

**ΦΥΣΙΚΗ ΘΕΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ Β' ΛΥΚΕΙΟΥ**  
**ΕΡΓΑΣΙΑ 6**  
**1<sup>ος</sup> ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ**

**1.** Μια ποσότητα ιδανικού αερίου εκτονώνεται ισόθερμα από την κατάσταση Α με  $p_A = 6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$  και  $V_A = 2 \text{ m}^3$  στην κατάσταση Β με  $p_B = 3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Να βρείτε :

- α) τον όγκο  $V_B$ ,  
β) τη θερμότητα  $Q$  που απορρόφησε το αέριο.  
Δίνεται  $\ln 2 = 0,7$ .

( $4 \text{ m}^3, 8,4 \cdot 10^5 \text{ J}$ )

**2.** Μια ποσότητα ιδανικού μονατομικού αερίου καταλαμβάνει όγκο  $V_A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  σε θερμοκρασία  $T_A = 600 \text{ K}$  και πίεση  $p_A = 8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Το αέριο εκτελεί κυκλική μεταβολή, η οποία αποτελείται από τις ακόλουθες διαδοχικές μεταβολές :

ΑΒ : ισόθερμη εκτόνωση μέχρι ο όγκος του να γίνει  $V_B = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

ΒΓ : ισόχωρη ψύξη μέχρι η θερμοκρασία του να γίνει  $T_\Gamma = 300 \text{ K}$ .

ΓΔ : ισόθερμη συμπίεση μέχρι ο όγκος του να γίνει  $V_\Delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

ΔΑ : ισόχωρη θέρμανση μέχρι η θερμοκρασία του να γίνει  $T_A = 600 \text{ K}$ .

α) Να γίνει το διάγραμμα  $p$ - $V$ ,

β) Να βρεθεί η θερμότητα, το έργο και η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας σε κάθε μεταβολή ξεχωριστά και συνολικά.

Δίνεται  $\ln 2 = 0,7$ .

**3.** Μια ποσότητα  $n = \frac{10}{R}$  mol ιδανικού αερίου καταλαμβάνει όγκο  $V_A = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  σε

πίεση  $p_A = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Το αέριο εκτονώνεται με σταθερή πίεση μέχρι ο όγκος του να γίνει  $V_B = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  και στη συνέχεια εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι η πίεση του

να γίνει  $p_\Gamma = \frac{1}{16} \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ . Αν για το αέριο αυτό είναι  $\gamma = 5/3$ , να βρείτε :

α) τον τελικό όγκο,

β) την τελική θερμοκρασία του και να σχεδιάσετε το διάγραμμα  $p$ - $V$ ,

γ) το έργο που παρήγαγε ή κατανάλωσε το αέριο σε κάθε μια μεταβολή ξεχωριστά και συνολικά.

δ) την μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου σε κάθε μια μεταβολή ξεχωριστά και συνολικά.

( $32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3, 200 \text{ K}$ )

**4.** Σε μια αδιαβατική εκτόνωση ΑΒ μιας ποσότητας  $n = \frac{5}{R}$  mol ιδανικού αερίου

γνωρίζουμε ότι είναι  $p_A = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ,  $V_A = 10^{-2} \text{ m}^3$  και  $T_B = 200 \text{ K}$ . Αν για το αέριο είναι  $\gamma = 5/3$  :

α) να βρείτε την πίεση  $p_B$  και τον όγκο  $V_B$

β) να σχεδιάσετε το διάγραμμα  $p$ - $V$

γ) να βρείτε το έργο και τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

( $V_B = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3, p_B = \frac{1}{8} \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ )

**5.** Μια ποσότητα  $n = 2/R$  mol ιδανικού μονατομικού αερίου υφίσταται ισοβαρή εκτόνωση, οπότε η θερμοκρασία του αυξάνεται κατά  $\Delta T = 50 \text{ K}$ . Για τη μεταβολή αυτή να βρείτε :

α) τη μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου,

β) το έργο που παράγει το αέριο,

γ) τη θερμότητα που απορροφά το αέριο από το περιβάλλον.

**6.** Ποσότητα ιδανικού μονατομικού αερίου βρίσκεται στην κατάσταση A με  $p_A = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ ,  $V_A = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  και  $T_A = 600\text{K}$ . Το αέριο παθαίνει κυκλική μεταβολή ABΓA, η οποία αποτελείται από τις παρακάτω μεταβολές :

AB : ισόχωρη ψύξη με  $T_B = 150\text{K}$ ,

BΓ : ισοβαρής εκτόνωση,

ΓA : ισόθερμη συμπίεση.

