

## Ε. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

**1. B2.25** Θερμική μηχανή είναι,

- α) το τρόλει;
- β) ο φούρνος;
- γ) το ποδήλατο;
- δ) ο κινητήρας του αεροπλάνου;

Επιλέξτε τη σωστή απάντηση.

**2. B2.26** Με ποιόν τρόπο αποβάλλεται θερμότητα κατά τη λειτουργία της μηχανής του αυτοκινήτου;

**3. B2.27** Ποια από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστή;

- α) Κάθε θερμική μηχανή λειτουργεί ανάμεσα σε δύο θερμοκρασίες.
- β) Ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής είναι το πηλίκο της ωφέλιμης ενέργειας που μας δίνει η μηχανή προς το ποσό θερμότητας που αποβάλλεται από τη μηχανή κατά τη λειτουργία της.
- γ) Εάν ήταν δυνατό να εξαλειφθούν οι τριβές ο συντελεστής απόδοσης των θερμικών μηχανών θα ήταν ίσος με τη μονάδα.
- δ) Η απόδοση των θερμικών μηχανών κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα στο 70% με 80%.

**4. B2.28** Οι παρακάτω προτάσεις αναφέρονται στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο. Ποιες είναι σωστές;

- α) Δεν υπάρχουν περιορισμοί στη μετατροπή της ενέργειας από τη μια μορφή στην άλλη.
- β) Σε μια κυκλική μεταβολή η θερμότητα που προσφέρεται από το περιβάλλον στο σύστημα, δε μετασχηματίζεται πλήρως σε μηχανική ενέργεια.
- γ) Κατά τη ισόθερμη εκτόνωση, όλο το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο μετατρέπεται σε έργο. Η μεταβολή αυτή αποτελεί μια εξαίρεση στο δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο.
- δ) Με τη σημερινή τεχνολογία δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο. Ελπίζουμε ότι στο μέλλον θα το κατορθώσουμε.
- ε) Ο δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος αποκλείει την ύπαρξη μιας θερμικής μηχανής που έχει συντελεστή απόδοσης ίσο με 1.
- στ) Το ψυγείο μεταφέρει θερμότητα από τα ψυχρά σώματα προς τα θερμότερα.
- ζ) Η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα. Για το αντίστροφο απαιτείται δαπάνη ενέργειας.

**5. B2.29** Λέμε ότι κατά τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής το ωφέλιμο έργο είναι πάντα μικρότερο από την ενέργεια που δαπανάται για τη λειτουργία της (θερμότητα). Μήπως αυτό παραβιάζει την αρχή της διατήρησης της ενέργειας ; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

**6. B2.30** Η θάλασσα έχει τεράστια εσωτερική ενέργεια. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια για την κίνηση των πλοίων;  
(Δικαιολογήστε την απάντησή σας).

**7. B2.31** Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις που αφορούν στη μηχανή Carnot είναι σωστές;

- α) Η μηχανή που επινόησε και συναρμολόγησε ο Carnot φέρει σήμερα το όνομά του.
- β) Ο κύκλος του Carnot αποτελείται από δύο ισόθερμες και δύο ισόχωρες μεταβολές.
- γ) Η μηχανή Carnot έχει τη μεγαλύτερη απόδοση γιατί μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο.
- δ) Η απόδοση της μηχανής Carnot εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των δεξαμενών υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας.
- ε) Όταν μικραίνει ο λόγος της θερμοκρασίας της ψυχρής δεξαμενής προς της θερμοκρασία της θερμής, σε μια μηχανή Carnot, ο συντελεστής απόδοσής της μεγαλώνει.

**8. B2.32** Η απόδοση μιας θερμικής μηχανής δε μπορεί να είναι ..... από την απόδοση μιας μηχανής Carnot που λειτουργεί ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες. Ο συντελεστής απόδοσης μιας μηχανής Carnot είναι ..... (Συμπλήρωσε τα κενά).

