ kPa}$.

Masa pary w 1 molu zasysanego powietrza jest więc równa

$$m = 18 \text{ g} \cdot \frac{1,33 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} = 0,24 \text{ g}.$$

Podczas oziębiania powietrza ciśnienie p_{pary} pozostaje stałe aż do osiągnięcia przez powietrze temperatury T_0 , w której rozpoczyna się proces skraplania pary wodnej.

Korzystając z danych w tabeli wyznaczamy temperaturę pary nasyconej $T_0 = 284 \text{ K}$ odpowiadającą ciśnieniu pary $p_{\text{pary}} = 1,33 \text{ kPa}$. Skraplanie pary zachodzi, więc między $T_0 = 284 \text{ K}$ a $T_2 = 277 \text{ K}$. Temperaturze T_2 odpowiada ciśnienie pary nasyconej $p'_{\text{pary}} = 0,82 \text{ kPa}$. Masa pary zawartej w 1 molu osuszonego powietrza jest więc równa

$$m' = \mu \left(\frac{p'_{\text{pary}}}{p_0} \right) = 0,148 \text{ g}.$$

W jednym metrze sześciennym powietrza pod ciśnieniem p_0 , podgrzanego do temperatury T_3 , znajduje się n moli powietrza.

$$n = \frac{p_0 1 \text{ m}^3}{RT_3} = 40,4,$$

Zatem masa pary wodnej zawartej w 1 m^3 podgrzanego powietrza wynosi

$$n \cdot m' = 5,97 \text{ g}.$$

Obliczamy teraz energię, jaką należy dostarczyć jednemu molowi powietrza w procesie oziębiania ($T_1 \rightarrow T_2$), w tym skraplania pary ($T_0 \rightarrow T_2$), a następnie ogrzewania powietrza ($T_2 \rightarrow T_3$) pod stałym ciśnieniem atmosferycznym:

$$W = C_p(T_3 - T_1) - q(m - m') = 63 \text{ J}.$$

Drugi składnik w powyższym równaniu uwzględnia ciepło oddane przez parę

Wodną podczas jej skraplania. Ciepło to w ogólnym bilansie przyczynia się do podgrzania osuszonego powietrza. Moc niezbędna do zasilania klimatyzatora jest ostatecznie równa:

$$M = W \cdot n \cdot 800/3600 \text{ s} = 566 \text{ W}.$$

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

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