

Υποδείξεις για το 1ο Σετ Ερωτήσεων Τεχνικής Θερμοδυναμικής ΜΗΧΟΠ 2021

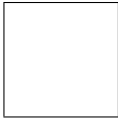
1. Πότε η ενέργεια που διαπερνά τις οριακές επιφάνειες ενός συστήματος θεωρείται θερμότητα και πότε έργο; Αναφέρετε μερικές μορφές θερμότητας και μερικά είδη έργου.



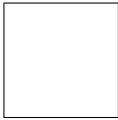
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ Q: Η μορφή ενέργειας που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον του λόγω διαφοράς θερμοκρασίας.

ΕΡΓΟ W: Η μορφή ενέργειας που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας και δεν είναι θερμότητα. Σχετίζεται με κάποια δύναμη.

2. Αναφέρετε τις μορφές ενέργειας που αποτελούν την εσωτερική ενέργεια.



3. Για τα ιδανικά αέρια να αποδειχθεί η σχέση $\bar{c}_P - \bar{c}_V = R_u$



$$\begin{aligned}\bar{h} &= \bar{u} + P\bar{v} = \bar{u} + R_u T \\ \Rightarrow d\bar{h} &= d\bar{u} + R_u dT \\ \Rightarrow \bar{c}_P &= \frac{d\bar{h}}{dT} = \frac{d\bar{u}}{dT} + R_u \Rightarrow \bar{c}_P = \bar{c}_V + R_u\end{aligned}$$

4. Να υπολογισθεί η μεταβολή της ενθαλπίας του αζώτου (kJ/kg) κατά τη θέρμανση του από τους 600 στους (900 + 10*A1) K χρησιμοποιώντας:



4(α): τον πίνακα του αζώτου (A-18)

Στους 600 K $\Rightarrow \bar{h}_1$. Στους 900 + 10A1 $\Rightarrow \bar{h}_2 \Rightarrow \Delta \bar{h}$

Και $\Delta h = \Delta \bar{h} / M_w$

4(β): χρησιμοποιώντας την σχέση της ειδικής θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας (πίνακας A-2(γ)).

$$\Delta \bar{h} = \int_1^2 c_p dT = \int_1^2 (28.9 - 0.1571 \cdot 10^{-2} T + 0.8081 \cdot 10^{-5} T^2 - 2.873 \cdot 10^{-9} T^3) dT = \dots$$

$$\Rightarrow \Delta h = \Delta \bar{h} / M_w \quad [\text{kJ/kg}], \quad T \text{ σε Kelvin !}$$

4(γ): χρησιμοποιώντας την τιμή της c_p στην θερμοκρασία δωματίου (Πίνακας A-2(α))

$$\Delta h = C_p \Delta T \quad [\text{kJ/kg}]$$

5. Ένα κλειστό δοχείο σταθερού όγκου $0,35 \text{ m}^3$ περιέχει 0.9 kg ενός ιδανικού αερίου σε πίεση 150 kPa και θερμοκρασία 280 K . Το αέριο θερμαίνεται έως ότου η θερμοκρασία του φτάσει στους 330 K . Η διεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενθαλπίας του αερίου κατά 23.4 kJ . Να υπολογιστούν (α) οι ειδικές θερμότητες του αερίου, αν η μεταβολή τους στη δοθείσα θερμοκρασιακή περιοχή είναι αμελητέα και (β) να βρεθεί το μοριακό βάρος του αερίου.

Επειδή το αέριο θεωρείται ιδανικό, η μεταβολή της ενθαλπίας του εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία και για σταθερή C_p δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta H = m\Delta h = mC_p\Delta T$$

$$C_p = \frac{\Delta H}{M\Delta T} \quad [\text{kJ/kg/K}]$$

$$C_p - C_v = R$$

$$PV = mRT \Rightarrow R = \frac{PV}{mT} \Rightarrow C_v = C_p - R$$

$$M_w = \frac{R_u}{R}$$

6. Δώστε τους ορισμούς του κρίσιμου και του τριπλού σημείου.

Τριπλό σημείο (t) ορίζεται η κατάσταση μιας καθαρής ουσίας στην οποία συνυπάρχουν τρεις φάσεις (π.χ. στερεά, υγρή και αέρια) σε ισορροπία. Οι βαθμοί ελευθερίας (F) για το τριπλό σημείο ($\Phi = 3$ φάσεις) μιας καθαρής ουσίας είναι μηδέν.