α) Να βρεθούν τα  $V_B$ ,  $T_B$ ,  $p_\Gamma$ ,  $V_\Gamma$ ,  $T_\Gamma$ .

β) Να γίνει το διάγραμμα p-V.

γ) Να βρεθούν για κάθε μεταβολή ξεχωριστά και για τη συνολική μεταβολή, τα Q, ΔU και W και να ερμηνευτούν τα πρόσημα τους σε κάθε περίπτωση.

δ) Να βρεθεί το εμβαδό που περικλείεται στη γραμμή του διαγράμματος p-V.

Δίνεται  $\ln 2 = 0,7$ .

**7.** Μια ποσότητα μονατομικού ιδανικού αερίου καταλαμβάνει όγκο  $V_A = 2\text{m}^3$  σε πίεση  $p_A = 10^5 \text{ N/m}^2$  και θερμοκρασία  $T_A = 300\text{K}$ . Το αέριο εκτελεί αντιστρεπτή μεταβολή AB με  $p_B = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , στη διάρκεια της οποίας το πηλίκο της πίεσης προς τον όγκο παραμένει σταθερό ( $p/V = \text{σταθερό}$  άρα P ανάλογο με το V).

α) Να απεικονίσετε τη μεταβολή AB σε διάγραμμα p-V.

β) Να βρείτε τα  $Q_{AB}$ ,  $W_{AB}$  και  $\Delta U_{AB}$ .

( $60 \cdot 10^5 \text{ J}$ ,  $15 \cdot 10^5 \text{ J}$ ,  $45 \cdot 10^5 \text{ J}$ )

**8.** Ποσότητα  $n = 10/R \text{ mol}$  ιδανικού αερίου έχει θερμοκρασία  $T_1 = 400\text{K}$  και βρίσκεται μέσα σε δοχείο σταθερού όγκου. Να υπολογίσετε το ποσό θερμότητας που πρέπει να προσφέρουμε στο αέριο, για να διπλασιάσουμε την ενεργό ταχύτητα  $u_{\text{εν}}$ .

( $18000 \text{ J}$ )

**9.** Μια ποσότητα ιδανικού μονατομικού αερίου υφίσταται ισοβαρή μεταβολή. Για τη μεταβολή αυτή να υπολογίσετε τους λόγους  $\Delta U/W$ ,  $\Delta U/Q$ ,  $W/Q$ .

( $3/2$ ,  $3/5$ ,  $2/5$ )

Από το σχολικό βιβλίο :

οι ερωτήσεις **1-24** ,

οι ασκήσεις **40-50** ,

τα προβλήματα **57-61**, **64**, **65**, **67**, **68**, **69**, **70**, εκτός από τα ερωτήματα που περιέχουν εντροπία.

# Λύσεις Εργασίας 6

6-1

## Άσκηση 1

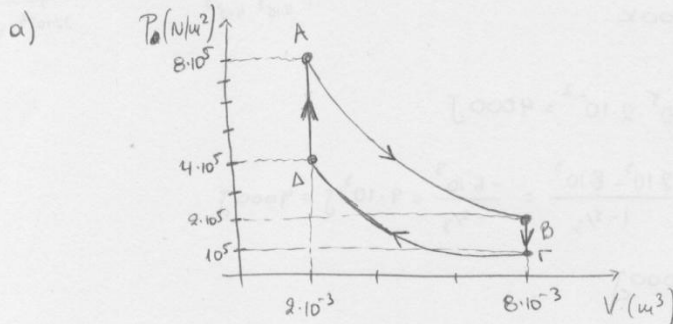
α)  $P_A V_A = P_B V_B \rightarrow V_B = \frac{P_A V_A}{P_B} = 4 \text{ m}^3$

β)  $Q = W = n R T_A \ln \frac{V_B}{V_A} = P_A V_A \ln \frac{V_B}{V_A} = 12 \cdot 10^5 \cdot \ln 2 = 8,4 \cdot 10^5 \text{ J}$

## Άσκηση 2

Με βάση τους νόμους των αερίων συμπληρώστε τον πίνακα:

Α	Β	Γ	Δ
$P_A = 8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$	$P_B = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$	$P_\Gamma = 10^5 \text{ N/m}^2$	$P_\Delta = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
$V_A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	$V_B = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	$V_\Gamma = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	$V_\Delta = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
$T_A = 600 \text{ K}$	$T_B = 600 \text{ K}$	$T_\Gamma = 300 \text{ K}$	$T_\Delta = 300 \text{ K}$



