Zadanie 5.1. (0–1)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów […] wykresów […] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu […]. VI.8) stosuje pierwszą zasadę termodynamiki do analizy przemian gazowych; rozróżnia przemiany: […] izobaryczną, izochoryczną […]; VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego; VI.14) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach […] cieplnych.

Zasady oceniania

1 pkt – poprawne zaznaczenia w dwóch stwierdzeniach.
0 pkt – odpowiedź niepoprawna lub niepełna albo brak odpowiedzi.

Pełne rozwiązanie

PP

Zadanie 5.2. (0–1)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów […] wykresów […] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu […]. VI.8) […] rozróżnia przemiany: […] izobaryczną, izochoryczną […]; VI.11) analizuje wykresy przemian gazu doskonałego; VI.12) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu.

Zasady oceniania

1 pkt – poprawne dokończenie zdania: wpisanie prawidłowej wartości ilorazu $\frac{T_2}{T_4}$.

0 pkt – rozwiązanie niepoprawne albo brak rozwiązania.

Poprawna odpowiedź

Iloraz temperatur $\frac{T_2}{T_4}$ gazu w stanach G_2 i G_4, jest równy $\frac{1}{2}$.

Zadanie 5.3. (0–4)

Wymagania ogólne	Wymagania szczegółowe
V. Budowanie modeli fizycznych i matematycznych do opisu zjawisk oraz ilustracji praw i zależności fizycznych. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.	Zdający: I.7) wyodrębnia z tekstów […] wykresów […] informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu […]. VI.12) stosuje równanie gazu doskonałego (równanie Clapeyrona) do wyznaczenia parametrów gazu; VI.13) posługuje się pojęciem ciepła molowego gazu; interpretuje związek między ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu a ciepłem molowym w stałej objętości dla gazu doskonałego; VI.14) analizuje przepływ energii w postaci ciepła i pracy mechanicznej w silnikach […] cieplnych; VI.15) analizuje przedstawione cykle termodynamiczne, oblicza sprawność silników cieplnych.

Zasady oceniania

4 pkt – poprawna metoda obliczenia sprawności silnika cieplnego **oraz** podanie prawidłowego wyniku liczbowego (w postaci ułamka lub w procentach): $\eta \approx 0{,}12$

3 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$ i pracy przeciwko sile parcia w przemianie $\mathrm{G}_4 \rightarrow \mathrm{G}_1$ (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepeł pobranych w przemianach $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ i $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$, **oraz** wykorzystanie wzorów na pracę w przemianach izobarycznych, **oraz** wykorzystanie wzorów na ciepła w przemianach izochorycznej i izobarycznej, **oraz** wykorzystanie równania stanu do obliczenia różnic temperatur ΔT_{12} i ΔT_{23}, np. zapisy równoważne poniższym (zgodnie z ogólnymi zasadami mogą to być zapisy łączone):

$\eta = \frac{W_{calkowita}}{Q_{pobrane}}$ oraz

$W_{calkowita} = 3p_1(3V_1 - V_1) - 2p_1(3V_1 - V_1)$ oraz

$Q_{pobrane} = n\frac{3}{2}R\Delta T_{12} + n\frac{5}{2}R\Delta T_{23}$ oraz

$\Delta p_{12}V_1 = nR\Delta T_{12}$ i $3p_1\Delta V_{23} = nR\Delta T_{23}$

2 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$ i pracy przeciwko sile parcia w przemianie $\mathrm{G}_4 \rightarrow \mathrm{G}_1$ (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepeł pobranych w przemianach $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ i $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$, **oraz** wykorzystanie wzorów na pracę w przemianach izobarycznych, **oraz** wykorzystanie wzorów na ciepła w przemianach izochorycznej i izobarycznej, np. zapisy równoważne poniższym:

$\eta = \frac{W_{calkowita}}{Q_{pobrane}}$ oraz

$W_{calkowita} = 3p_1\Delta V_{23} - 2p_1|\Delta V_{41}|$ oraz

$Q_{pobrane} = n\frac{3}{2}R\Delta T_{12} + n\frac{5}{2}R\Delta T_{23}$

1 pkt – zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie pracy całkowitej jako różnicy pracy siły parcia w przemianie $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$ i pracy przeciwko sile parcia w przemianie $\mathrm{G}_4 \rightarrow \mathrm{G}_1$ (lub jako pola figury ograniczonej krzywą cyklu), np. zapisy równoważne poniższym:

