

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:

**«Ορολογία Σχετική με τα Ισοζύγια Ενέργειας,
Μορφές Ενέργειας που Συμπεριλαμβάνονται στα
Ισοζύγια Ενέργειας, Ισοζύγια Ενέργειας που δεν
Περιλαμβάνουν Αντίδραση»**

**Διδάσκοντες:
Γκαϊντατζής Γεώργιος
Δούναβης Αθανάσιος**

Ξάνθη, Εαρινό Εξάμηνο 2025

Παράδειγμα 9.1. Εξοικονόμηση Ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική για κατοικίες, εμπορικά κτίρια, και ούτω καθεξής. Ποιο το κλάσμα μείωσης του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας αν αντικαταστήσουμε ένα τζάμι 3 ft πλάτος και 5 ft ύψος με ένα μικρότερο 2 ft πλάτος και 3 ft ύψος; Υποθέστε ότι η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι 25°F και η εσωτερική θερμοκρασία είναι 75°F. Για αυτό το παράδειγμα υποθέτουμε $U^* = 5.5 \text{ Btu/(hr)} (\text{ft}^2) (^\circ\text{F})$.

Αν το κόστος της ενέργειας είναι \$ 9,50 / 10^6 Btu , πόσα δολάρια το μήνα (30 ημέρες) εξοικονομούνται αλλάζοντας το μέγεθος του παραθύρου, εάν οι δεδομένες θερμοκρασίες είναι σταθερές;

Λύση

Μπορείτε να υπολογίσετε το $\dot{Q}$ για κάθε περίπτωση χρησιμοποιώντας την Εξίσωση (9.1), αλλά είναι πιο εύκολο να υπολογίσετε την αναλογία:

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_2} = \frac{U_2^* A_2 \Delta T_2}{U_1^* A_1 \Delta T_1} = \frac{(2)(3)}{(3)(5)} = 0.40$$

Το $\dot{Q}$ από μόνο του είναι αρνητικό, αλλά η εξοικονόμηση θα είναι θετική.

$$\text{Εξοικονόμηση} = - \frac{5.5 \text{ Btu}}{(\text{hr})(\text{ft}^2)(^\circ\text{F})} \left| \frac{(3)(5)\text{ft}^2}{(3)(5)\text{ft}^2} \right| \left| \frac{(25-75)^\circ\text{F}}{(25-75)^\circ\text{F}} \right| \left| \frac{\$9.50}{10^6 \text{ Btu}} \right| \left| \frac{24 \text{ hr}}{1 \text{ ημέρα}} \right| \left| \frac{30 \text{ ημέρες}}{1 \text{ μήνα}} \right| \left| \frac{0.6}{1} \right| = \$17/\text{μήνα}$$

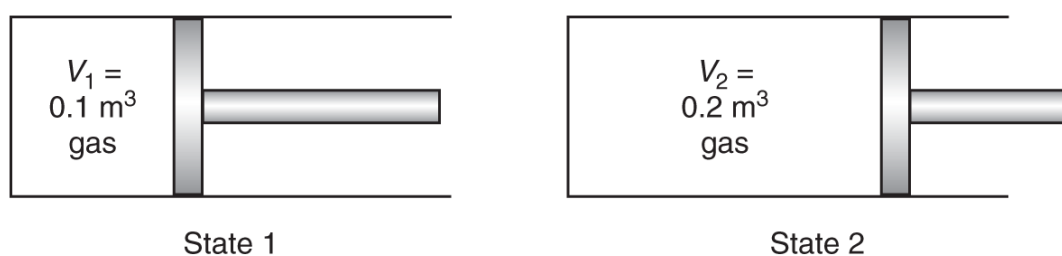
Παράδειγμα 9.2 Υπολογισμός Μηχανικού Έργου από Αέριο σε Έμβολο, που Δείχνει Πως η Διαδρομή Επιδρά στην Τιμή του Έργου

Έστω ότι ένα ιδανικό αέριο στους 300 K και 200 kPa περιέχεται σε κύλινδρο με τη βοήθεια ενός εμβόλου που κινείται χωρίς τριβές (ιδανικά), και ότι το αέριο κινεί αργά το έμβολο, με αποτέλεσμα ο όγκος του εμβόλου να αυξάνει από 0.1 στα 0.2 m³. Εξετάστε το Σχήμα E9.2α. Υπολογίστε το έργο που προσφέρεται από το αέριο στο έμβολο (το μόνο κινούμενο μέρος του εμβόλου) αν ακολουθηθούν δύο διαφορετικές διαδρομές για την μετάβαση από την αρχική κατάσταση στην τελική:

Διαδρομή A: η εκτόνωση πραγματοποιείται υπό σταθερή πίεση (**ισοβαρής**) ($p = 200 \text{ kPa}$)

Διαδρομή B: η εκτόνωση πραγματοποιείται υπό σταθερή θερμοκρασία (**ισόθερμη**) ($T = 300 \text{ K}$)

Σχήμα E9.2^a



Gas: Αέριο

State 1: Κατάσταση 1

State 2: Κατάσταση 2

Λύση

Όπως θα εξηγήσουμε με περισσότερες λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 14, για να είναι έγκυροι οι παρακάτω υπολογισμοί, το έμβολο δεν πρέπει να παρουσιάζει τριβές κατά την κίνησή του, ενώ η διεργασία θα πρέπει να είναι ιδανική (να πραγματοποιείται με αργό ρυθμό). Διαφορετικά, είναι δυνατό κάποια ποσότητα του έργου που υπολογίζουμε να μετατραπεί σε διαφορετική μορφή ενέργειας που δεν μετράται. Το σύστημα είναι το αέριο. Το έμβολο ανήκει στο περιβάλλον. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση (9.2) για να υπολογίσετε το έργο, αλλά επειδή δεν γνωρίζετε τη δύναμη που εξασκήθηκε από το αέριο στο έμβολο, θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε την πίεση (δύναμη/επιφάνεια) σαν κινητήριο δύναμη, αφού δεν γνωρίζετε την επιφάνεια του εμβόλου, και το p ασκείται στην επιφάνεια του εμβόλου. Όλα τα δεδομένα που απαιτούνται δίνονται στην εκφώνηση του προβλήματος. Ας επιλέξουμε σαν βάση το ποσό του αερίου που δίνεται στην εκφώνηση του προβλήματος:

$$n = \frac{200 \text{ kPa}}{8.314 \text{ (kJ mol}^{-1}\text{K}^{-1})} \left| \frac{0.1 \text{ m}^3}{300 \text{ K}} \right| = 0.00802 \text{ kg mol}$$

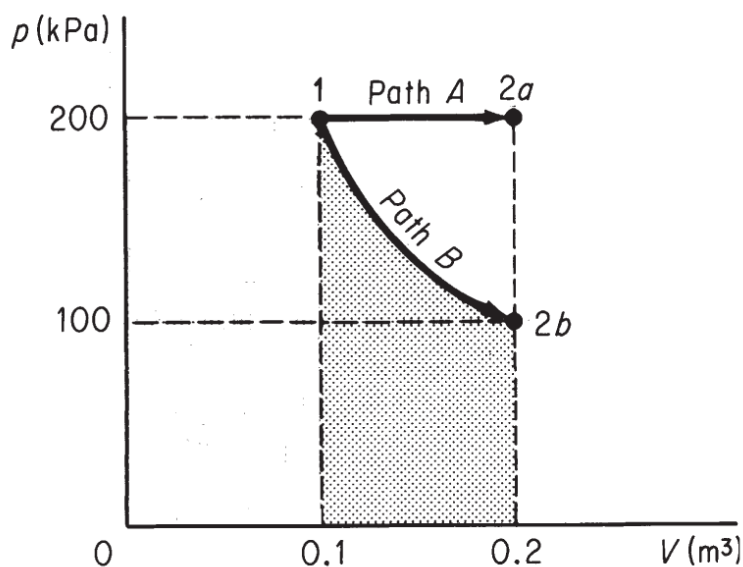
Το Σχήμα E9.2β απεικονίζει τις δύο διεργασίες: την ισοβαρή και την ισόθερμη.

Το μηχανικό έργο που παράγει το σύστημα στο έμβολο (μετακινώντας τα όρια του συστήματος) ανά μονάδα επιφάνειας είναι

$$W = - \int_{\text{κατάσταση 1}}^{\text{κατάσταση 2}} \left(\frac{F}{A} \right) (Ads) = - \int_{V_1}^{V_2} p \, dV$$

Παρατηρήστε ότι το έργο που παράγει το σύστημα είναι *αρνητικό*. Αν στο παραπάνω ολοκλήρωμα το dV είναι θετικό (όπως στην εκτόνωση), η τιμή του ολοκληρώματος θα είναι θετική και το W αρνητικό (το έργο παράγεται από το σύστημα προς το περιβάλλον). Αν το dV είναι αρνητικό, το W θα είναι θετικό (προσφέρεται έργο στο σύστημα).

Σχήμα Ε9.2β



Path A: Διαδρομή Α

Path B: Διαδρομή Β

Διαδρομή Α (διεργασία σταθερής πίεσης)

$$\begin{aligned}
 W &= -p \int_{V_1}^{V_2} dV = -p(V_2 - V_1) \\
 &= \frac{200 \times 10^3 \text{ Pa}}{1 \text{ (M}^2\text{)(Pa)}} \left| \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ (M}^2\text{)(Pa)}} \right| \frac{0.1 \text{ m}^3}{1 \text{ (N)(m)}} = -20 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Διαδρομή Β (διεργασία σταθερής θερμοκρασίας)

Το αέριο είναι ιδανικό. Τότε

$$\begin{aligned}
 W &= - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \\
 W &= \frac{0.00802 \text{ kgmol}}{1 \text{ (kgmol)(K)}} \left| \frac{8.314 \text{ kJ}}{1 \text{ (kgmol)(K)}} \right| \frac{300 \text{ K}}{1} \ln 2 = -20 \ln 2 = -13.86 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

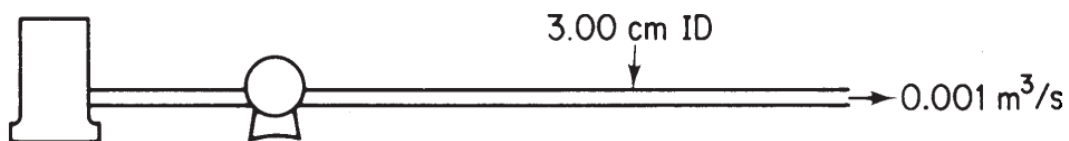
Στο Σχήμα Ε9.2β τα δύο ολοκληρώματα αντιστοιχούν στις επιφάνειες κάτω από τις αντίστοιχες καμπύλες στα διαγράμματα p-V. Σε ποια διαδρομή παράγει το σύστημα περισσότερο έργο;

Στη συνέχεια γίνεται συζήτηση για τρεις μορφές ενέργειας που μπορούν να αποθηκευτούν, δηλαδή, διατηρούνται. Αυτές είναι η κινητική ενέργεια, η δυναμική ενέργεια, και η εσωτερική ενέργεια.