β)  $W_{AB} = Q_{AB} = n R T_A \ln \frac{V_B}{V_A} = P_A V_A \ln 4 = P_A V_A \ln 2^2 = 2 P_A V_A \ln 2 = 9940 \text{ J}$

$\Delta U_{AB} = 0$

$W_{B\Gamma} = 0, \Delta U_{B\Gamma} = U_\Gamma - U_B$ . Αφού το αέριο είναι μονατομικό  $16 \text{ kcal}$

η σχέση  $U = \frac{3}{2} n R T$  άρα  $\Delta U_{B\Gamma} = \frac{3}{2} n R T_\Gamma - \frac{3}{2} n R T_B = \frac{3}{2} P_\Gamma V_\Gamma - \frac{3}{2} P_B V_B$

$\frac{V_B = V_\Gamma}{2} \frac{3}{2} V_B (P_\Gamma - P_B) = \frac{3}{2} \cdot 8 \cdot 10^{-3} (-10^5) = -1200 \text{ J}$  άρα  $Q_{B\Gamma} = \Delta U_{B\Gamma} = -1200$

$W_{\Gamma\Delta} = Q_{\Gamma\Delta} = n R T_\Gamma \ln \frac{V_\Delta}{V_\Gamma} = P_\Gamma V_\Gamma \ln \frac{1}{4} = P_\Gamma V_\Gamma \ln 2^{-2} = -2 P_\Gamma V_\Gamma \ln 2 = -560 \text{ J}$

$\Delta U_{\Gamma\Delta} = 0$

$W_{\Delta A} = 0, \Delta U_{\Delta A} = U_A - U_\Delta = \frac{3}{2} n R T_A - \frac{3}{2} n R T_\Delta = \frac{3}{2} P_A V_A - \frac{3}{2} P_\Delta V_\Delta = \frac{3}{2} V_A (P_A - P_\Delta) =$

$$= \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^5 = 1200 \text{ J} \quad \text{ήρα} \quad Q_{\Delta A} = 1200 \text{ J}$$

$$\Delta U_{\text{ολ}} = 0, \quad W_{\text{ολ}} = W_{AB} + W_{\cancel{B\Gamma}} + W_{\cancel{\Gamma\Delta}} + W_{\cancel{\Delta A}} = 2240 - 560 = 1680 \text{ J} = Q_{\text{ολ}}$$

### Άσκηση 3

$$\text{Είμαι} \quad P_A V_A = n R T_A = \frac{10}{R} R T_A = 10 T_A \rightarrow T_A = 400 \text{ K}$$

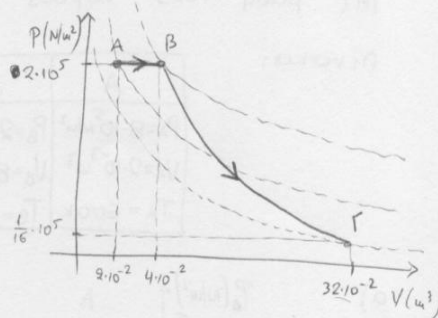
$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow T_B = 800 \text{ K}$$

$$P_B V_B^\gamma = P_\Gamma V_\Gamma^\gamma \rightarrow V_\Gamma^\gamma = \frac{P_B V_B^\gamma}{P_\Gamma} \rightarrow V_\Gamma = V_B \left( \frac{P_B}{P_\Gamma} \right)^{1/\gamma} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 32^{3/5}$$

$$= 4 \cdot 10^{-2} \cdot (2^5)^{3/5} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 2^3 = 32 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_\Gamma V_\Gamma}{T_\Gamma} \rightarrow T_\Gamma = \frac{P_\Gamma V_\Gamma T_B}{P_B V_B} = \frac{\frac{1}{16} \cdot 10^5 \cdot 32 \cdot 10^{-2} \cdot 800}{2 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}$$

$$= \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 800}{8 \cdot 10^3} = 200 \text{ K}$$



$$W_{AB} = P_A (V_B - V_A) = 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 4000 \text{ J}$$

$$W_{B\Gamma} = \frac{P_\Gamma V_\Gamma - P_B V_B}{1 - \gamma} = \frac{2 \cdot 10^3 - 8 \cdot 10^3}{1 - 5/3} = \frac{-6 \cdot 10^3}{-2/3} = 9 \cdot 10^3 \text{ J} = 9000 \text{ J}$$