**9. B2.52** Θερμική μηχανή παράγει σε κάθε κύκλο λειτουργίας της μηχανικό έργο 200 J. Η απόδοση της μηχανής είναι 25%. Υπολογίστε το ποσό θερμότητας που απορροφά, καθώς και το ποσό θερμότητας που αποβάλλει η μηχανή σε κάθε κύκλο της.  
[Απ : 800 J, 600 J]

**10. 9)** Μηχανή Carnot λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών 450<sup>0</sup>K και 300<sup>0</sup>K. Στη διάρκεια της ισόθερμης εκτόνωσης παράγεται έργο 1500J. α) Ποιος είναι ο συντελεστής απόδοσης; β) Ποιο είναι το έργο που παράγει η μηχανή σε κάθε κύκλο;

[ Απ : 1/3, 500 ]

**11. B2.53** Οι βενζινομηχανές στα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν τη θερμότητα που παράγεται από την καύση της βενζίνης. Μέρος της θερμότητας αυτής τη μετατρέπουν σε μηχανικό έργο και την υπόλοιπη την αποβάλλουν στην ατμόσφαιρα. Η απόδοση μιας τέτοιας μηχανής είναι περίπου 20% . Η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με την καύση της βενζίνης είναι περίπου 2100 °C. Αν η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι 23° C, υπολογίστε τη θεωρητικά μέγιστη απόδοση που μπορεί να έχει μία τέτοια μηχανή. (Θα θεωρήσετε ότι τα καυσαέρια αποβάλλονται στη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας).  
[Απ : 87%]

**12.** Η θερμοκρασία της ψυχρής δεξαμενής μιας μηχανής Carnot είναι 20° C. Ο συντελεστής απόδοσης αυτής της μηχανής είναι  $\alpha = 0,5$ . Η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής της μηχανής είναι,

- (α) 40°C
- (β) 80°C
- (γ) 313°C
- (δ) 586°C

**13.** Ισχυρίζεται κάποιος μηχανικός ότι σχεδίασε θερμική μηχανή που λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών 300K και 600K, με απόδοση 60%. Τι λέτε ;

**14.** Δύο μηχανές Carnot A, B έχουν ψυχρές δεξαμενές ίδιας θερμοκρασίας, ενώ η θερμή δεξαμενή της A έχει ψηλότερη θερμοκρασία από την θερμή δεξαμενή της B. Το αέριο κάθε μηχανής απορροφά, ανά κύκλο, το ίδιο ποσό θερμότητας από την αντίστοιχη θερμή δεξαμενή. Ποια απ' τις δύο μηχανές παράγει περισσότερο έργο ανά κύκλο;

**15.** Μία μηχανή Carnot αποσπά θερμότητα από δεξαμενή θερμοκρασίας  $T_1 = 1.200\text{K}$  και αποδίδει θερμότητα σε δεξαμενή θερμοκρασίας  $T_2 = 300\text{K}$ . Αν η ισχύς της μηχανής είναι  $45\text{kW}$ , με ποιο ρυθμό αυτή αποδίδει θερμότητα στη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας;  
[Απ :  $15\text{kW}$ ]

**16.** Η θερμοκρασία της θερμής δεξαμενής μιας μηχανής Carnot είναι  $500\text{K}$  και της ψυχρής δεξαμενής  $300\text{K}$ . Το αέριο σε κάθε κύκλο απορροφά από την θερμή δεξαμενή  $6000\text{ J}$ . Να βρεθούν

(α) Η θερμότητα που αποβάλλει το αέριο σε κάθε κύκλο στην ψυχρή δεξαμενή.

(β) Ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

(γ) Η ισχύς της μηχανής σε  $\text{KW}$ , αν εκτελεί  $10$  κύκλους /s.

[Απ : (α)  $3600\text{ J}$ , (β)  $0,4$ , (γ)  $24\text{ KW}$ ]

**17.** Δύο μηχανές συνδέονται έτσι ώστε, το ποσό θερμότητας που αποδίδει η πρώτη να χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της δεύτερης. Ο συντελεστής απόδοσης της πρώτης μηχανής είναι  $\alpha_1 = 0,40$  και της δεύτερης  $\alpha_2 = 0,20$ . Να βρεθεί ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος των μηχανών.