Παράδειγμα 9.3 Υπολογισμός της Ειδικής Κινητικής Ενέργειας ενός Κινούμενου Ρευστού

Νερό αντλείται από μία δεξαμενή αποθήκευσης μέσω ενός σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 3.00 cm με ρυθμό 0.001 m³/s. Βλέπε Σχήμα E9.3. Πόση είναι η ειδική κινητική ενέργεια του νερού στον σωλήνα;

Σχήμα E9.3



Λύση

Βάση: 0.001 m³ που αντιστοιχεί σε 1 s

Υποθέστε ότι

$$\rho = \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3}$$

και

$$r = \frac{1}{2} (3.00) = 1.50 \text{ cm}$$

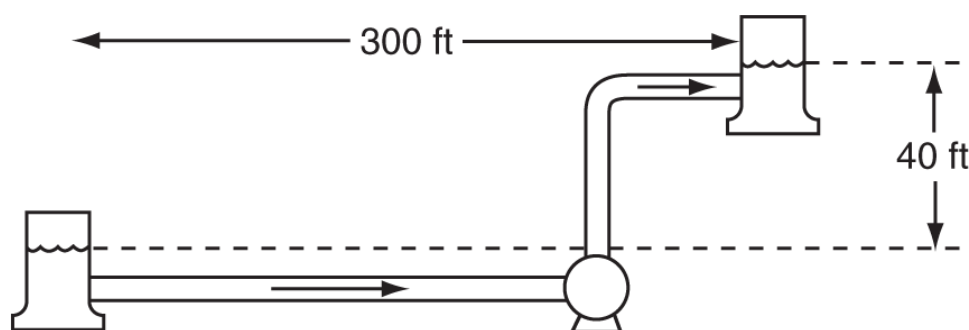
$$u = \frac{0.001 \text{ m}^3}{\text{s}} \left| \frac{1}{\pi (1.50)^2 \text{ cm}^2} \right| \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^2 = 1.415 \text{ m/s}$$

$$\text{KE} = \frac{1}{2} \left| \left(\frac{1.415 \text{ m}}{\text{s}} \right)^2 \right| \left| \frac{1 \text{ (N)(s}^2\text{)}}{1 \text{ (kg)(m)}} \right| \left| \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ (N)(m)}} \right| = 1.00 \text{ J/kg}$$

Παράδειγμα 9.4 Υπολογισμός της Δυναμικής Ενέργειας του Νερού

Νερό αντλείται από το ένα δεξαμενή σε άλλο που βρίσκεται σε απόσταση 300 ft, όπως φαίνεται στο Σχήμα E9.4. Το επίπεδο του νερού στο δεύτερο δεξαμενή βρίσκεται 40 ft πάνω από το επίπεδο του νερού του πρώτου δεξαμενή. Πόση είναι η αύξηση της ειδικής δυναμικής ενέργειας του νερού σε Btu/lb_m;

Σχήμα E9.4



Λύση

Αφού σας ζητείται να υπολογίσετε την δυναμική ενέργεια μίας λίβρας νερού και όχι ολόκληρου του δεξαμενή, μπορείτε να υποθέσετε ότι τα 40 ft που αντιστοιχούν στη διαφορά ύψους δεν μεταβάλλονται. Σκεφτείτε μία μπάλα του πινγκ-πονγκ πάνω στο επάνω μέρος του νερού.

Ας πάρουμε σαν επίπεδο αναφοράς το επίπεδο του νερού στο πρώτο δεξαμενή. Τότε $h = 40$ ft.

$$\Delta \widehat{PE} = \frac{32.2 \text{ ft}}{\text{s}^2} \left| \frac{(40-0) \text{ ft}}{32.2 (\text{lb}_m)(\text{ft})} \right| \frac{1 (\text{lb}_f)(\text{s}^2)}{778.2 (\text{ft})(\text{lb}_f)} = 0.0514 \text{ Btu/lb}_m$$

Παράδειγμα 9.5 Υπολογισμός της Μεταβολής της Εσωτερικής Ενέργειας με Χρήση της Θερμοχωρητικότητας

Πόση είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας όταν 10 kg mol αέρα ψύχονται από του 60°C στους 30°C σε μία ισόχωρη διεργασία;

Λύση

Επειδή δεν γνωρίζετε την τιμή του C_v , πρέπει να αναζητήσετε την τιμή του. Είναι $2.1 \times 10^4 \text{ J/(kg mol)} (^\circ\text{C})$ στο συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Χρησιμοποιήστε την Εξίσωση (9.6) για να κάνετε τον εξής υπολογισμό:

$$\begin{aligned}\Delta U &= 10 \text{ kg} \int_{60^\circ\text{C}}^{30^\circ\text{C}} \left(2.1 \times 10^4 \frac{\text{J}}{(\text{kg mol})(^\circ\text{C})} \right) dT \\ &= 2.1 \times 10^5 (30 - 60) = - 6.3 \times 10^6 \text{ J}\end{aligned}$$

Παράδειγμα 9.6 Υπολογισμός της Μεταβολής της Ενθαλπίας

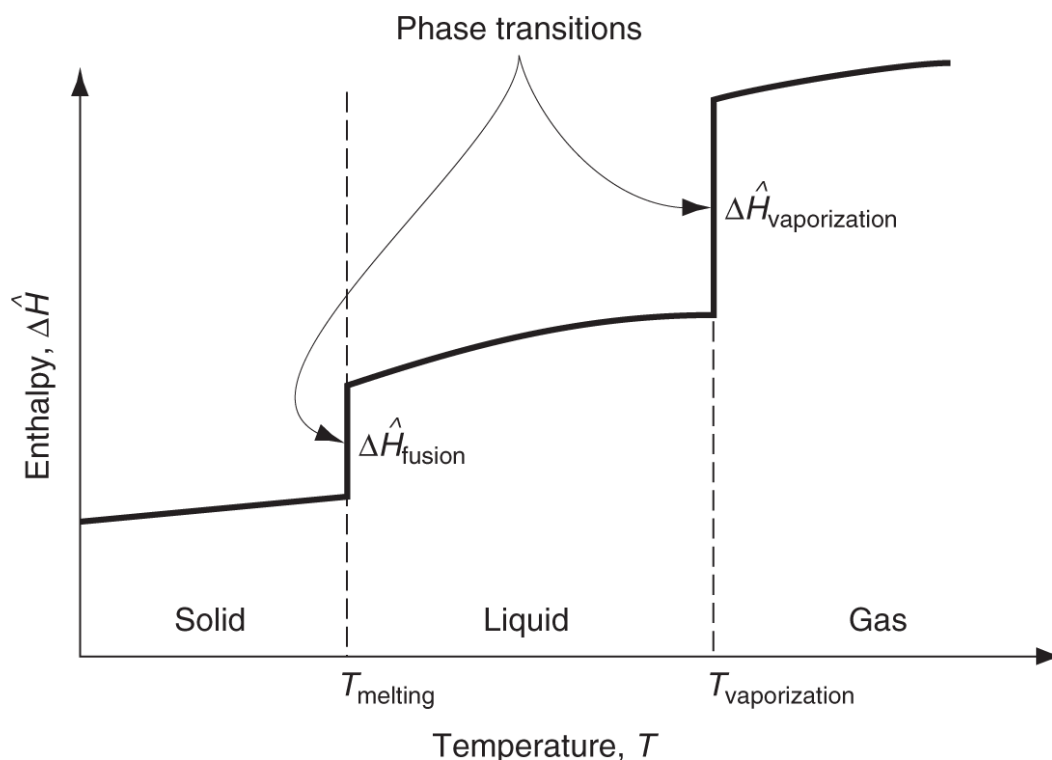
Υπολογίστε την μεταβολή της ενθαλπίας για τη διεργασία του Παραδείγματος 9.5, θεωρώντας ότι αναφερόμαστε σε ισοβαρή διεργασία.

Λύση

Για το παράδειγμα θα πρέπει να αναζητήσετε την τιμή του C_p σε πίεση 1 atm. Υποθέστε ότι η τιμή αυτή είναι σταθερή σε όλο το θερμοκρασιακό εύρος. Ισούται με $2.9 \times 10^4 \text{ J/(kg mol)} (^\circ\text{C})$ στους 45°C (από τους πίνακες των φυσικών ιδιοτήτων). Χρησιμοποιείστε την Εξίσωση (9.11) για να κάνετε τους υπολογισμούς:

$$\Delta H = 10 \text{ kg} \int_{60^\circ\text{C}}^{30^\circ\text{C}} \left(2.9 \times 10^4 \frac{\text{J}}{(\text{kg mol})(^\circ\text{C})} \right) dT = 2.9 \times 10^5 (30 - 60) = - 8.7 \times 10^6 \text{ J}$$

Σχήμα 9.11 Η συνολική αλλαγή ενθαλπίας περιλαμβάνει τις αισθητές θερμότητες (οι αλλαγές της ενθαλπίας σε κάθε φάση), καθώς και τις λανθάνουσες θερμότητες (οι αλλαγές της ενθαλπίας στη μεταβολή φάσεως).