Στο κρίσιμο σημείο $P = P_c$ και $T = T_c$ οι ιδιότητες του κορεσμένου υγρού και του κορεσμένου ατμού είναι ταυτόσημες, δηλ. $v_f = v_g = v_c$. Δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ υγρής και αέριας φάσης.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{T=T_c} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{T=T_c} = 0$$

$$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_{P=P_c} = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_{P=P_c} = 0$$

7. Απουσία πινάκων για το συμπιεσμένο υγρό, πώς υπολογίζεται ο ειδικός του όγκος σε δεδομένη θερμοκρασία και πίεση;

Ιδιότητα κορεσμένου υγρού στη συγκεκριμένη θερμοκρασία T, $y \approx y_{f@T}$

Αλλά $h \approx h_{f@T} + v_{f@T}(P - P_{sat@T})$

8. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος πίνακας για το νερό:

Θερμοκρ. °C	πίεση kPa	ειδ. όγκος m ³ /kg	περιγραφή φάσης ¹
50		$1+(A_1/20)$	
	200		κορεσμένος ατμός
250	400		
110	600		

¹υποφ. υγρό, κορ. υγρό, κορ. ατμός, υπερθ. ατμός, μίγμα με ποιότητα $x = \dots$

- Θερμοκρασία $\Rightarrow$ Πιν. A-4 @ $T = 50^\circ\text{C} \Rightarrow$
 $v_g = 12.026 \text{ m}^3/\text{kg} > v = 4.16 > v_f = 0.001012 \Rightarrow$ κορεσμένη κατάσταση
- $\Rightarrow P = 12.35 \text{ kPa} \quad x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = 0.34$
κ.λπ.

9. Σε ένα κλειστό δοχείο περιέχονται 1,37 kg ψυκτικού R-134a σε κατάσταση κορεσμένου ατμού. Η πίεση στο δοχείο είναι $450 + A_1 \text{ kPa}$. α) Ποια είναι η θερμοκρασία του ψυκτικού; β) Ποιος είναι ο όγκος του δοχείου σε L;

Κορεσμένη κατάσταση $P \Rightarrow T = T_s^\circ\text{C}$ (Πιν. A-12)

Όγκος δοχείου $V = v_g * m$ (σε L)

10. Ποια είναι η φυσική σημασία του συντελεστή συμπιεστότητας, Z ; Υπολογίστε τον ειδικό όγκο ενός αερίου σε $P = 500 \text{ kPa}$ και $T = 473 \text{ K}$, αν για το αέριο αυτό η τιμή του Z είναι 0.8 σε αυτές τις συνθήκες και $R = 0.1433 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

Ο παράγοντας Z αποτελεί μέτρο της απόκλισης ενός πραγματικού αερίου από την ιδανική συμπεριφορά στις ίδιες συνθήκες P και T :

$$z = \frac{Pv}{RT} = \frac{P\bar{v}}{R_u T}$$

11. Σε ένα κλειστό δοχείο σταθερού όγκου περιέχεται ορισμένη ποσότητα ψυκτικού R-134a σε κατάσταση μίγματος κορεσμένου υγρού και ατμού πίεσης $500 + (10 \cdot A_1) \text{ kPa}$. Το δοχείο θερμαίνεται έως ότου το ψυκτικό φτάσει την κρίσιμη κατάσταση. Να υπολογιστεί η κατ' όγκο σύσταση του αρχικού μίγματος σε υγρό και ατμό.

Πίνακας A-1 Μορ. βάρος & Κρίσιμο σημείο του Τετραχλωροαιθανίου R-134a:

$M_r = 102,03 \text{ kg/kmol}$, $T_c = 374,3 \text{ K}$, $P_c = 4,067 \text{ MPa}$ και $\bar{v}_c = 0,1847 \text{ m}^3/\text{kmol}$

Κατάσταση 1: P_1 , κορ. μίγμα $\Rightarrow v_f$ και v_g [m^3/kg]

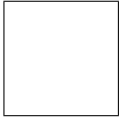
Κατάσταση 2: Κρίσιμο σημείο.

