

### ΘΕΜΑ Δ

Ορισμένη ποσότητα ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής  $M$ , υποβάλλεται στην αντιστρεπτή κυκλική μεταβολή  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ . Το αέριο ξεκινά από την κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας 1, όπου  $V_1 = 2 \text{ L}$ ,  $p_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  και  $T_1 = 600 \text{ K}$ , ακολουθεί μια ισόθερμη εκτόνωση  $1 \rightarrow 2$  μέχρι ο όγκος να γίνει  $V_2 = 8 \text{ L}$ , και στην συνέχεια υφίσταται μια ισόχωρη ψύξη  $2 \rightarrow 3$  μέχρι τη θερμοκρασία  $T_3 = 300 \text{ K}$ . Η επόμενη μεταβολή είναι μια ισόθερμη συμπίεση  $3 \rightarrow 4$ , μέχρι ο όγκος να γίνει  $V_1$  και ο κύκλος ολοκληρώνεται με μια ισόχωρη θέρμανση μέχρι την αρχική κατάσταση 1.

**Δ1)** Να υπολογιστεί η πίεση του αερίου στις καταστάσεις 4 και 2.

*Μονάδες 5*

**Δ2)** Να σχεδιαστεί σε διάγραμμα  $p - V$  η κυκλική μεταβολή λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές των μεγεθών  $p$  και  $V$  που υπολογίσατε.

*Μονάδες 7*

**Δ3)** Να υπολογιστεί το ποσό της θερμότητας που μεταφέρθηκε από το περιβάλλον στο αέριο στην ισόχωρη μεταβολή  $4 \rightarrow 1$ .

*Μονάδες 7*

**Δ4)** Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της ιδανικής θερμικής μηχανής Carnot που λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών  $T_1$  και  $T_3$ . Χωρίς να υπολογίσετε την απόδοση της μηχανής  $M$ , να εξηγήσετε αν είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από την απόδοση της προηγούμενης μηχανής Carnot.

*Μονάδες 6*

Δίνονται  $C_V = \frac{3R}{2}$  και ότι  $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ .

### ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

**Δ1)** (1)  $\xrightarrow{\text{ισόθερμη εκτόνωση}}$  (2)  $\xrightarrow{\text{ισόχωρη ψύξη}}$  (3)  $\xrightarrow{\text{ισόθερμη συμπίεση}}$  (4)  $\xrightarrow{\text{ισόχωρη θέρμανση}}$  (1)

Η μεταβολή  $1 \rightarrow 2$  είναι ισόθερμη, άρα:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = p_2 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \rightarrow p_2 = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Η μεταβολή  $2 \rightarrow 3$  είναι ισόχωρη, άρα:

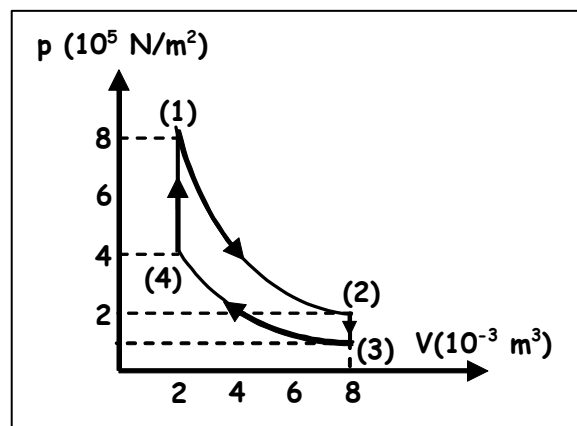
$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow \frac{2 \cdot 10^5}{600} = \frac{p_3}{300} \rightarrow p_3 = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Η μεταβολή  $3 \rightarrow 4$  είναι ισόθερμη, άρα:

$$p_3 V_3 = p_4 V_4 \rightarrow 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = p_4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \rightarrow p_4 = 4 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

Δ2) Συγκεντρώνουμε τις τιμές της πίεσης, του όγκου και της απόλυτης θερμοκρασίας στο παρακάτω πίνακα και κατασκευάζουμε το διάγραμμα p - V:

Καταστάσεις	1	2	3	4	1
p (N/m <sup>2</sup> )	8 10 <sup>5</sup>	2 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>	4 10 <sup>5</sup>	8 10 <sup>5</sup>
V (m <sup>3</sup> )	2 10 <sup>-3</sup>	8 10 <sup>-3</sup>	8 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>
T (K)	600	600	300	300	600



Δ3) Για την ισόχωρη θέρμανση 4 → 1 ισχύει:

$$Q_{4 \rightarrow 1} = n C_V (T_1 - T_4) = n \frac{3R}{2} (T_1 - T_4) = \frac{3}{2} (n R T_1 - n R T_4) = \frac{3}{2} (p_1 V_1 - p_4 V_4) \rightarrow$$

$$Q_{4 \rightarrow 1} = \frac{3}{2} (1600 - 800) \rightarrow Q_{4 \rightarrow 1} = 1200 \text{ J.}$$

Δ4) Ο συντελεστής απόδοσης μιας ιδανικής μηχανής Carnot που λειτουργεί ανάμεσα στη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του κύκλου είναι:

$$e_c = 1 - \frac{T_c}{T_h} = 1 - \frac{T_3}{T_1} = 1 - \frac{300}{600} = 1 - \frac{1}{2} \rightarrow e_c = 0,5.$$

Σύμφωνα με το θεώρημα Carnot δεν μπορεί να υπάρξει θερμική μηχανή που να λειτουργεί ανάμεσα σε δύο θερμοκρασίες και να έχει μεγαλύτερη απόδοση από μια μηχανή Carnot η οποία λειτουργεί ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες.

Άρα η απόδοση της μηχανής M είναι μικρότερη από την απόδοση της προηγούμενης μηχανής Carnot.