Enthalpy: Ενθαλπία

Temperature: Θερμοκρασία

Solid: Στερεό

Liquid: Υγρό

Gas: Αέριο

Phase transitions: Αλλαγές Φάσεων

Fusion: Τήξης

Vaporization: Εξάτμισης

Melting: Τήξης

Να είστε προσεκτικοί κατά την ανάγνωση τιμών ενθαλπίας από ένα πίνακα ή διάγραμμα επειδή το σύμβολο H συνήθως αναφέρεται στην ενθαλπία ανά μονάδα μάζας (ή mole) και όχι στη συνολική ενθαλπία. Το σύμβολο $\hat{H}$ δεν χρησιμοποιείται ευρέως εκτός αυτού του βιβλίου, και, κατά συνέπεια, η έννοια του H θα πρέπει να καθορίζεται από την εξέταση των μονάδων που βρίσκονται (στην ιδανική περίπτωση) σε μια κεφαλίδα ή υποσημείωση. Μια τιμή $H = 100 \text{ kJ}$ πιθανώς σημαίνει μια τιμή από 100 kJ / kg από μία τιμή αναφοράς του H , όπως $H = 0$, ή ενδεχομένως μια άλλη τιμή αναφοράς.

Η Εξίσωση (9.11) δεν ισχύει, αν επέλθει μεταβολή φάσης. Κοιτάζτε Σχήμα 9.11. για να προκύψει τη συνολική ΔH (ή $\Delta \hat{H}$) θα πρέπει να συμπεριληφθεί η ενθαλπία σχετίζεται με την αλλαγή φάσης.

Όπως θα θυμάστε από το Κεφάλαιο 8, οι **αλλαγές φάσεων** λαμβάνουν χώρα κατά την μετάβαση από την στερεή στην υγρή φάση, από την υγρή στην αέρια φάση και αντιστρόφως. Στην διάρκεια των αλλαγών αυτών, πραγματοποιούνται σημαντικές μεταβολές στην τιμή της ενθαλπίας (και της εσωτερικής ενέργειας) των ουσιών, μεταβολές που ονομάζονται μεταβολές **λανθάνουσας θερμότητας**, επειδή συμβαίνουν χωρίς να απαιτείται σημαντική μεταβολή της θερμοκρασίας. Λόγω των σχετικά μεγάλων μεταβολών της ενθαλπίας που σχετίζονται με τις αλλαγές φάσεων, είναι σημαντικό να επιβεβαιωθούν επακριβώς οι λανθάνουσες θερμότητες κατά την εφαρμογή των ισοζυγίων ενέργειας που τις περιλαμβάνουν. Για μία και μοναδική φάση, η ενθαλπία μεταβάλλεται συναρτήσει της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.11. Οι μεταβολές της ενθαλπίας που λαμβάνουν χώρα ονομάζονται συχνά μεταβολές της “**αισθητής θερμότητας**”.

Οι μεταβολές της ενθαλπίας κατά τις αλλαγές φάσεων αντιστοιχούν στην **θερμότητα τήξης** (για την τήξη), ΔH_f , και στην **θερμότητα εξάτμισης** (για την εξάτμιση), ΔH_v . Ο όρος **θερμότητα** έχει επικρατήσει μετά από παλιότερα πειράματα στα οποία οι μεταβολές της ενθαλπίας υπολογίζονταν με βάση πειραματικά δεδομένα που συχνά περιελάμβαναν μεταφορά θερμότητας. Καταλληλότεροι θα ήταν οι όροι **ενθαλπία τήξης** και **εξάτμισης**, αλλά η χρήση τους είναι περιορισμένη. Η **θερμότητα συμψύκνωσης** είναι το αντίθετο της θερμότητας εξάτμισης ενώ η **θερμότητα πήξης** είναι το αντίθετο της θερμότητας τήξης. **Θερμότητα εξάχνωσης** είναι η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την απευθείας μετάβαση από την στερεή στην αέρια κατάσταση.

Η συνολική μεταβολή της ειδικής ενθαλπίας μιας καθαρής ουσίας, όπως απεικονίζεται και στο Σχήμα 9.11, μπορεί να διατυπωθεί ως το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας (ενθαλπίας) της αρχικής και τελικής κατάστασης.

$$\begin{aligned}
 &\text{Συνολικής μεταβολής ενθαλπίας} \qquad \text{Αισθητή θερμότητα Στερεού} \quad \text{Τήξη} \qquad \text{Αισθητή θερμότητα υγρού} \\
 \Delta \hat{H} = \hat{H}(T) - \hat{H}(T_{\text{αναφ.}}) &= \int_{T_{\text{αναφ.}}}^{T_{\text{τήξης}}} C_{p, \text{ στερεού}} dT + \Delta \hat{H}_{\text{τήξης σε } T_{\text{τήξης}}} + \int_{T_{\text{τήξης}}}^{T_{\text{εξάτμισης}}} C_{p, \text{ υγρού}} dT \\
 &\qquad \qquad \qquad \text{Εξάτμιση} \qquad \qquad \qquad \text{Αισθητή θερμότητα ατμού} \\
 &\qquad \qquad \qquad + \Delta H_{\text{εξάτμισης σε } T_{\text{εξάτμ.}}} + \int_{T_{\text{εξάτμ.}}}^T C_{p, \text{ ατμού}} dT
 \end{aligned}
 \tag{9.12}$$

Η ολική ενθαλπία ενός συστήματος ή ρεύματος που περιέχει περισσότερα από ένα συστατικά είναι το άθροισμα των ενθαλπιών κάθε συστατικού εάν αγνοήσετε τη θερμότητα (αλλαγή ενθαλπίας) ανάμιξης (αναφέρεται στο Κεφάλαιο 13).

$$H_{ολ} = m_1 \hat{H}_1 + m_2 \hat{H}_2 + \dots + m_n \hat{H}_n \quad (9.13)$$

Παράδειγμα 9.7 Μετατροπή των Μονάδων σε μία Εξίσωση Ειδική Θερμότητα

Η εξίσωση ειδικής θερμότητας για το αέριο CO₂ σε μία περιοχή θερμοκρασιών από 0 έως 1500 K είναι

$$C_p = 2.675 \times 10^4 + 42.27 T - 1.425 \times 10^{-2} T^2$$

Όπου το C_p εκφράζεται σε J/(kg mol)(K) και το T σε K. Μετατρέψτε την εξίσωση αυτή στην κατάλληλη μορφή ώστε η ειδική θερμότητα να εκφράζεται σε όλη την περιοχή των θερμοκρασιών σε Btu/(lb mol)(°F) και το T σε °F.

Λύση

Η μετατροπή μιας εξίσωσης ειδικής θερμότητας από μία ομάδα μονάδων σε άλλη είναι βασικά ένα πρόβλημα μετατροπής μονάδων. Κάθε όρος στο δεξί σκέλος της εξίσωσης ειδικής θερμότητας πρέπει να έχει τις ίδιες μονάδες με αυτές του αριστερού σκέλους της εξίσωσης. Για να αποφευχθεί η σύγχυση κατά τις μετατροπές, θα πρέπει να μπορείτε να διακρίνετε μεταξύ του συμβόλου που σε κάποιες περιπτώσεις αντιστοιχεί στην θερμοκρασία και σε άλλες περιπτώσεις σε διαφορά θερμοκρασίας. Στις παρακάτω μεταφορές διαχωρίζουμε την θερμοκρασία από την διαφορά θερμοκρασίας για περισσότερη σαφήνεια, όπως έγινε και στο Κεφάλαιο 2.

Αρχικά, πολλαπλασιάστε το κάθε σκέλος της συγκεκριμένης εξίσωσης του C_p με τους κατάλληλους συντελεστές μετατροπής ώστε να μετατρέψετε το J/(kg mol)(ΔK) σε Btu/(lb mol)(Δ°F). Πολλαπλασιάστε το αριστερό σκέλος με τον συντελεστή που περιέχεται στο άγκιστρο

$$C_p \frac{\text{J}}{(\text{kg mol})(\Delta\text{K})} \times \left[\frac{1 \text{ Btu}}{1055 \text{ J}} \left| \frac{1 \Delta\text{K}}{1.8 \Delta^\circ\text{R}} \right| \frac{1 \Delta^\circ\text{R}}{1 \Delta^\circ\text{F}} \left| \frac{0.4536 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \right| \right] \rightarrow C_p \frac{\text{Btu}}{(\text{lb mol})(\Delta^\circ\text{F})}$$

και πολλαπλασιάστε το δεξιό σκέλος με την ίδια ομάδα συντελεστών μετατροπής.

Στη συνέχεια, αντικαταστήστε την σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας σε K και της θερμοκρασίας σε °F

$$T_K = \frac{T_{°R}}{1.8} = \frac{T_{°F} + 460}{1.8}$$

στην συγκεκριμένη εξίσωση του C_p , όπου περιέχεται το T .

Τέλος, κάντε τις κατάλληλες μαθηματικές πράξεις ώστε να καταλήξετε στο

$$C_p \frac{\text{Btu}}{(\text{lb mol})(\Delta^\circ\text{F})} = 8.702 \times 10^{-3} + 4.66 \times 10^{-6} T_{°F} - 1.053 \times 10^{-9} T_{°F}^2$$

Όταν δεν μπορείτε να βρείτε τη θερμοχωρητικότητα για ένα αέριο, μπορείτε να την υπολογίσετε ένα χρησιμοποιώντας μία από τις πολλές εξισώσεις που μπορούν να βρεθούν στη συμπληρωματική βιβλιογραφία στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Ο υπολογισμός του C_p για τα υγρά είναι γεμάτος λάθος, αλλά υπάρχουν κάποιες σχέσεις. Για υδατικά διαλύματα, μπορείτε προσεγγίσετε σχεδόν το C_p χρησιμοποιώντας μόνο την περιεκτικότητα σε νερό.

Παράδειγμα 9.8 Σύγκριση του Υπολογισμού της Θερμότητας Εξάτμισης με Πειραματικές Τιμές

Χρησιμοποιείτε την εξίσωση Chen για τον υπολογισμό της θερμότητας εξάτμισης της ακετόνης στο κανονικό σημείο βρασμού, και συγκρίνετέ την με την πειραματική τιμή 30.2 kJ/g που υπάρχει στο Παράρτημα Z στο CD που συνοδεύει το βιβλίο.

