



1η Ομάδα Ασκήσεων

Βαθμός

## ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ Θερμοδυναμική

Προθεσμία υποβολής : Τρίτη, 26 Μαρτίου, 2024

|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| Όνομα:           | Θεοχαρή Κυριακή |
| Αριθμός μητρώου: | 2018050043      |
| Σχολή:           | ΧΗΜΗΤΕΡ         |

Μπορείτε να τυπώσετε τις ερωτήσεις. Απαντήστε χειρόγραφα στο χώρο ανάμεσα στις ερωτήσεις, στην πίσω πλευρά της κάθε σελίδας, ή σε δικό σας χαρτί. Ψάξτε στο βιβλίο και στο eClass για δεδομένα που πιθανόν να λείπουν από τις ερωτήσεις. Προσοχή στις (σωστές) μονάδες. Όλες οι ερωτήσεις είναι ισοδύναμες, με 10 μονάδες για τη σωστή απάντηση, ενώ μη πλήρεις απαντήσεις θα παίρνουν ανάλογα λιγότερες μονάδες. Παρακαλώ να σκανάρετε τις απαντήσεις και να τις αναρτήσετε στις «Εργασίες» του eClass μέχρι την προθεσμία υποβολής. Η βαθμολογία των ασκήσεων αυτών θα συνεισφέρει στον τελικό βαθμό του μαθήματος μόνο θετικά με 10%.

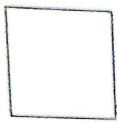
Κοιτάξτε τις διαφάνειες των διαλέξεων αν δεν έχετε παραλάβει ακόμα το βιβλίο. Οι Πίνακες ιδιοτήτων είναι αναρτημένες στο eClass/Εγγραφα/.  
Η παράμετρος « $A_1$ » στις ασκήσεις αντιστοιχεί στον αριθμό που σχηματίζουν τα δύο τελευταία ψηφία του αριθμού μητρώου σας, όπως καταγράφεται στην πρώτη σελίδα, και πρέπει να αντικατασταθεί από αυτόν.

$$A_1 = 7$$

**Μην ξεχάσετε να γράψετε το όνομα, το επώνυμο, τον αριθμό μητρώου σας και τη σχολή σας. Αναφέρετε σαφώς όλες τις παραδοχές σας. Προσοχή στις σωστές μονάδες!**

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

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



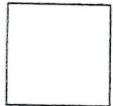
**Θερμότητα** ○ Ορίζεται ως η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρεται μεταξύ σωμάτων (ή ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του) λόγω μιας διαφοράς θερμοκρασίας.

**Έργο** ○ Αποδοθεί μια μεταφορά ενέργειας που σχετίζεται με δύναμη ή αλλαγή ενέργειας από αιώσεως.

Μορφές Ενέργειας — Δεξιότητες

- Είδη Έργου ○
- Έργο μετατόπισης σώματος
  - Ηλεκτρικό έργο
  - Έργο εκτόξευσης

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



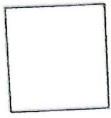
Αιόθετη Ενέργεια → Σχετίζεται με την κίνηση των μορίων

Ποτανατική Ενέργεια → Σχετίζεται με την θέση ενός συστήματος

Χημική Ενέργεια → Σχετίζεται με τους ατομικούς δεσμούς σε ένα μόριο

Πυρηνική Ενέργεια → Σχετίζεται με τους πυρηνικούς δεσμούς εντός του πυρήνα ενός ατόμου.

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



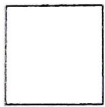
Κρίσιμο σημείο

Είναι όταν οι καταστάσεις υπερκρίνου υγρού και υπερκρίνου ατμού είναι τεταμένες στην  $v_f = v_g = v_c$  και δεν υπάρχει διαύλιση μεταξυ υγρής και αέριας φάσης

Τριπλό σημείο

Είναι η κατάσταση μιας καθαράς ουσίας στην οποία συνυπάρχουν 3 φάσεις (υγρή, αέρια) σε ισορροπία.

5. Ποια είναι η ποιότητα του νερού σε (α)  $T = 200^\circ\text{C}$  και  $P = 100000 \text{ Pa}$  και (β)  $T = 374.14^\circ\text{C}$  και  $P = 22.064 \text{ MPa}$ ; Εξηγήστε.



α) Δεδομένα  
 $T = 200^\circ\text{C}$   
 $P = 0.1 \text{ MPa}$

Ναι

Από πίνακα A4 για  $T = 200^\circ\text{C} \rightarrow P_{\text{sat}} = 1.5538 \text{ MPa}$   
 $P = 0.1 \text{ MPa} \Rightarrow$  Άρα υπέρθετος ατμός

Οατε η ποιότητα δε ορίζεται.