1 $\rightarrow$ 2. Σταθερός όγκος $\Rightarrow v_1 = v_2 = \bar{v}_c / M_r \text{ m}^3/\text{kg}$

$m = m_f + m_g$, $V = V_f + V_g \Rightarrow mv = m_f v_f + m_g v_g$

$$\Rightarrow \frac{m_f}{m} = \frac{v - v_g}{v_f - v_g} \Rightarrow \frac{V_f}{V} = \frac{m_f}{m} \frac{v_f}{v}$$

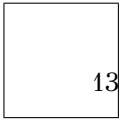
12. Στερεό δοχείο 500 L περιέχει μείγμα υγρού/ατμών κορεσμένου ψυκτικού R-134a σε πίεση 2.5 bar. Αν το συμπιεσμένο υγρό καταλαμβάνει το (5 + A1/10)% του όγκου, να υπολογισθούν η ποιότητα και η ολική μάζα του ψυκτικού στο δοχείο. (Πιν. A-12)



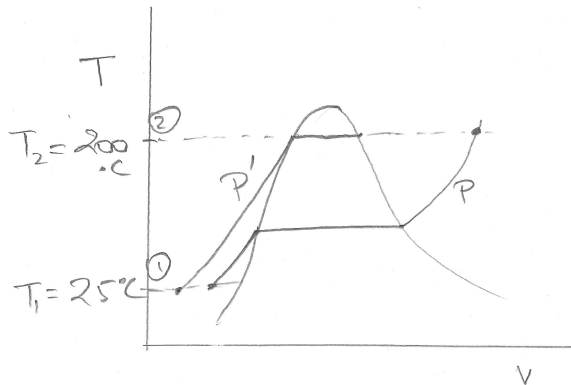
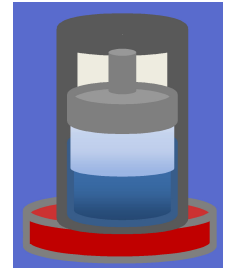
$$P = 2.5 \text{ bar} \Rightarrow v_f, v_g$$

$$V_f/V \Rightarrow V_f \Rightarrow V_g = V - V_f$$

$$m_f = \frac{V_f}{v_f} \quad m_g = \frac{V_g}{v_g} \Rightarrow m = m_f + m_g$$



13. Θέλουμε να ατμοποιήσουμε 1000 kg νερό αρχικής θερμοκρασίας 25° C. Η τελική θερμοκρασία του ατμού πρέπει να είναι 200° C και η διεργασία θα γίνει υπό σταθερή πίεση: το νερό ευρίσκεται μέσα σε ένα κατακόρυφο σύστημα εμβόλου-κυλίνδρου χωρίς τριβές, όπου το βάρος του κυλίνδρου καθορίζει τη σταθερή πίεση. Υπολογίστε την πίεση που θα χρησιμοποιηθεί για την (ενεργειακά) πιο οικονομική διεργασία.



Για κάθε πίεση ακολουθούμε την ισοβαρή: $\Rightarrow \Delta H$ από θέρμανση του υγρού από T_1 σε T_{sat} , εξάτμιση του υγρού και θέρμανση του ατμού από T_{sat} σε T_2 :

$$\Delta H = mC_p (T_{sat@P} - T_1) + m(h_g - h_f)_{@P} + m(h_2 - h_g)_{@P}$$

Για το βέλτιστο δοκιμάζουμε τη διεργασία σε διαφορετικές πιέσεις από την ατμοσφαιρική μέχρι την πίεση κορεσμού για $T_{sat} = T_2$.

14. Υπολογίστε το ποσοστιαίο σφάλμα στον υπολογισμό του ειδικού όγκου αν το διοξείδιο του άνθρακα θεωρηθεί ιδανικό αέριο σε θερμοκρασία 293 K και πίεση 3 MPa.