Λύση

Η βάση είναι 1 g mol. Θα πρέπει να αναζητήσετε κάποια στοιχεία στο Παράρτημα Z:

Κανονικό σημείο βρασμού:	329.2 K
T_c :	508.0 K
p_c :	47.0 atm

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσετε μερικές από τις τιμές των μεταβλητών που εμφανίζονται στις εξισώσεις

$$\frac{T_b}{T_c} = \frac{329.2}{508.0} = 0.648$$

$$\ln p_c = \ln (47.0) = 3.85$$

Από την Εξίσωση (9.14)

$$\Delta \tilde{H}_v = \frac{8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ}}{(\text{g mol})(\text{K})} \left| 329.2 \text{ K} \right| \frac{[(3.978)(0.648) - 3.938 + (1.555)(3.85)]}{1.07 - 0.648}$$

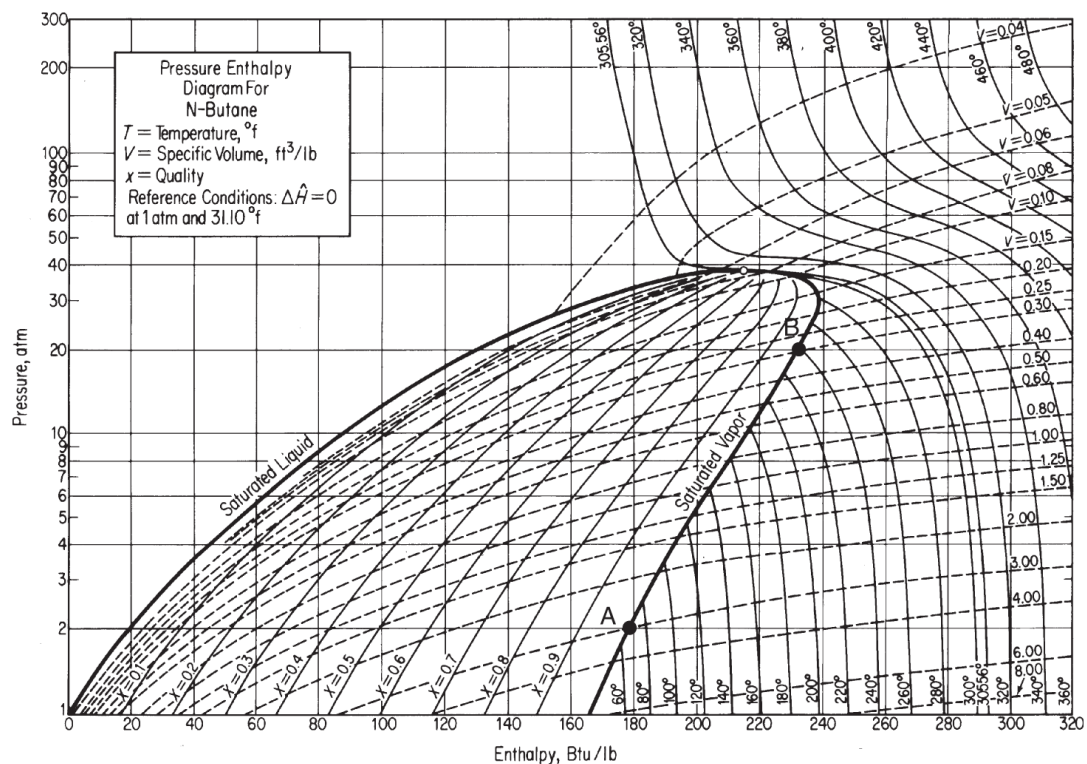
$$= 30.0 \text{ kJ/g mol (ασήμαντο σφάλμα)}$$

Παράδειγμα 9.9 Χρήση του Διαγράμματος Πίεσης-Ενθαλπίας του Βουτανίου για τον Υπολογισμό της Διαφοράς Ενθαλπίας μεταξύ δύο Καταστάσεων

Υπολογίστε τις μεταβολές των $\Delta \hat{H}$, $\Delta \hat{V}$, και ΔT 1 lb κορεσμένου ατμού n-βουτανίου που μεταβαίνει από τις 2 atm στις 20 atm (κορεσμένο).

Λύση

Σχήμα Ε9.9



Pressure: Πίεση

Enthalpy: Ενθαλπία

Pressure Enthalpy Diagram For N-Butane: Διάγραμμα Πίεσης- Ενθαλπίας για το n-βουτάνιο

T =Temperature, $^{\circ}\text{F}$: T = Θερμοκρασία, $^{\circ}\text{F}$

V =Specific Volume, ft^3/lb : V = Ειδικός Όγκος, ft^3/lb

x= Quality: x= Ποιότητα

Reference Conditions: $\Delta\hat{H}=0$ at 1 atm and 31.10 °F: Συνθήκες αναφοράς: $\Delta\hat{H}=0$ σε 1 atm και 31.10 °F

Saturated liquid: Κορεσμένο υγρό

Saturated vapor: Κορεσμένος ατμός

Πάρτε τα απαραίτητα δεδομένα από το Σχήμα 9.14 ή E9.9.

	$\hat{H}$ (Btu/lb)	$\hat{V}$ (ft ³ /lb)	T(°F)
Κορεσμένος ατμός στις 2 atm:	179	3.00	72
Κορεσμένος ατμός στις 20 atm:	233	0.30	239

$$\Delta\hat{H} = 233 - 179 = 54 \text{ Btu/lb}$$

$$\Delta\hat{V} = 0.30 - 3.00 = -2.70 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

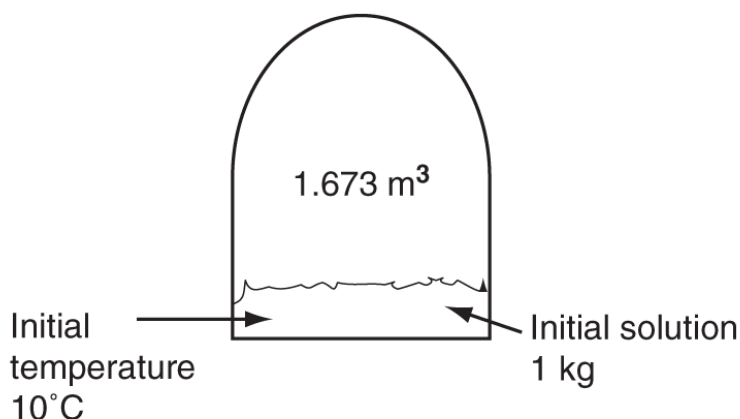
$$\Delta T = 239 - 72 = 167^\circ\text{F}$$

Παράδειγμα 9.10 Εφαρμογή του Ισοζυγίου Ενέργειας σε Κλειστό Σύστημα μη Μόνιμης Κατάστασης χωρίς Παρουσία Αντίδρασης

Τα αλκαλοειδή είναι χημικές ενώσεις που περιέχουν άζωτο και τα οποία μπορούν να παραχθούν από φυτικά κύτταρα. Σε ένα πείραμα, αραιό υδατικό διάλυμα που περιέχει δύο αλκαλοειδή τα ajmalicine και serpentine, εισάγεται σε κλειστό μονωμένο δοχείο όγκου 1.673 m³. Η θερμοκρασία του διαλύματος ήταν 10°C. Για να πάρουμε ένα ξηρό υπόλειμμα αλκαλοειδών, όλο το νερό στο δοχείο εξατμίζεται. Υποθέστε ότι οι ιδιότητες του νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί των ιδιοτήτων του διαλύματος. Πόση θερμότητα θα πρέπει να μεταφερθεί στο δοχείο αν 1 kg κορεσμένου υγρού νερού με αρχική θερμοκρασία 10°C εξατμίζεται πλήρως σε τελικές συνθήκες 100°C και 1 atm; Βλέπε Σχήμα E9.10. Αγνοήστε τυχόν αέρα που υπάρχει στο δοχείο (ή υποθέστε ότι αρχικά υπήρχε κενό).

Λύση

Σχήμα Ε9.10



Initial Temperature: Αρχική θερμοκρασία

Initial solution: Αρχικό διάλυμα

Το σύστημα είναι το κλειστό δοχείο. Ως εκ τούτου, από την άποψη του ισοζυγίου μάζας, είναι σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης, αλλά από την άποψη του ισοζυγίου ενέργειας είναι σε συνθήκες μη μόνιμης κατάστασης.

Η εκφώνηση του προβλήματος μας δίνει επαρκή δεδομένα ώστε να καθορίσουμε την αρχική και τελική κατάσταση του νερού. Μπορείτε να αναζητήσετε τις ιδιότητες του νερού στους πίνακες ατμού ή στο CD του βιβλίου αυτού. Ο ειδικός όγκος του ατμού στους 100°C και 1 atm είναι $1.673 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Αρχική κατάσταση (υγρό)		Τελική κατάσταση (αέριο)
p	τάση ατμών	1 atm
T	10.0°C	100°C
Ū	17.7 kJ/kg	2506.0 kJ/kg

Μπορείτε να αναζητήσετε και άλλες ιδιότητες του νερού όπως τα $\hat{V}$ και $\hat{H}$, οι οποίες όμως δεν είναι απαραίτητες για το πρόβλημα.

Επειδή το σύστημα είναι κλειστό, μη μόνιμης κατάστασης, ισχύει η Εξίσωση (9.18)

$$\Delta E = (\Delta U + \Delta PE + \Delta KE)_{\text{μέσα}} = Q + W$$

Επειδή το σύστημα (νερό) βρίσκεται σε ηρεμία, $\Delta KE = 0$. Λόγω τη ελάχιστης μεταβολής του κέντρου μάζας του νερού κατά τη διάρκεια της εξάτμισης σε σχέση με το Q, μπορείτε να υποθέσετε ότι $\Delta PE = 0$. Υπολογίστε την τιμή εάν έχετε αμφιβολίες. Δεν παράγεται καθόλου έργο (καθορισμένα όρια συστήματος).