$$W_{\text{ολ}} = W_{AB} + W_{B\Gamma} = 13000 \text{ J}$$

$$\Delta U_{AB} = n C_V \Delta T_{AB} = n \frac{3}{2} R (T_B - T_A) = \frac{3}{2} n R T_B - \frac{3}{2} n R T_A = \frac{3}{2} P_B V_B - \frac{3}{2} P_A V_A$$

$$= \frac{3}{2} P_A (V_B - V_A) = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 6000 \text{ J}$$

$$\Delta U_{B\Gamma} = -W_{B\Gamma} = -9000 \text{ J} \quad (\text{ή} \quad \Delta U_{B\Gamma} = n C_V \Delta T_{B\Gamma})$$

$$\Delta U_{\text{ολ}} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{B\Gamma} = -3000 \text{ J}$$

Άσκηση 4

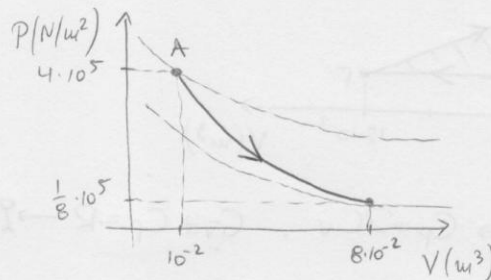
$$P_A V_A = n R T_A = \frac{5}{R} R T_A = 5 T_A \rightarrow T_A = \frac{4 \cdot 10^3}{5} = 800 \text{ K}$$

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \rightarrow \frac{n R T_A}{V_A} V_A^\gamma = \frac{n R T_B}{V_B} V_B^\gamma \rightarrow T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

$$\rightarrow V_B^{\gamma-1} = \frac{T_A V_A^{\gamma-1}}{T_B} \rightarrow V_B = V_A \left( \frac{T_A}{T_B} \right)^{1/\gamma-1} = 10^{-2} \cdot 4^{3/2} = 10^{-2} \cdot (2^2)^{3/2}$$

$$= 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \rightarrow P_B = \frac{P_A V_A T_B}{T_A V_B} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 200}{800 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{8} \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$



$$\Delta U_{AB} = n C_V \Delta T_{AB} = n \frac{3}{2} R (T_B - T_A) = \frac{3}{2} \cdot \frac{5}{R} R (200 - 800) = -\frac{15}{2} \cdot 600$$

$$\rightarrow \Delta U_{AB} = -4500 \text{ J} \rightarrow W_{AB} = -\Delta U_{AB} = 4500 \text{ J}$$

Άσκηση 5

$$a) \Delta U = n C_V \Delta T = \frac{2}{R} \cdot \frac{3}{2} \cdot R \cdot \Delta T = 3 \Delta T = 150 \text{ J}$$

$$b) W = P \Delta V = P V_{\text{tel}} - P V_{\text{apx}} = n R T_{\text{tel}} - n R T_{\text{apx}} = n R \Delta T = \frac{2}{R} R \Delta T$$

$$\rightarrow W = 2 \Delta T \rightarrow W = 100 \text{ J}$$

$$c) Q = \Delta U + W = 250 \text{ J} \quad \text{ή} \quad Q = n C_P \Delta T = n \frac{5}{2} R \Delta T = 250 \text{ J}$$

$$\text{ή} \quad C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

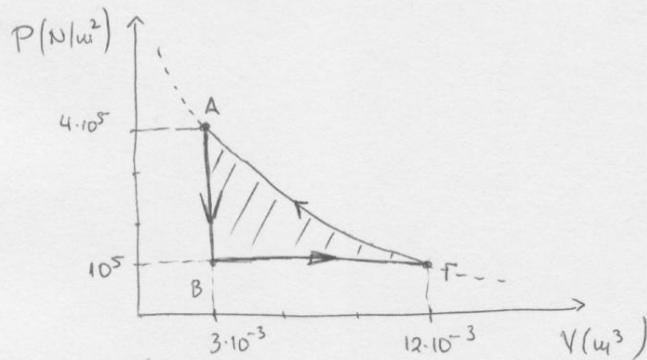
Άσκηση 6

6-4

Με βάση τους νόμους των αερίων συζητήστε τον παρακάτω πίνακα :

$$\alpha) \begin{array}{l} P_A = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \\ V_A = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ T_A = 600 \text{ K} \end{array} \left| \begin{array}{l} P_B = 10^5 \text{ N/m}^2 \\ V_B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ T_B = 150 \text{ K} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} P_\Gamma = 10^5 \text{ N/m}^2 \\ V_\Gamma = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ T_\Gamma = 600 \text{ K} \end{array} \right.$$