[Απ :  $0,52$ ]

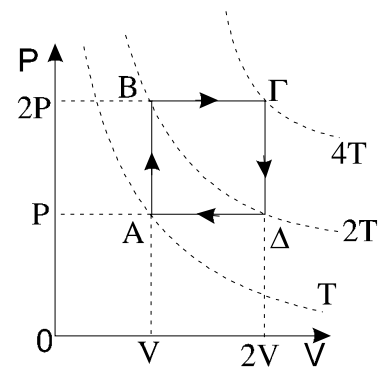
**18. B2.66** Η κυκλική μεταβολή του ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής αποτελείται από: α) μια ισόχωρη θέρμανση μέχρι να τριπλασιαστεί η πίεσή του, β) μια ισοβαρή εκτόνωση μέχρι να τριπλασιαστεί ο όγκος του, γ) μια ισόχωρη ψύξη μέχρι να αποκτήσει την αρχική πίεση και, δ) μια ισοβαρή συμπίεση μέχρι την αρχική του κατάσταση. Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής. Δίνεται  $\gamma = 5/3$ .

[Απ :  $2/9$ ]

**29.** Το μονοατομικό αέριο μίας θερμικής μηχανής υφίσταται την κυκλική μεταβολή που φαίνεται στην εικόνα.

Να υπολογίσετε την απόδοση του κύκλου.

[Απ :  $15,4\%$ ]



**20.** Μια ιδανική θερμική μηχανή λειτουργεί σύμφωνα με κύκλο, ο οποίος αποτελείται από δύο ισοβαρείς και δύο ισόχωρες μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές γίνονται μεταξύ των όγκων  $V$  και  $3V$  καθώς επίσης μεταξύ των πιέσεων  $P$  και  $3P$ . Η μηχανή χρησιμοποιεί  $n=200\text{mol}$  αερίου.

Να υπολογιστούν η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου κατά τη μετακίνηση από το σημείο  $(3P, V)$  στο σημείο  $(P, 3V)$ .  
[Απ.  $\Delta U=0$ ]

**21.** Ποσότητα ιδανικού αερίου βρίσκεται στην κατάσταση  $A(P_0, V_0, T_0)$  και πραγματοποιεί τις εξής μεταβολές : AB ισοβαρής εκτόνωση όπου ο όγκος διπλασιάζεται και παράγεται έργο  $200\text{J}$ . BΓ ισόθερμη εκτόνωση μέχρι διπλασιασμού του όγκου. ΓΔ ισόχωρη ψύξη και ΔΑ ισόθερμη

συμπύεση α) Να γίνει το διάγραμμα πίεσης – όγκου β) Να βρεθεί ο συντελεστής απόδοσης του κύκλου. Δίνονται :  $C_v=3R/2$  ,  $\ln 2=0,7$

[ Απ : 0,26 ]

**22.** Το αέριο μιας θερμικής μηχανής εκτελεί αντιστρεπτή κυκλική μεταβολή, που αποτελείται τις παρακάτω επιμέρους μεταβολές.

- (i) Ισόχωρη θέρμανση από την κατάσταση  $A(p_o, V_o, T_o)$  μέχρι την κατάσταση  $B$ , όπου η θερμοκρασία είναι  $2T_o$ .
- (ii) Αδιαβατική εκτόνωση  $B \rightarrow \Gamma$
- (iii) Ισόθερμη  $\Gamma \rightarrow A$

Αν  $\ln 2 = 0,69$ , να βρεθεί η απόδοση της μηχανής.