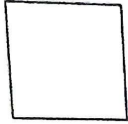
β) Δεδομένα  
 $T = 374.14^\circ\text{C}$   
 $P = 22.064 \text{ MPa}$

Ναι

Από πίνακα A4 για  $T = 374.14^\circ\text{C} \rightarrow P_{\text{sat}} = 22.09 \text{ MPa} \approx P = 22.064 \text{ MPa} \Rightarrow$  Άρα κρίσιμο σημείο

Οατε η ποιότητα δε ορίζεται.

6. Πώς υπολογίζονται οι τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών μιας καθαρής ουσίας όταν η ακριβής κατάσταση της δεν υπάρχει στον διαθέσιμο πίνακα ιδιοτήτων; Υπολογίστε επακριβώς την εσωτερική ενέργεια και την ενθαλπία του υπέρθερμου υδρατμού σε θερμοκρασία 357°C και πίεση 6 MPa.



Από τη γραμμική παρεμβολή

Δεδομένα:  $T = 357^\circ\text{C}$ ,  $P = 6 \text{ MPa}$

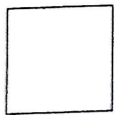
Από πίνακα A6 καινο γραμμική παρεμβολή από  $T = 350^\circ\text{C}$  ως  $T = 400^\circ\text{C}$

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{u - u_1}{u_2 - u_1} \Rightarrow \frac{357 - 350}{400 - 350} = \frac{u - 2789.6}{2892.8 - 2789.6} \Rightarrow u = 2804.1 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{h - h_1}{h_2 - h_1} \Rightarrow \frac{357 - 350}{400 - 350} = \frac{h - 3043.0}{3177.2 - 3043.0} \Rightarrow h = 3061.8 \text{ kJ/kg}$$

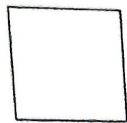
Άρα η εσωτερική ενέργεια είναι  $2804.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  και η ενθαλπία είναι  $3061.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

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



Γίνεται μια προσεγγιστική της απουσίας των δεδομένων από διαγράμμο το συμπιεσμένο υγρό ως κορεσμένο υγρό σε μια δεδομένη θερμοκρασία ( $y \cong y_{\text{sat}}$  όπου  $y = u, h, s$ ). Αυτό γίνεται επειδή οι ιδιότητες του συμπιεσμένου υγρού εξαρτώνται κυρίως από τη θερμοκρασία  $T$  σε σχέση με την  $P$ .

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



(α) τον πίνακα του αζώτου (A-18)

στους 600K  $\rightarrow 17563 \text{ kJ/mol}$

στους 970K  $\rightarrow 24151 \text{ kJ/mol}$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{h} &= h_{T_2} - h_{T_1} \\ &= 24151 - 17563 \\ &= 11588 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta h = \frac{\Delta \bar{h}}{M}$$

$$\Delta h = \frac{11588}{14}$$

$$\Delta h = 827.7 \text{ kJ/kg}$$

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

$c_p = m(c_p = a + bT + cT^2 + dT^3)$  όπου από πίνακα A-2 για αζώτο το α, b, c, d είναι α-28, 900,  $b = -0.1571 \cdot 10^{-2}$ ,  $c = 0.8081 \cdot 10^{-5}$  και  $d = 2.8730 \cdot 10^{-9}$ .

$$\text{Άρα } c_p = 28.900 - 0.1571 \cdot 10^{-2} T^2 + 0.8081 \cdot 10^{-5} T^3 + 2.8730 \cdot 10^{-9} T^4$$

$$\Delta \bar{h} = \int_{600}^{970} (28.900 - 0.1571 \cdot 10^{-2} T^2 + 0.8081 \cdot 10^{-5} T^3 + 2.8730 \cdot 10^{-9} T^4) dT = 12655.5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta h = \frac{12655.5}{14} = 904 \text{ kJ/kg}$$

(γ) την τιμή της  $c_p$  στην θερμοκρασία δωματίου (Πίνακας A-2(α))

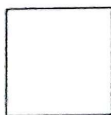
Η τιμή της  $c_p$  στον πίνακα A-2α για το αζώτο ( $M$ ) είναι  $1039.0 \text{ kJ/kg}$

$$\Delta h = c_p \Delta T$$

$$\Delta h = 1039.0 \cdot (970 - 600)$$

$$\Delta h = 384,43 \text{ kJ/kg}$$

9. Ένα κλειστό δοχείο σταθερού όγκου  $0.35 \text{ m}^3$  περιέχει  $0.9 \text{ kg}$  ενός ιδανικού αερίου σε πίεση  $150 \text{ kPa}$  και θερμοκρασία  $280 \text{ K}$ . Το αέριο θερμαίνεται έως ότου η θερμοκρασία του φτάσει στους  $330 \text{ K}$ . Η διεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενθαλπίας του αερίου κατά  $23.4 \text{ kJ}$ . Να υπολογιστούν οι ειδικές θερμότητες του αερίου, αν η μεταβολή τους στη δοθείσα θερμοκρασιακή περιοχή είναι αμελητέα, και το μοριακό βάρος του αερίου.