$\eta = \frac{W_{calkowita}}{Q_{pobrane}}$ oraz $W_{calkowita} = |W_{23}| - |W_{41}|$

LUB

– zapisanie wzoru na sprawność silnika cieplnego **oraz** zapisanie ciepła pobranego jako sumy ciepeł pobranych w przemianach $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ i $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$, np. zapisy równoważne poniższym:

$\eta = \frac{W_{calkowita}}{Q_{pobrane}}$ oraz $Q_{pobrane} = Q_{12} + Q_{23}$

0 pkt – rozwiązanie, w którym zastosowano niepoprawną metodę, albo brak rozwiązania.

Przykładowe pełne rozwiązanie

Zapiszemy definicję sprawności silnika cieplnego:

$$1)\quad \eta = \frac{W_{calkowita}}{Q_{pobrane}}$$

Praca całkowita jest równa różnicy wartości bezwzględnych pracy siły parcia podczas rozprężania izobarycznego $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$ i pracy siły parcia podczas sprężania izobarycznego $\mathrm{G}_4 \rightarrow \mathrm{G}_1$:

$$2)\ W_{calkowita} = |W_{23}| - |W_{41}| \ \rightarrow\ W_{calk} = 3p_1(3V_1 - V_1) - 2p_1(3V_1 - V_1)$$

$$2a)\ W_{calkowita} = 2V_1p_1$$

Ciepło pobrane z otoczenia w cyklu jest równe sumie ciepeł pobranych z grzejnicy w przemianach $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ i $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$:

$$3)\quad Q_{pobrane} = Q_{12} + Q_{23}$$

Wykorzystamy wzory na ciepła w przemianach: izochorycznej $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ oraz izobarycznej $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$:

$$4)\quad Q_{pobrane} = nC_V\Delta T_{12} + nC_p\Delta T_{23}$$

Wykorzystamy związek między ciepłem molowym przy stałej objętości a ciepłem molowym przy stałym ciśnieniu oraz informację w zadaniu o cieple molowym przy stałej objętości:

$$5)\quad C_p = C_V + R \qquad \text{zatem}$$

$$6)\quad Q_{pobrane} = n\frac{3}{2}R\Delta T_{12} + n\frac{5}{2}R\Delta T_{23}$$

Wykorzystamy związki wynikające z równania stanu gazu doskonałego oraz własności przemiany izochorycznej $\mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$ oraz własności przemiany izobarycznej $\mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$:

$$7)\quad pV = nRT \qquad \text{zatem}$$

$$8)\quad \Delta p_{12}V_1 = nR\Delta T_{12} \ \text{ dla przemiany } \ \mathrm{G}_1 \rightarrow \mathrm{G}_2$$

$$9)\quad 3p_1\Delta V_{23} = nR\Delta T_{23} \quad \text{dla przemiany } \ \mathrm{G}_2 \rightarrow \mathrm{G}_3$$

Związki 8) i 9) podstawimy do wzoru 6) na ciepło pobrane:

$$10)\quad Q_{pobrane} = \frac{3}{2}\Delta p_{12}V_1 + \frac{5}{2}3p_1\Delta V_{23} \quad \rightarrow$$

$$10a)\quad Q_{pobrane} = \frac{3}{2}(3p_1 - 2p_1)V_1 + \frac{5}{2}3p_1(3V_1 - V_1) = \frac{3}{2}p_1V_1 + \frac{5}{2}\cdot 3p_1 2V_1 \ \rightarrow$$

$$10b)\quad Q_{pobrane} = \frac{3}{2}p_1V_1 + 15p_1V_1 = 16{,}5p_1V_1$$

Wyniki otrzymane w 10b) oraz 2a) podstawimy do wzoru 1) na sprawność silnika cieplnego:

$$11)\quad \eta = \frac{2p_1V_1}{16{,}5p_1V_1} = \frac{2}{16{,}5} = 0,(121) \approx 12\%$$