[Απ : 31%]

**23.** Το αέριο μηχανής εκτελεί κυκλική μεταβολή που αποτελείται από τις παρακάτω αντιστρεπτές μεταβολές.

- (i) Ισοβαρή εκτόνωση από την κατάσταση  $A(p_A = 160\text{Pa})$  σε κατάσταση  $B (V_B = 8\text{m}^3)$ .
- (ii) Ισόχωρη ψύξη  $B \rightarrow \Gamma$
- (iii) Αδιαβατική συμπίεση  $\Gamma \rightarrow A$

Για την μεταβολή  $\Gamma A$  δίνεται  $pV^\gamma = 160 \text{ N}\cdot\text{m}^3$

- (α) Να βρεθεί ο λόγος  $\gamma$  των ειδικών θερμοχωρητικοτήτων του αερίου.
- (β) Να υπολογισθεί το έργο και η θερμότητα για κάθε επιμέρους μεταβολή.
- (γ) Να βρεθεί η απόδοση της μηχανής.

[Απ : (α)  $\gamma = 5/3$ , (β)  $W_{AB} = 1120 \text{ J}$ ,  $W_{B\Gamma} = 0$ ,  $W_{\Gamma A} = -180 \text{ J}$ ,  $Q_{AB} = 2800 \text{ J}$ ,  $Q_{B\Gamma} = -1860 \text{ J}$ ,  $Q_{\Gamma A} = 0$ , (γ) 33,6%]

**24.** Θερμική μηχανή χρησιμοποιεί  $0,500 \text{ mol}$  ιδανικού αερίου με  $\gamma = 1,40$ . Το αέριο εκτελεί κύκλο που αποτελείται από τις παρακάτω αντιστρεπτές μεταβολές :

- (i) Ισοβαρή εκτόνωση από  $300 \text{ K}$  σε  $1200 \text{ K}$ .
- (ii) Αδιαβατική εκτόνωση μέχρι να επανέλθει σε θερμοκρασία  $300\text{K}$ .
- (iii) Ισόθερμη συμπίεση.

Να βρεθούν

- (α) Η θερμότητα σε κάθε μεταβολή.
- (β) Η απόδοση της μηχανής.
- (γ) Η ισχύς της μηχανής αν εκτελεί  $10$  κύκλους /s.

Δίνονται :  $R = 8,31 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ ,  $\ln 2 = 0,693$

[ Απ : (α)  $13100 \text{ J}$ ,  $0$ ,  $- 6050 \text{ J}$ , (β)  $53,8\%$  , (γ)  $70,5 \text{ KW}$ ]

**25.** Ιδανικό αέριο εκτελεί κυκλική μεταβολή, που αποτελείται από τις παρακάτω αντιστρεπτές μεταβολές :

- (i) Ισόθερμη εκτόνωση από την κατάσταση  $A (p_o, V_o, T_o)$ , ως την κατάσταση  $B (V_B = 4V_o)$ .
- (ii) Ισόχωρη ψύξη  $B \rightarrow \Gamma$ .
- (iii) Αδιαβατική συμπίεση  $\Gamma \rightarrow A$ .

Να βρεθεί

Το συνολικό έργο που παράγει το αέριο κατά την κυκλική μεταβολή.

Δίνονται :  $p_o = 8,0 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ ,  $V_o = 2,0 \text{ m}^3$ ,  $T_o = 300\text{K}$ ,  $\gamma = 1,5$  και  $\ln 2 = 0,69$ .

[ Απ :  $6,1 \cdot 10^4 \text{ J}$ ]

26. Αέριο υφίσταται την παρακάτω κυκλική μεταβολή. Από την κατάσταση Α πίεσης  $P_A = 160\text{N/m}^2$ , εκτονώνεται ισοβαρώς μέχρι την κατάσταση Β στην οποία ο όγκος του είναι  $V_B = 8\text{m}^3$ . Στη συνέχεια ψύχεται ισόχωρα μέχρι την κατάσταση Γ και τέλος συμπιέζεται αδιαβατικά μέχρι την αρχική κατάσταση Α, έτσι ώστε για τη μεταβολή αυτή να ισχύει  $PV^{5/3} = 160\text{Nm}^3$ .

Α. Να αποδώσετε την κυκλική μεταβολή σε άξονες P-V.