Για ιδανικά αέρια: $Z = \frac{Pv}{RT}$

Αλλιώς Z από γενικευμένο διάγραμμα συμπιεστότητας, Σχήμα A-15

$$T_c, P_c \text{ από πίνακα A-1} \Rightarrow P_R = \frac{P}{P_c} \quad T_R = \frac{T}{T_c} \Rightarrow Z$$

$$\Rightarrow \% \text{ σφάλμα} = (Z - 1) \times 100$$

15. Να υπολογισθεί ο ειδικός όγκος υπέρθερμων υδρατμών σε πίεση 10 MPa και σε θερμοκρασία $(400 + 0.5 \cdot A1)$ °C, χρησιμοποιώντας (α) την εξίσωση των ιδανικών αερίων (β) το γενικευμένο διάγραμμα συμπίεστικότητας και (γ) τους πίνακες υδρατμού. Υπολογίστε το ποσοστό σφάλματος στις δύο πρώτες περιπτώσεις.



$$\alpha) Pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{P} \quad R = R_{\text{νερό}}$$

$$\beta) \quad Pv = ZRT \Rightarrow v = \frac{ZRT}{P}$$

Κρίσιμες ιδιότητες νερού από Πίν. A-1 $\Rightarrow$ ανηγμένες ιδιότητες $T_R = T/T_c$ $P_R = P/P_c$ (T σε K, P σε MPa)

Z (διάγραμμα A-15) από P_R και T_R (παραμετρικές καμπύλες – παρεμβολή ανάμεσα στις καμπύλες)

γ) $T > T_c \Rightarrow$ Πίνακες υπερθ. ατμού $\Rightarrow v$ (με παρεμβολή)

$$\text{Σφάλματα} = \frac{y_{\text{err}} - y_{\text{true}}}{y_{\text{true}}}$$

16. Μια διάταξη εμβόλου κυλίνδρου χωρίς τριβές περιέχει αρχικά 200 L κορεσμένου υγρού ψυκτικού 134a. Το έμβολο είναι ελεύθερο να κινηθεί έτσι ώστε η πίεση να είναι πάντα 800 kPa. Να υπολογιστεί το έργο που παράγεται όταν το σύστημα θερμαίνεται στους $(50 + A1)$ °C.



1. Αρχική κατάσταση: (κορ. υγρό, P_1 [kPa]) $\Rightarrow$ Πιν. A-12 $\Rightarrow T_1, v_1 = v_f$ [m³/kg].

2. Τελική κατάσταση: (P_2, T_2) $\Rightarrow$ υπέρθερμος ατμός $\Rightarrow v_2$

$$W = m \int_1^2 P dv = mP\Delta v, \quad m = V_0/v_f \quad \Delta v = v_2 - v_f$$

17. Μια πυρηνική ηλεκτροπαραγωγική μονάδα στην Ιαπωνία χρησιμοποιεί ουράνιο-235 και παράγει $1 + (A1/60)$ GW ισχύος με συντελεστή μετατροπής 50% (δηλαδή μόνο το 50% της ενέργειας που παράγεται από τη σχάση σε αυτή τη μονάδα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια). Πόσο πυρηνικό καύσιμο καταναλώνει η μονάδα αυτή σε ένα χρόνο; Η σχάση του ουρανίου-235 δίνει 6.73×10^{10} kJ/kg.



$$m \times 6.73 \times 10^{10} \times 0.5 = 2 \times 10^6 \times 3600 \times 24 \times 365 \Rightarrow m$$

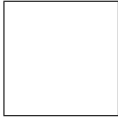
(Προσοχή στις μονάδες!)

18. Υπολογίστε την ενέργεια που θα καταναλώσει ένας ποδηλάτης για να ανέβει μια ανηφόρα διαφοράς υψομέτρου 100 m. Ο ποδηλάτης ζυγίζει 80 kg και το ποδήλατό του 12 kg. Ξεκινάει στην αρχή της ανηφόρας με μηδενική ταχύτητα με σταθερή επιτάχυνση και όταν φθάνει στην κορυφή η ταχύτητά του έχει γίνει 10 km/h. Αγνοήστε τις τριβές και την αντίσταση του αέρα.



$$E = (m + m_c)g\Delta z + (1/2)m\Delta(V^2) \text{ J/kg}$$

19. Ένα μπουκάλι κρασί πέφτει από τον τελευταίο όροφο μιας πολυκατοικίας. Θα αυξάνεται η θερμοκρασία του κρασιού καθώς πέφτει ως αποτέλεσμα της ελάττωσης της δυναμικής του ενέργειας; Αγνοήστε την τριβή του αέρα στο μπουκάλι και δικαιολογήστε την απάντησή σας.



$$\Delta U + \Delta E_k + \Delta E_d = Q - W$$

$$\Delta E_k = -\Delta E_d, \quad Q = W = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 = C\Delta T$$