Βάση : $1 \text{ kg H}_2\text{O}$ που εξατμίζεται

Τότε

$$Q = \Delta U = m\Delta\hat{U} = m(\hat{U}_2 - \hat{U}_1)$$

$$Q = \frac{1 \text{ kg H}_2\text{O}}{\text{kg}} \left| \frac{(2506.0 - 17.7) \text{ kJ}}{\text{kg}} \right| = 2488 \text{ kJ}$$

Σημειώστε ότι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους πίνακες ατμού στο CD που συνοδεύει το βιβλίο. Μερικοί πίνακες δεν περιέχουν τιμές του $\hat{U}$, μόνο τιμές του $\hat{H}$. Επομένως το $\hat{U}$ πρέπει να υπολογιστεί. Τις περισσότερες φορές η διαφορά $\Delta(p\hat{V})_{\text{μέσα}}$ είναι αμελητέα, αλλά όχι πάντοτε. Θυμηθείτε ότι $\hat{H}_{\text{μέσα}}$, $\hat{U}_{\text{μέσα}}$, και $(p\hat{V})_{\text{μέσα}}$ έχουν μια αυθαίρετη κατάσταση αναφοράς που ακυρώνετε τον υπολογισμό της διαφοράς ενθαλπίας ή της διαφοράς της εσωτερικής ενέργειας. Αν χρησιμοποιείτε δύο διαφορετικές πηγές δεδομένων, φροντίστε να λάβετε υπόψη τις διαφορές στις τιμές αναφοράς της κάθε πηγής.

Σε τι θα διέφερε η λύση εάν το δοχείο πριν από την εισαγωγή περιείχε ξηρό αέρα σε πίεση 1 atm;

Παράδειγμα 9.11 Εφαρμογή του Ισοζυγίου Ενέργειας

Δέκα λίβρες CO_2 σε θερμοκρασία δωματίου (80°F), βρίσκονται αποθηκευμένες σε πυροσβεστήρα με όγκο 4.0 ft^3 . Πόση θερμότητα πρέπει να απομακρυνθεί από τον πυροσβεστήρα έτσι ώστε το 40% του CO_2 να μετατραπεί σε υγρό;

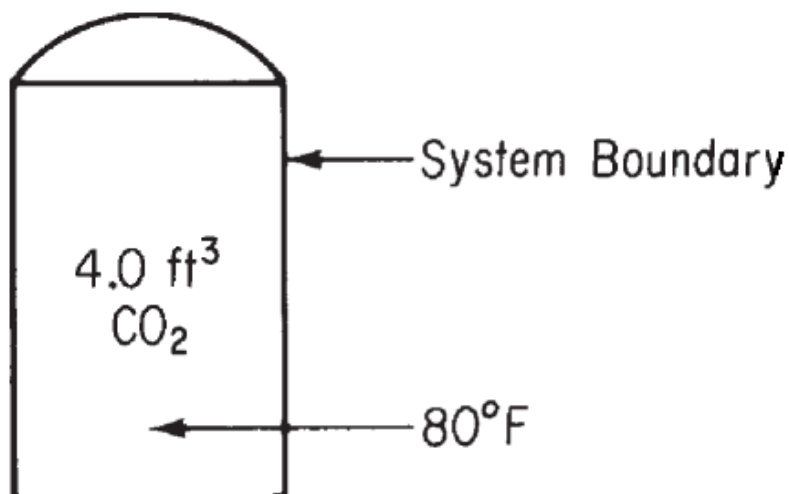
Λύση

Το πρόβλημα περιλαμβάνει ένα κλειστό σύστημα μη-μόνιμης κατάστασης (Σχήμα E9.11), χωρίς την πραγματοποίηση χημικής αντίδρασης. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το διάγραμμα του CO_2 του Παραρτήματος Λ στο CD που συνοδεύει το βιβλίο για τις απαραίτητες τιμές των ιδιοτήτων.

Βήματα 1 – 4

Ο ειδικός όγκος του CO_2 είναι $4.0/1.0 = 0.40 \text{ ft}^3/\text{lb}$. Η κατάσταση αναφοράς για το διάγραμμα του CO_2 είναι -40°F , κορεσμένο υγρό. Από το διάγραμμα του CO_2 βρίσκετε ότι σε $\hat{V} = 0.40$ και $T = 80^\circ\text{F}$, το CO_2 στον πυροσβεστήρα είναι αέριο σε πίεση 300 psia και $\Delta\hat{H} = 160 \text{ Btu/lb}$.

Σχήμα E9.11



System boundary: Όρια συστήματος

Βήμα 5

Βάση: 10 lb CO₂

Βήματα 6 και 7

Το ισοζύγιο μάζας είναι εύκολο, η μάζα μέσα στο σύστημα είναι σταθερή και ίση με 10 lb. Το ισοζύγιο ενέργειας απλοποιείται ως εξής:

$$\Delta E = Q + W$$

το W είναι μηδέν αφού τα όρια του συστήματος είναι σταθερά, δεν παράγεται ηλεκτρικό έργο κ.τ.λ, οπότε $\Delta KE = \Delta PE = 0$ μέσα στο σύστημα

$$Q = \Delta U = \Delta H - \Delta(pV)$$

Από το διάγραμμα του CO₂, δεν μπορείτε να πάρετε τιμές για το $\Delta \hat{U}$, αλλά μόνο για το $\Delta \hat{H}$. Ας μην αγνοήσουμε προς το παρόν την τιμή του $\Delta(pV)$. Ακολουθώντας την γραμμή του σταθερού όγκου μέχρι το σημείο όπου η ποιότητα του ατμού είναι ίση με 0.6, μπορείτε να εντοπίσετε την τελική κατάσταση του συστήματος και όλες οι τελικές ιδιότητες μπορούν να προσδιοριστούν. Δύο τιμές από το διάγραμμα είναι οι εξής

$$\Delta \hat{H}_{\text{τελικό}} = 81 \text{ Btu/lb}$$

και

$$p_{\text{τελικό}} = 140 \text{ psia}$$

Μπορείτε να συμπεράνετε ότι οι βαθμοί ελευθερίας του προβλήματος είναι μηδέν, αφού μπορούν να δοθούν τιμές σε όλες τις μεταβλητές εκτός από το Q , υπάρχει ένας άγνωστος, και μία διαθέσιμη εξίσωση (το ισοζύγιο ενέργειας).

Βήματα 7 – 9

$$Q = \left\{ (81 - 160) - \left[\frac{(140)(144)(0.40)}{778.2} - \frac{(300)(144)(0.40)}{778.2} \right] \right\} 10$$

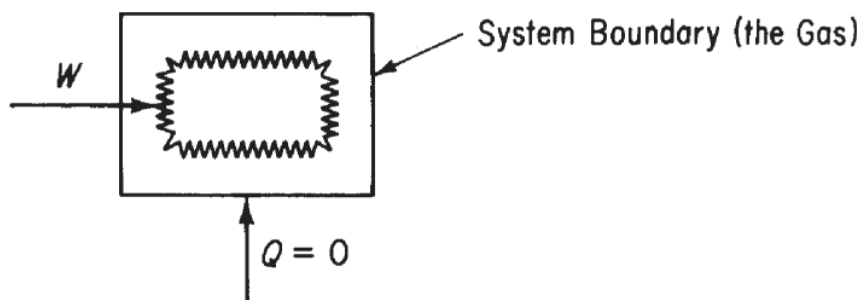
$$= - 672 \text{ Btu (απόδοση θερμότητας)}$$

Ποιο θα ήταν το σφάλμα στη λύση του προβλήματος αν ο όρος $-\Delta(pV)$ αγνοούνταν;

Παράδειγμα 9.12 Εφαρμογή του Ισοζυγίου Ενέργειας σε Εφαρμογές Τεχνικής Πλάσματος για την Κατασκευή Μικροτσιπ.

Αέριο αργό που βρίσκεται σε μονωμένο θάλαμο απόθεσης πλάσματος όγκου 2 L, πρόκειται να θερμανθεί με θερμαντήρα ηλεκτρικής αντίστασης. Αρχικά το αέριο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί σαν ιδανικό αέριο, βρίσκεται σε πίεση 1.5 kPa και 300 K. Ο θερμαντήρας των 1000 ohm παίρνει ρεύμα στα 40 V για 5 λεπτά (δηλαδή το περιβάλλον προσδίνει έργο ίσο με 480 J στο σύστημα). Πόση είναι η τελική θερμοκρασία και πίεση του αερίου στον θάλαμο; Η μάζα του θερμαντήρα είναι 12 g και η ειδική του θερμότητα 0.35 J/(g)(K). Υποθέστε ότι η μεταφορά θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα του θαλάμου από το αέριο, στην χαμηλή πίεση που επικρατεί και στο σύντομο χρονικό διάστημα που εξετάζουμε, είναι αμελητέα.

Σχήμα E9.12



System boundary (the Gas): Όρια συστήματος (το Αέριο)

Λύση

Επιλέξτε το σύστημα που απεικονίζεται στο Σχήμα E9.12. Δεν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση. Το γεγονός ότι το ηλεκτρικό σύρμα χρησιμοποιείται για τη «θέρμανση» (αύξηση της θερμοκρασίας) του αργού μέσα στο σύστημα, δεν σημαίνει ότι έχουμε μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον στο επιλεγμένο σύστημα. Παράγεται μόνο έργο. Το σύστημα δεν ανταλλάσσει μάζα με το περιβάλλον, επομένως βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση όσον αφορά τη μάζα αλλά μη μόνιμη κατάσταση όσον αφορά την ενέργεια.

Βήματα 1 – 4

Λόγω της υπόθεσης που αφορά στην μεταφορά θερμότητας από τα τοιχώματα του θαλάμου, ισχύει ότι $Q = 0$. Το έργο που προσφέρεται στο σύστημα είναι ίσο με $+480 \text{ J}$ σε 5 λεπτά.