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

$$\Rightarrow c_p = \frac{\Delta H}{m \Delta T} = \frac{23.4}{0.9 \cdot (330 - 280)} = 0.52 \text{ kJ/kgK}$$

$$PV = mRT \Rightarrow R = \frac{PV}{mT}$$

$$R = \frac{150 \cdot 0.35}{0.9 \cdot 280}$$

$$R = 0.21 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_p - c_v = R$$

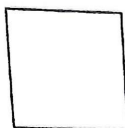
$$\Rightarrow c_v = 0.52 - 0.21$$

$$c_v = 0.31 \text{ kJ/kgK}$$

$$M_r = \frac{R_u}{R} = \frac{8.3145}{0.21} = 39.59$$

$$\Rightarrow M_r = 39.59$$

10. Να βρεθούν οι τιμές της εσωτερικής ενέργειας και της ενθαλπίας μιας μάζας 25 kg ψυκτικού R-134a που βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση σε ένα δοχείο όγκου  $[0.25 - (0.00175 \cdot A1)] \text{ m}^3$  και σε θερμοκρασία  $[40 + (0.5 \cdot A1)]^\circ \text{C}$ .



Διδρυμ

$m = 25 \text{ kg}$

$V = 0.2377 \text{ m}^3$

$T = 43.5^\circ \text{C} \Rightarrow T = 316.8 \text{ K}$

Παπ

Αρκεί να υπολογιστεί ο ειδικός όγκος  $v = \frac{V}{m} = \frac{0.2377 \text{ m}^3}{25 \text{ kg}} = 9.51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

$9.51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

Αρκεί να υπολογιστεί ο ειδικός όγκος  $v = \frac{V}{m} = \frac{0.2377 \text{ m}^3}{25 \text{ kg}} = 9.51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

$\frac{43.5 - 42}{44 - 42} = \frac{v_f - 0.0008780}{0.0008347 - 0.0008780} \Rightarrow v_f = 8.83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$

$v = v_f + x(v_g - v_f) \Rightarrow 9.51 \cdot 10^{-3} = 8.83 \cdot 10^{-4} + x(0.018 - 8.83 \cdot 10^{-4}) \Rightarrow x = 0.48$

Για την ενθαλπία

$\frac{43.5 - 42}{44 - 42} = \frac{h_f - 108.25}{112.22 - 108.25} \Rightarrow h_f = 111.46 \text{ kJ/kg}$

$\frac{43.5 - 42}{44 - 42} = \frac{h_g - 269.14}{370.01 - 269.14} \Rightarrow h_g = 269.78 \text{ kJ/kg}$

$h = h_f + x(h_g - h_f)$

$h = 111.46 + 0.48(269.78 - 111.46)$

$h = 187.46 \text{ kJ/kg} \cdot 25$

$h = 4686.46 \text{ kJ}$

11. Να συμπληρωθεί ο ακόλουθος πίνακας για το νερό:

| Θερμοκρ.<br>°C | πίεση<br>kPa | ειδ. όγκος<br>m <sup>3</sup> /kg | περιγραφή φάσης <sup>1</sup> |
|----------------|--------------|----------------------------------|------------------------------|
| 138.86         | 350          | 0.001079                         | κορεσμένο υγρό               |
| 250            | 3973.6       | 0.04                             | υπερθερμικό υγρό             |
| 120            | 198          | 0.8919                           | κορεσμένος ατμός             |
| 110            | 150          | 0.001051                         | υποψυχτικό υγρό              |
| 150            | 1400         | 0.001144                         | υπερθερμικό υγρό             |

<sup>1</sup> υποψ. υγρό, κορ. υγρό, κορ. ατμός, υπερθ. ατμός, μίγμα με ποιότητα x ...