Β. Να υπολογίσετε το έργο για κάθε μεταβολή, καθώς και το ολικό έργο  $W_{ολ}$ .

Γ. Να υπολογίσετε τη θερμότητα για κάθε μεταβολή.

Δ. Να υπολογίσετε την απόδοση της κυκλικής μεταβολής.

[Απ : 1.120 Joule, 0, -180Joule, 940Joule, 2.800Joule, -1.860Joule, 0, 33%]

27. Ένα αέριο από την κατάσταση Α ( $8 \cdot 10^5\text{N/m}^2$ ,  $2 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$ , 600K) υφίσταται την κυκλική μεταβολή ΑΒΓΔΑ που αποτελείται:

ι) Από ισόθερμη εκτόνωση ΑΒ, ώστε ο όγκος του να γίνει  $V_B = 8 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$ .

ii) Από ισόχωρη ψύξη ΒΓ μέχρι τη θερμοκρασία  $T_\Gamma = 300\text{K}$ .

iii) Από ισόθερμη συμπίεση ΓΔ με  $V_\Delta = V_A$ .

iv) Από ισόχωρη θέρμανση ΔΑ.

Α. Να παρασταθεί η μεταβολή σε άξονες P-V.

Β. Να υπολογισθεί το ολικό έργο  $W_{ολ}$  και να βρεθεί η απόδοση του κύκλου, αν η θερμότητα κατά τη μεταβολή ΔΑ είναι  $Q_{\Delta A} = 400 \ln 4\text{Joule}$ .

Γ. Να υπολογισθεί ο λόγος των θερμοτήτων  $Q_{AB}/Q_{\Gamma A}$ .

28. Το αέριο μιας θερμικής μηχανής εκτελεί κύκλο που αποτελείται από δύο ισοβαρείς και δύο αδιαβατικές μεταβολές. Οι ισοβαρείς γίνονται σε πιέσεις  $P_0$  και  $8P_0$  αντίστοιχα. Να υπολογισθεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής. Αν δίνεται ότι  $\gamma = 1,5$ .

[Απ : 0,5]

29. Αέριο που αρχικά καταλαμβάνει όγκο  $V_0$  σε θερμοκρασία  $T_0$  και πίεση  $P_0$  εκτελεί κυκλική μεταβολή ΑΒΓΑ, η οποία αποτελείται από τις παρακάτω επιμέρους αντιστρεπτές μεταβολές:

ΑΒ: Ισοβαρή εκτόνωση μέχρι να τετραπλασιαστεί η αρχική του θερμοκρασία  $T_0$ .

ΒΓ: Αδιαβατική εκτόνωση μέχρι την αρχική του θερμοκρασία. Στο τέλος της μεταβολής αυτής ο όγκος του αερίου είναι 32 φορές μεγαλύτερος του αρχικού χρόνου  $V_0$ .

ΓΑ : Ισόθερμη συμπίεση μέχρι την αρχική του κατάσταση  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $T_0$ .

α. Να σχεδιαστεί ο κύκλος ΑΒΓΑ σε διάγραμμα P-V και να βρεθεί ο λόγος  $\frac{C_P}{C_V}$ .

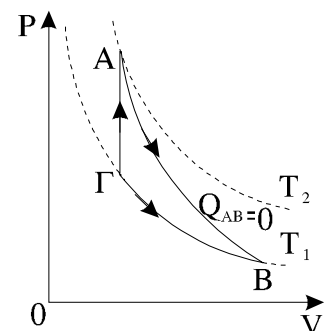
β. Να υπολογιστεί η απόδοση του κύκλου ΑΒΓΑ.

[Απ : 5/3, 53,3%]

30. Μονοατομικό αέριο υφίσταται την κυκλική μεταβολή ΑΒΓΑ που φαίνεται στην εικόνα.

Αν γνωρίζετε, ότι  $T_2 = 2T_1$ , να υπολογίσετε την απόδοση του κύκλου.