Ως αποτέλεσμα της ελάττωσης της δυναμικής του ενέργειας αυξάνεται η κινητική ενέργεια του μπουκαλιού και όχι η εσωτερική του ενέργεια

$$\Rightarrow T = \text{const}$$

20. Ένα κλειστό σύστημα υφίσταται έναν κύκλο που αποτελείται από τρεις διεργασίες: (i) αδιαβατική μεταφορά έργου 50 kJ προς το σύστημα· (ii) μεταφορά προς το σύστημα 200 kJ θερμότητας χωρίς παραγωγή/κατανάλωση έργου· (iii) το σύστημα παράγει έργο (10 + A1) kJ και επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Να υπολογιστεί η θερμότητα που ανταλλάσσεται στην τρίτη διεργασία και το καθαρό έργο που παράγεται κατά τη διάρκεια του κύκλου.



i) αδιαβατική μεταφορά έργου 50 kJ προς το σύστημα: $W_1 = -50 \text{ kJ}$ $Q_1 = 0$

(ii) μεταφορά προς το σύστημα 200 kJ θερμότητας χωρίς παραγωγή/κατανάλωση έργου: $W_2 = 0$ $Q_2 = 200 \text{ kJ}$

(iii) το σύστημα παράγει έργο (π.χ. 60) kJ και επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση: $W_3 = 60 \text{ kJ}$

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 0 \quad W_{\text{net}} = W_1 + W_2 + W_3 = 10 \quad Q_{\text{net}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\Delta U = Q_{\text{net}} - W_{\text{net}} \Rightarrow Q_{\text{net}} = \Delta U - W_{\text{net}} = W_{\text{net}} \Rightarrow Q_3 = Q_{\text{net}} - Q_1 - Q_2$$

21. Μία μονωμένη συσκευή έμβολου-κυλίνδρου περιέχει 5 L κορεσμένο νερό σε πίεση 150 kPa. Το νερό αναδεύεται από φτερωτή, ενώ θερμαίνεται από μια ηλεκτρική αντίσταση για 45 min. Στην διάρκεια της διεργασίας εξατμίζεται το μισό υγρό.



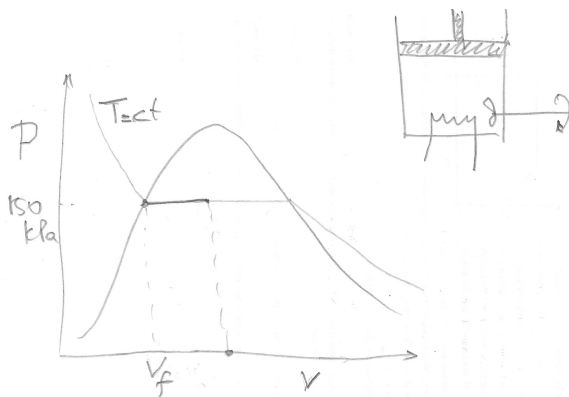
(α) Η διεργασία να παρασταθεί σε διάγραμμα P-v ως προς τις γραμμές κορεσμού.

(β) Ποια είναι η θερμοκρασία του συστήματος κατά τη διεργασία αυτή;

Κατάσταση 1: κορεσμ. υγρό, $P = 150 \text{ kPa}$

Κατάσταση 2: κορεσμ. μίγμα, $P = 150 \text{ kPa}$, $x = 0.5$

Εφόσον ξεκινάμε από κορεσμένη κατάσταση (κορ. νερό) και καταλήγουμε σε μίγμα με $x = 0.5$, η πίεση και η θερμοκρασία παραμένουν σταθερές $\Rightarrow P_{\text{sat}} \Rightarrow T_{\text{sat}}$



22. Αν στην προηγούμενη άσκηση το ηλεκτρικό ρεύμα στην αντίσταση έχει ένταση 8 A και το έργο της φτερωτής είναι 300 kJ, να υπολογισθεί η ηλεκτρική τάση στην αντίσταση.

$$\text{Μονωμένο σύστημα} \Rightarrow Q = 0$$

$$\text{Έργο θέρμανσης} \quad W_{net} = -W_{elec} - W_{stir} = -UIt - W_{stir}$$

$$\Delta U = x \times m(h_g - h_f)_{@P}$$

$$\text{1ος νόμος:} \quad \Delta U = Q - W_{net} \Rightarrow \quad \Rightarrow \quad t$$

Προσοχή στις μονάδες !