α)  $P = 350 \text{ kPa} = 0.35 \text{ MPa} \Rightarrow T_{\text{sat}} = 138.86^\circ \text{C} = T$   
 $v = v_f = 0.001079 \text{ m}^3/\text{kg}$

β)  $T = 120^\circ \text{C}$   
 $P = P_{\text{sat}} = 0.19853 \text{ MPa}$   
 $v = v_g = 0.8919 \text{ m}^3/\text{kg}$

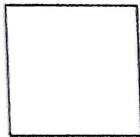
γ)  $T = 150^\circ \text{C}$   
 $P = 1400 \text{ kPa} = 1.4 \text{ MPa}$   
 $v = v_f = 0.001144 \text{ m}^3/\text{kg}$

δ)  $T = 250^\circ \text{C}$   
 $v = 0.04 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow v_f = 0.001251 < v = 0.04 < v_g = 0.05$

Αρκεί να υπολογιστεί ο ειδικός όγκος  $v = \frac{V}{m} = \frac{0.2377 \text{ m}^3}{25 \text{ kg}} = 9.51 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$

ε)  $T = 110^\circ \text{C}$   
 $P = 150 \text{ kPa} = 0.15 \text{ MPa} \Rightarrow P_{\text{sat}} = 0.1433 \text{ MPa}$   
 $P = 0.15 \text{ MPa} > P_{\text{sat}} = 0.1433 \text{ MPa}$   
 $v = v_f = 0.001051 \text{ m}^3/\text{kg}$

13. Στερεό δοχείο (450+A1) 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)



Από πίνακα βρίσκω  $v_f$  και  $v_g$  στα  $P=0,25 \text{ MPa}$  με γραμμική παρεμβολή ανά  $P=0,24$  με  $0,28 \text{ MPa}$

$$\frac{P_0 - P_1}{P_2 - P_1} = \frac{v_f - v_{f1}}{v_{f2} - v_{f1}} \Rightarrow \frac{0,25 - 0,24}{0,28 - 0,24} = \frac{v_f - 0,0007618}{0,0007618 - 0,0007618} \Rightarrow v_f = 7,64 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\frac{P - P_1}{P_2 - P_1} = \frac{v_g - v_{g1}}{v_{g2} - v_{g1}} \Rightarrow \frac{0,25 - 0,24}{0,28 - 0,24} = \frac{v_g - 0,0834}{0,0714 - 0,0834} \Rightarrow v_g = 0,08053 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$x = \frac{m_g}{m_{\text{tot}}} \text{ όπου } m_{\text{tot}} = m_g + m_f \text{ ή } v_f = \frac{V_f}{m_f} \text{ και } v_g = \frac{V_g}{m_g}$$

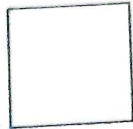
$$\text{Από την ευφωκιστική: } v_{\text{tot}} = 0,457 \text{ m}^3 \quad v_f = 5,71 \cdot v_{\text{tot}}$$

$$\text{Οπότε } m_f = \frac{0,057 \cdot 0,457}{7,64 \cdot 10^{-4}} = 34,1 \text{ kg} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} m_{\text{tot}} = 39,45 \text{ kg}$$

$$m_g = \frac{0,443 \cdot 0,457}{0,08053} = 5,35 \text{ kg}$$

$$\text{Άρα } x = \frac{5,35}{39,45} = 0,1356 \text{ ή } 13,56\%$$

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



Δίδονται: Από ΠΑΙ υπολογίζεται το  $R = 0,4615 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ,  $T_c = 647,1 \text{ K}$

$$P = 10 \text{ MPa}$$

$$\text{και } P_c = 22,06 \text{ MPa}$$

$$T = 403,5^\circ \text{C}$$

$$\alpha) P = \frac{RT}{V} \Rightarrow 10000 = \frac{0,4615 (403,5 + 273)}{V} \Rightarrow V = 0,03 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\beta) T_c = \frac{T}{T_r} = \frac{403,5 + 273}{647,1} = 1,045 \quad \text{Από Διάγραμμα} \Rightarrow Z = 0,8$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{10 \text{ MPa}}{22,06 \text{ MPa}} = 0,45$$

$$V = 2 \cdot \frac{R \cdot T}{P} = \frac{0,8 \cdot 0,4615 \cdot 647,1}{10 \cdot 10^5} = 0,025 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\gamma) \left. \begin{aligned} P &= 10 \text{ MPa} \\ T &= 403,5^\circ \text{C} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Παρεχόμενα διαγράμματα } 400 \text{ and } 450^\circ \text{C}$$

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{V_1 - V_1'}{V_2' - V_1'} \Rightarrow \frac{403,5 - 400}{450 - 400} = \frac{V - 0,02641}{0,02641 - 0,00841} \Rightarrow V = 0,02641 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Σφάλμα για αερίωση } \sigma = \frac{0,025 - 0,02641}{0,025} \cdot 100\% = 5,6\%$$

$$\text{Σφάλμα για υδρατμούς } \sigma = \frac{0,025 - 0,02641}{0,025} \cdot 100\% = 5,6\%$$