Βήμα 5

Βάση : 5 λεπτά

Βήματα 6 και 7

Το γενικό ισοζύγιο ενέργειας (μέσα στο σύστημα ισχύει $\Delta PE = \Delta KE = 0$ μέσα στο σύστημα) είναι

$$\Delta E = \Delta U = Q + W$$

και μετά την ανάθεση των γνωστών τιμών στις αντίστοιχες μεταβλητές, γίνεται $\Delta U = 480 \text{ J}$

Ένας τρόπος για να λυθεί το πρόβλημα είναι να βρεθεί τα T και p που αφορούν το $\Delta U = 480 \text{ J}$. Ένας πίνακας, μια εξίσωση, ή ένα διάγραμμα για το αργό θα κάνουν αυτή τη διαδικασία εύκολη. Ελλείπει μιας τέτοιας πηγής δεδομένων, θα καταφύγουμε στην υπόθεση ότι το αέριο αργό είναι ένα ιδανικό αέριο (όπως και είναι στην πραγματικότητα), και θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση $pV = nRT$. Αρχικά γνωρίζουμε τα p , V και T , οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό του αερίου:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1.5 \text{ Pa} \left| \frac{2 \text{ L}}{1 \text{ L}} \right| \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ L}} \left| \frac{1 \text{ (g mol)(K)}}{8.314 \text{ (Pa)(m}^3\text{)}} \right| \frac{1}{300 \text{ K}}} = 1.203 \times 10^{-6} \text{ g mol}$$

Από την εκφώνηση σας δίνεται η μάζα του θερμαντήρα και η ειδική θερμότητα $C_v = 0.35 \text{ J/(g)(K)}$. Το C_v του αερίου μπορεί να υπολογιστεί. Επειδή $C_p = \frac{3}{2}R$ (βλέπε τον Πίνακα 9.3)

$$C_v = C_p - R = \frac{5}{2}R - R = \frac{3}{2}R$$

Θα πρέπει να επιλέξετε μία θερμοκρασία αναφοράς για τους υπολογισμούς σας. Η βολικότερη κατάσταση αναφοράς είναι τα 300 K. Το ΔU για το αέριο και τον θερμαντήρα πρέπει να υπολογιστούν, θεωρώντας ότι η τελική θερμοκρασία τόσο του αερίου όσο και του θερμαντήρα είναι η ίδια:

Αέριο:

$$\Delta U_g = 1.203 \times 10^{-6} \int_{300}^T C_v dT = 1.203 \times 10^{-6} \left(\frac{3}{2} R \right) (T - 300)$$

Θερμαντήρας:

$$\Delta U_h = 12 \text{ g} \left(\frac{0.35 \text{ J}}{(\text{g})(\text{K})} \right) (T - 300)$$

Πρόκειται για ένα συνηθισμένο ισοζύγιο μάζας, η μάζα στον θάλαμο δεν μεταβάλλεται. Ο άγνωστος είναι ο T, εμπλέκεται μία εξίσωση, το ισοζύγιο ενέργειας, οπότε οι βαθμοί ελευθερίας είναι μηδέν.

Βήματα 8 και 9

Επειδή το $\Delta U = 480 \text{ J}$, μπορείτε να υπολογίστε το T από το ισοζύγιο ενέργειας

$$\Delta U = 480 \text{ J} = (12)(0.35)(T-300) + (2.302 \times 10^{-6}) \left(\frac{3}{2} \right) (8.314)(T - 300)$$

$$T = 414 \text{ K}$$

Η τελική πίεση προκύπτει από τη σχέση

$$\frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{n_2 R T_2}{n_1 R T_1}$$

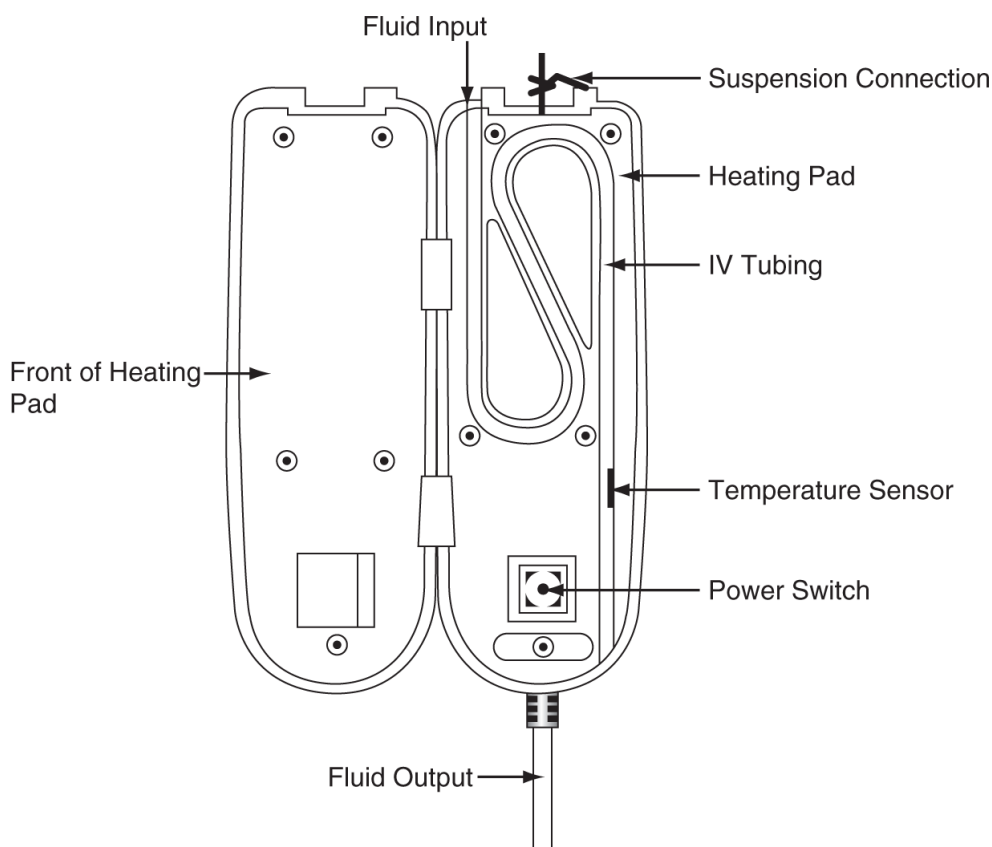
ή

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = 1.5 \left(\frac{414}{300} \right) = 2.07 \text{ Pa}$$

Παράδειγμα 9.13 Θερμοθάλαμος Ρευστού

Το Σχήμα E9.13α απεικονίζει ένα θερμοθάλαμο ρευστού που χρησιμοποιεί την τυπική σωλήνωση IV αντί του ειδικού διαθέσιμου εξοπλισμού. Ένας ηλεκτροτροφοδοτούμενος θερμοθάλαμος ξηρής θερμότητας 250 W μεταφέρει τη θερμότητα στην πλαστική σωλήνωση. Η IV σωλήνωση τοποθετείται εύκολα στο κανάλι σχήματος S μεταξύ των πλακών θέρμανσης από αλουμίνιο.

Σχήμα E9.13α



Fluid input: Είσοδος υγρού

Suspension connection: αναστολικός σύνδεσμος

Heating pad: Θερμαντική πλάκα

IV Tubing: Σωλήνωση IV

Front of heating pad: Μπροστινό μέρος θερμαντικής πλάκας

Temperature sensor: Αισθητήρας θερμοκρασίας

Power switch: Διακόπτης

Fluid output: Έξοδος υγρού

Το μικρό μέγεθος της συσκευής επιτρέπει ένα ελάχιστο μήκος σωλήνωσης μεταξύ του ασθενή και της μονάδας, έτσι ώστε μετέπειτα ψύξη του εξερχόμενου υγρού να είναι

αμελητέα. Η συσκευή ζεσταίνεται σε 2 έως 3 λεπτά, και στη συνέχεια το ρευστό ρέει μέσα στη συσκευή σε ρυθμούς έως και $12 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Το Acidonir είναι ένας αντιικός παράγοντας που χρησιμοποιείται για τον έρπητα των γεννητικών οργάνων και τον έρπητα ζωστήρα με ενδοφλέβια έγχυση. Το διάλυμα ρέει διαμέσου του θερμοθαλάμου με ένα ρυθμό $1,67 \text{ g/min}$ διαλύματος έγχυσης. Το εισερχόμενο υγρό είναι στους 24°C και εξέρχεται στους 37°C πριν από την έγχυση. Το διάλυμα έγχυσης εκτός από την acidonir περιέχει 0,45% NaCl και 2,5% γλυκόζη.

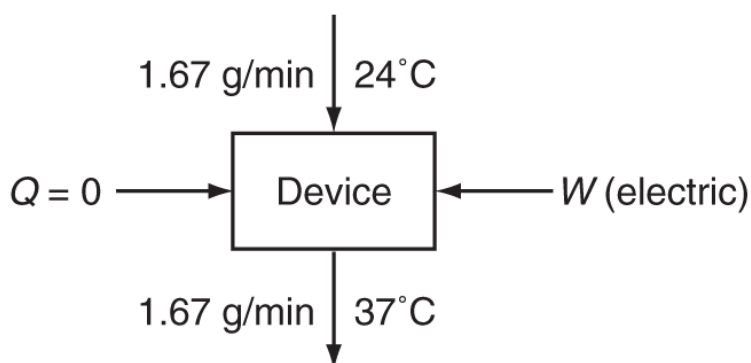
Πόσα bat θα πρέπει να χρησιμοποιούνται από το θερμοθάλαμο για να ζεστάνει το διάλυμα;

Λύση

Βήματα 1 – 4

Το Σχήμα E9.13β αποτελεί ένα σχεδιάγραμμα της διεργασίας. Σημειώστε ότι το ηλεκτρικό έργο δίνεται ως ισχύς, Watt (Joule/sec). Για λόγους απλοποίησης (και απουσία δεδομένων) θα χρησιμοποιήσουμε τις ιδιότητες της ζάχαρης (γλυκόζη) σε νερό για το ρευστό.