β) Το διάγραμμα P-V είναι :



$$\delta) W_{AB} = 0, \Delta U_{AB} = \frac{3}{2} nR (T_B - T_A) = \frac{3}{2} V_A (P_B - P_A) = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot (-3 \cdot 10^5) = -1350 \text{ J}$$

$$Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U_{AB} = -1350 \text{ J}$$

$$W_{B\Gamma} = P_B (V_\Gamma - V_B) = 10^5 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 900 \text{ J}, \Delta U_{B\Gamma} = \frac{3}{2} P_B (V_\Gamma - V_B) = \frac{3}{2} \cdot 10^5 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 1350 \text{ J}$$

$$Q_{B\Gamma} = W_{B\Gamma} + \Delta U_{B\Gamma} = 2250 \text{ J}$$

$$\Delta U_{\Gamma A} = 0, W_{\Gamma A} = nRT_\Gamma \ln \frac{V_A}{V_\Gamma} = P_\Gamma V_\Gamma \ln \frac{V_A}{V_\Gamma} = 1200 \ln \frac{1}{4} = 1200 \cdot \ln 2^{-2}$$

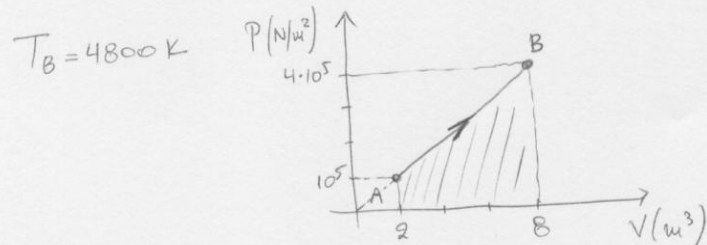
$$= -2400 \cdot \ln 2 = -2400 \cdot 0,7 = -1680 \text{ J} \cdot Q_{\Gamma A} = -1680 \text{ J}$$

$$\epsilon) E = |W_{\text{ολ}}| = |W_{AB} + W_{B\Gamma} + W_{\Gamma A}| = |0 + 900 - 1680| = 780 \text{ J}$$



Άσκηση 7

$$\text{Είναι } \frac{P_A}{V_A} = \frac{P_B}{V_B} \rightarrow V_B = 8 \text{ m}^3, \quad \frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \rightarrow T_B = \frac{P_B V_B T_A}{P_A V_A} = \frac{32 \cdot 10^5 \cdot 300}{2 \cdot 10^5} \rightarrow$$



$$\Delta U_{AB} = n C_v \Delta T_{AB} = \frac{3}{2} n R (T_B - T_A) = \frac{3}{2} P_B V_B - \frac{3}{2} P_A V_A = \frac{3}{2} (32 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5)$$

$$= \frac{3}{2} \cdot 30 \cdot 10^5 = 45 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$W_{AB} = \epsilon + b = \frac{(4 \cdot 10^5 + 10^5) \cdot 6}{2} = 3 \cdot 5 \cdot 10^5 = 15 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$Q_{AB} = \Delta U_{AB} + W_{AB} = 60 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Άσκηση 8

$$\left. \begin{aligned} v_{\text{Ev}_1} &= \sqrt{\frac{3RT_1}{M}} \\ v_{\text{Ev}_2} &= \sqrt{\frac{3RT_2}{M}} \end{aligned} \right\} \rightarrow T_2 = 4T_1 \quad Q = n C_v \Delta T = \frac{3}{2} n R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \cdot \frac{10}{R} \cdot R \cdot 3T_1$$

$$= 45 \cdot 400 = 18000 \text{ J}$$

Άσκηση 9

$$\frac{\Delta U}{W} = \frac{n C_v \Delta T}{P \Delta V} = \frac{n C_v \Delta T}{n R \Delta T} = \frac{\frac{3}{2} R}{R} = \frac{3}{2}$$

$$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{n C_v \Delta T}{n C_p \Delta T} = \frac{C_v}{C_p} = \frac{\frac{3R}{2}}{\frac{5R}{2}} = \frac{3}{5}$$

$$\frac{W}{Q} = \frac{P \Delta V}{n C_p \Delta T} = \frac{n R \Delta T}{\frac{5}{2} n R \Delta T} = \frac{2}{5}$$