[Απ : 31%]



31. Ιδανική θερμική μηχανή λειτουργεί με τον αντιστρεπτό κύκλο.

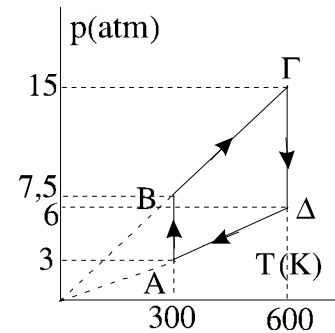
α) Να παρασταθεί γραφικά η κυκλική μεταβολή σε άξονες V-T και p-V.

β) Να υπολογιστεί το έργο που παράγει η μηχανή στη διάρκεια ενός κύκλου.

γ) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

Δίνονται : η ποσότητα του αερίου  $n = 0,975 \text{ mol}$ ,  $C_V = 3R/2$ ,  $R = 8,314 \text{ J/(mol K)} = 0,082 \text{ L atm/(mol K)}$ ,  $\ln 2,5 = 0,9163$ .

[Απ : β) 2228,3J, γ) 0,275]



32. B2.71 Η κυκλική μεταβολή του μονοατομικού ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής από τελείται από μια ισόχωρη ψύξη AB, μια ισοβαρή ψύξη BΓ και τέλος τη μεταβολή ΓΑ, κατά τη διάρκεια της οποίας η πίεση και ο όγκος συνδέονται με τη σχέση  $p = 600 + 400V$  (SI). Όλες οι μεταβολές θεωρούνται αντιστρεπτές. Αν στις καταστάσεις A και Γ το αέριο έχει όγκο  $V_A = 2 \text{ m}^3$  και  $V_\Gamma = 1 \text{ m}^3$ , αντίστοιχα,

α) Να υπολογιστεί το έργο που παράγεται σε ένα κύκλο.

β) Να υπολογιστεί ο συντελεστής απόδοσης της μηχανής.

γ) Να καθοριστεί αν αυξάνεται ή ελαττώνεται η εντροπία του αερίου για κάθε μια από τις επιμέρους μεταβολές.

Δίνεται :  $C_V = \frac{3}{2} R$ .

[Απ : 200J, 0,051]

33. Ιδανικό αέριο βρίσκεται στην κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας A ( $p_A, V_A, T_A$ ) με  $V_A = 0,200 \text{ m}^3$  και  $T_A = 320 \text{ K}$ . Το αέριο εκτονώνεται αντιστρεπτά μέχρι την κατάσταση B ( $p_B, V_B, T_B$ ) με  $V_B = 0,500 \text{ m}^3$ . Αν η αντιστρεπτή μεταβολή περιγράφεται από τον εμπειρικό νόμο  $p = (-5V + 3,5) \cdot 10^5$  (Το V είναι σε  $\text{m}^3$  και το p σε Pa) να βρεθούν :

(α) Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

(β) Η θερμότητα που απορρόφησε το αέριο.

Δίνονται  $\ln 2 = 0,693$ ,  $\ln 5 = 1,61$ .

[Απ : (α) 0, (β) 52500 J]

34. Η κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή του ιδανικού αερίου μιας θερμικής μηχανής περιλαμβάνει τις εξής διαδοχικές μεταβολές: 1. Μια ισόχωρη θέρμανση από ένα σημείο A της ισόθερμης T2 μέχρι ένα σημείο B της ισόθερμης T1 ( $T_1 > T_2$ ). 2. Μια αδιαβατική εκτόνωση από το σημείο B της ισόθερμης T1, μέχρι ένα σημείο Γ της ισόθερμης T2. 3. Μία ισόθερμη συμπίεση από το σημείο Γ μέχρι το σημείο A της ισόθερμης T2. Η απόδοση μιας μηχανής Carnot που λειτουργεί μεταξύ των θερμοκρασιών T1 και T2 είναι 50%. Να υπολογιστεί η απόδοση της θερμικής μηχανής. Δίνεται ότι  $\ln 2 = 0,693$ .

[Απ. 30,7%]