Σχήμα E9.13β



Device: Συσκευή

Electric: Ηλεκτρικό

Βήμα 5

Βάση: 1 λεπτό

Βήματα 6 – 8

Τι θα μπορούσατε να επιλέξετε ως σύστημα; Επιλέξτε τη συσκευή θέρμανσης. Τότε το σύστημα είναι ανοιχτό, σταθερής κατάσταση (εκτός από ένα σύντομο χρονικό

διάστημα για την προθέρμανση το οποίο θα αγνοήσουμε), και το γενικό ισοζύγιο ενέργειας μπορεί να απλοποιηθεί κάνοντας τις ακόλουθες παραδοχές:

1. $\Delta E_{\text{μέσα}} = 0$ επειδή η διεργασία είναι μόνιμης κατάστασης
2. $Q = 0$ (αμελητέα απώλεια θερμότητας)
3. $\Delta \widehat{PE} = \Delta \widehat{KE} = 0$ για το ρευστό που εισέρχεται και εξέρχεται

Έτσι, $Q + W = \Delta (H + PE + KE)_{\text{ροής}}$ περιορίζετε στο $W = \Delta H$.

$$W = \Delta H_{\text{ροής}} = m C_p (T_{\text{εξόδου}} - T_{\text{εισόδου}}) = \frac{1.67 \text{ g}}{\text{min}} \left| \frac{4.18 \text{ J}}{(\text{g})(^\circ\text{C})} \right| \frac{17^\circ\text{C}}{1} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right|$$

$$= 1.98 \text{ J/sec} = 1.98 \text{ W}$$

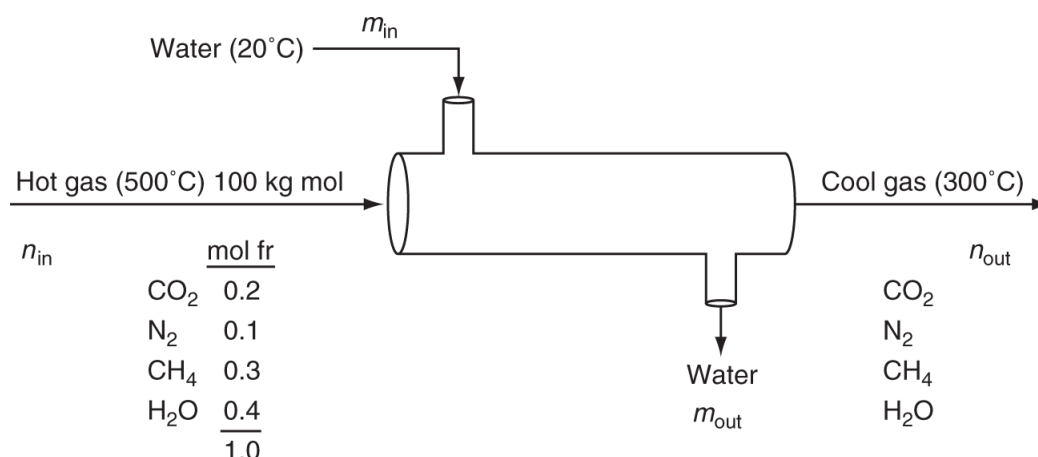
Η θερμοχωρητικότητα που βρέθηκε στο Διαδίκτυο (αγνοώντας τη μικρή ποσότητα του NaCl) είναι για το διάλυμα ζάχαρης 4%.

Η ισχύς σε W είναι περίπου 2 W.

Παράδειγμα 9.14 Συνδυασμένη Χρήση Ισοζυγίων Μάζας και Ενέργειας

Στο Σχήμα E9.14 απεικονίζεται ένα θερμό αέριο ρεύμα θερμοκρασίας 500°C , να ψύχεται στους 300°C με μεταφορά θερμότητας στο νερό το οποίο εισέρχεται σε θερμοκρασία 20°C και εξέρχεται στους 213°C . Υποθέστε ότι ο εναλλάκτης θερμότητας είναι μονωμένος. Το νερό που ψύχεται δεν αναμιγνύεται με το αέριο. Υπολογίστε τη θερμοκρασία εξόδου του νερού.

Σχήμα E9.14



Water: Νερό

Hot gas: Θερμό αέριο

Mol fr: γραμ. κλ.

Cool gas: Ψυχρό αέριο

n_{in} : $n_{\text{εισόδου}}$

n_{out} : $n_{\text{εξόδου}}$

m_{in} : $m_{\text{εισόδου}}$

m_{out} : $m_{\text{εξόδου}}$

Λύση

Βήματα 1 – 4

Το σχήμα E9.14 περιέχει όλα τα δεδομένα για τη διεργασία.

Βήμα 5

Βάση: 100 kg mol εισερχόμενου θερμού αερίου $\equiv$ 1 min

Βήματα 6 – 8

Επιλέξτε ως σύστημα τον εναλλάκτη θερμότητας. Αν γίνουν συγκεκριμένοι εύκολοι υπολογισμοί που αφορούν ισοζύγια μάζας τότε θα προκύψουν ελάχιστοι άγνωστοι για το σύστημα:

- α. Υπολογίστε τα ισοζύγια μάζας με το μυαλό σας για να καταλήξετε στο συμπέρασμα ότι το αέριο εξόδου είναι 100 kg mol, και ότι τα kg mol κάθε συστατικού είναι γνωστά.
- β. Κάντε ένα άλλο ισοζύγιο μάζας με το μυαλό σας για να καταλήξετε ότι νερό_{εισόδου} = νερό_{εξόδου} = $m_{\text{νερού}}$.

Το αποτέλεσμα είναι ότι μετά από την επίλυση των ισοζύγια υλικών υπάρχει μόνο ένας άγνωστος, και συγκεκριμένα $m_{\text{νερού}}$. Σε όλες τις άλλες μεταβλητές μπορούν να οριστούν γνωστές τιμές, αλλά επειδή είναι προφανές, δεν θα τα απαριθμήσουμε εδώ για εξοικονόμηση χώρου.

Πως μπορείτε να υπολογίσετε την τιμή για το $m_{\text{νερού}}$; Χρησιμοποιήστε το ισοζύγιο ενέργειας. Το γενικό ισοζύγιο ενέργειας

$$\Delta E = Q + W - \Delta(H + PE + KE)$$

μπορεί να απλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό ορίζοντας

$$\Delta E = 0 \text{ μόνιμη κατάσταση}$$

$Q = 0$ υποθέστε ότι ο εναλλάκτης θερμότητας είναι μονωμένος
 $W = 0$ το υποθέτουμε (δεν δίνεται κάποια πληροφορία)
 $\Delta PE = 0$ το υποθέτουμε για όλα τα ρεύματα και εσωτερικά του συστήματος
 $\Delta KE = 0$ το υποθέτουμε για όλα τα ρεύματα και εσωτερικά του συστήματος

Τότε το αποτέλεσμα είναι $\Delta H = 0$, ή:

$$[(n_{\text{αερίου}})(\hat{H}_{\text{αερίου εξόδου}}) + (m_{\text{νερού}})(\hat{H}_{\text{νερού εξόδου}})] - [(n_{\text{αερίου}})(\hat{H}_{\text{αερίου εισόδου}}) + (m_{\text{νερού}})(\hat{H}_{\text{νερού εισόδου}})] = 0$$

Που απλοποιείται σε

$$n_{\text{αερίου}}\Delta\hat{H}_{\text{αερίου}} - m_{\text{νερού}}\Delta\hat{H}_{\text{νερού}} = 0$$

Σημειώστε ότι η απλοποιημένη εξίσωση έχει γραφτεί σε όρους $\Delta\hat{H}$ και όχι $\hat{H}$ για να μην ληφθούν υπόψη οι διαφορές στις καταστάσεις αναφοράς για το αέριο και το νερό.

Πού μπορείτε να βρείτε τιμές για τα $\Delta\hat{H}$ των αερίων συστατικών και του νερού για το απλοποιημένο ισοζύγιο ενέργειας; Μπορείτε να εισάγετε τιμές στο κάθε συστατικό των 100 kg mol του αερίου από δεδομένα στο CD στο πίσω μέρος του βιβλίου, επειδή γνωρίζετε τη θερμοκρασία και την πίεση (υποθέτουμε 1 atm) για τα ρεύματα εισόδου και εξόδου.

Για κάθε συστατικό του αερίου ισχύει:

$$n_{\text{συστατικού αερίου}}(\hat{H}_{\text{συστατικού αερίου στους } 300^{\circ}\text{C}} - \hat{H}_{\text{συστατικού αερίου στους } 500^{\circ}\text{C}}) \equiv n_i\Delta\hat{H}_i$$

Είτε ολοκληρώσετε τις εξισώσεις θερμοχωρητικότητας (κακή επιλογή), ή καλύτερα, να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό των φυσικών ιδιοτήτων στο CD που δίνει απευθείας το $\Delta\hat{H}_i$ για τη μετάβαση από του 500°C στους 300°C. Θα πρέπει να λάβετε τα ακόλουθα:

Συστατικό	$\Delta\hat{H}_i$ (kJ/kg mol)	n_i (kg mol)	$\Delta H = n_i\Delta\hat{H}_i$ (kJ)
CO ₂	-9333	20	-186,660
N ₂	-6215	10	-62,150
CH ₄	-11,307	30	-339,210
H ₂ O	-7441	40	-297,640
Σύνολο		100	-885,660 = $\Delta H_{\text{αερίου}}$

Το επόμενο βήμα είναι εύκολο, αν χρησιμοποιείτε τους πίνακες ατμού για νερό σε υγρή μορφή. Αν και η τάση ατμών του νερού και η ενθαλπία μεταβάλλονται καθώς

αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την τιμή του $\hat{H}_i$ για κορεσμένο νερό χωρίς μεγάλη απώλεια στην ακρίβεια.

Από τις τιμές στο κορεσμένο τμήμα των πινάκων ατμού στο CD:

T (°C)	$\hat{H}$ (kJ/kg)
20	35.7
213	911.4

$\Delta H = 875.7 \text{ kJ/kg}$

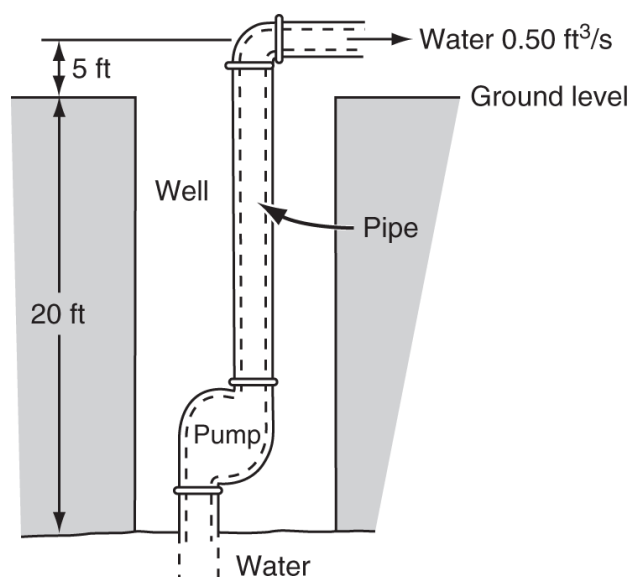
$$m_{\text{νερού}} = \frac{-\Delta H_{\text{αερίου}}}{\Delta \hat{H}_{\text{νερού}}} = \frac{-(-885,660) \text{ kJ}}{857.7 \text{ kJ/kg}} = 1011 \text{ kg}$$

$$\dot{m}_{\text{νερού}} = 1,011 \text{ kg/min} \quad (\text{η βάση ήταν } 1 \text{ min})$$

Παράδειγμα 9.15 Υπολογισμός της Ισχύος που Απαιτείται για την Άντληση Νερού σε ένα Ανοιχτό Σύστημα Μόνιμης Κατάστασης

Νερό αντλείται από ένα πηγάδι (Σχήμα E9.15) στο οποίο το επίπεδο του νερού είναι σταθερά στα 20 πόδια κάτω από το επίπεδο του εδάφους. Το νερό απομακρύνεται σε ένα σωλήνα που βρίσκεται 5 πόδια πάνω από το έδαφος με ταχύτητα $0.50 \text{ ft}^3/\text{s}$. Υποθέστε ότι η μεταφορά θερμότητας κατά τη διάρκεια ροής του νερού είναι αμελητέα. Υπολογίστε την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ της αντλίας αν έχει απόδοση 100%. Μπορείτε να αγνοήσετε τις τριβές στον σωλήνα και την αντλία.

Σχήμα E9.15



Pump: Αντλία

Well: Πηγάδι

Pipe: Σωλήνας

Water 0.50 ft³/s: Νερό 0.50 ft³/s

Ground level: Επίπεδο εδάφους

Λύση

Μπορείτε να κάνετε το ισοζύγιο μάζας για αυτό το παράδειγμα στο μυαλό σου, αν πιστεύετε ότι η έκφραση «ό,τι εισέρχεται πρέπει να εξέρχεται» είναι αληθής. Σαν σύστημα επιλέγουμε τον σωλήνα από το επίπεδο του νερού στο πηγάδι μέχρι το σημείο στο οποίο το νερό που εξέρχεται βρίσκεται 5 πόδια ψηλότερα από το έδαφος συμπεριλαμβανομένης και της αντλίας. Μερικές υποθέσεις που θα απλοποιήσουν την γενικό ισοζύγιο μάζας είναι :

1. Το σύστημα βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση επομένως $\Delta E = 0$.
2. $Q = 0$ (δεδομένη υπόθεση).
3. $\Delta KE_{ροής} \cong 0$ (η KE μεταβάλλεται αμελητέα. Μπορείτε να επαληθεύσετε την υπόθεση αυτή αν έχετε αμφιβολίες, θεωρήστε μία γραμμική ταχύτητα στο επάνω μέρος του σωλήνα ίση με 7 ft/s, η οποία είναι μία συνηθισμένη τιμή στις βιομηχανικές εφαρμογές).

Τι συμβαίνει με την $\Delta H_{ροής}$; Ας υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία του νερού στο πηγάδι είναι ίδια με την θερμοκρασία του νερού κατά την απομάκρυνσή του. Στην περίπτωση $\Delta H \cong 0$ και το γενικό ισοζύγιο ενέργειας γράφεται

$$W = \Delta PE = mg (h_{\text{έξοδος}} - h_{\text{είσοδος}})$$

στο οποίο ο μόνος άγνωστος είναι το W. Όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές μπορούν να βρεθούν.

Επιλέξτε σαν βάση το 1 sec. Η ροή μάζας είναι (π.χ. στους 50°F)

$$\frac{0.50 \text{ ft}^3}{\text{s}} \left| \frac{62.4 \text{ lb}_m}{\text{ft}^3} \right| = 31.3 \text{ lb}_m \text{ νερού/s}$$

$$\begin{aligned} W = PE_{\text{έξοδος}} - PE_{\text{είσοδος}} &= \frac{31.3 \text{ lb}_m \text{H}_2\text{O}}{\text{s}} \left| \frac{32.2 \text{ ft}}{\text{s}^2} \right| \frac{25 \text{ ft}}{32.2 \text{ (ft)(lb}_m)} \left| \frac{(\text{s}^2)(\text{lb}_f)}{778.2 \text{ (lb}_f)(\text{ft})} \right| \frac{1.055 \text{ (kW)}(\text{s}^2)}{778.2 \text{ (lb}_f)(\text{ft})} \\ &= 1.06 \text{ kW}(1.42 \text{ hp}) \end{aligned}$$

Στο Κεφάλαιο 14 (στο CD) θα αναφερθούμε στον υπολογισμό των απωλειών λόγω τριβής και πτώσεων πίεσης που προκαλούνται στα σημεία προσαρμογής των σωλήνων χρησιμοποιώντας έναν άλλο τύπο ισοζυγίου.

Παράδειγμα 9.16 Ανοιχτή Διεργασία Μη Μόνιμης Κατάστασης

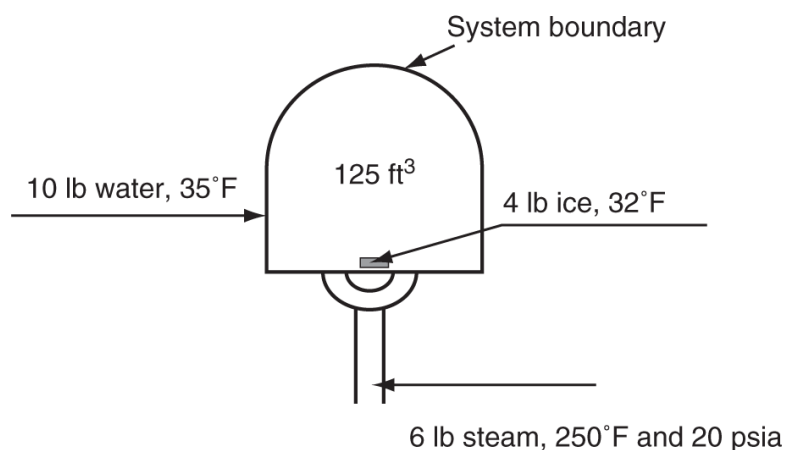
Δέκα λίβρες νερού στους 35°F ρέουν για 10 min σε ένα μονωμένο δοχείο όγκου 125 ft^3 που περιέχει αρχικά 4 λίβρες πάγου στους 32°F . Για να θερμάνετε και να αναμίξετε τον πάγο με το νερό και, εισάγονται 6 λίβρες ατμού στους 250°F και 20 psia. Ποια είναι η τελική θερμοκρασία στο δοχείο μετά από 10 λεπτά (υποθέστε όλα τα υλικά αναμιγνύονται πλήρως);

Λύση

Βήματα 1 – 4

Το Σχήμα E9.16 αποτελεί ένα διάγραμμα της διεργασίας. Επιλέξτε ως σύστημα το δοχείο. Έστω T_2 η τελική θερμοκρασία στο σύστημα.

Σχήμα E9.16



System boundary: όρια του συστήματος

Water: νερό

Ice: πάγος

Steam: ατμός

And: και

Βήμα 5

Επιλέξτε ως βάση τα 10 λεπτά, τα οποία ισούνται με συνολικά 20 lb (νερό συν ατμός συν πάγος) στην τελική κατάσταση του συστήματος.

Βήμα 6

Ας κάνουμε μια λίστα με τις μεταβλητές στο διάλυμα στις οποίες μπορούμε να ορίσουμε τιμές σε αυτό το στάδιο, και εκείνες στις οποίες δεν μπορούμε (τις αρχικά άγνωστες).

	Κατάσταση 1: Αρχικές συνθήκες στο σύστημα (Πάγος)	Ροή νερού στο σύστημα	Ροή ατμού στο σύστημα	Κατάσταση 2: Τελικές συνθήκες στο σύστημα
m (lb)	4	10	0.6	20
T (°F)	32	35	250°F	
$\hat{U}$ (Btu/lb)	-143.6*	3.025	1090.26	
$\hat{H}$ (Btu/lb)	-143.6*	3.025	1167.15	
$\hat{V}$ (ft ³ /lb)	Αγνοήστε	Αγνοήστε (0.016)	20.80	6.25
p (psia)	Αγνοήστε	Αγνοήστε (τάση ατμών)	20	

*Θερμότητα τήξης

Τα δεδομένα προέρχονται από τους πίνακες ατμού στο CD στο πίσω μέρος του βιβλίου. Μία σημαντική πληροφορία που πιθανόν να αγνοείτε είναι ότι

$$\hat{V}_2 = \hat{V}_{\text{μέσα, τελικά}} = \frac{125 \text{ ft}^3}{20 \text{ lb}} = 6.25 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Θυμηθείτε ότι πρέπει να είναι γνωστές οι τιμές δύο εντατικών μεταβλητών να καθοριστούν τις τελικές συνθήκες, και το $\hat{V}_2$ μπορεί να είναι μία από αυτές. Ποια είναι η άλλη;

Μια γρήγορη ματιά στη λίστα των μεταβλητών των οποίων οι τιμές δεν έχουν οριστεί δείχνει ότι τα T_2 , $\hat{U}_2$, και $\hat{H}_2$ είναι άγνωστα. Αλλά η κατάσταση δεν είναι τόσο άσχημη όσο φαίνεται, διότι οι τρεις άγνωστοι είναι όλοι εντατικές μεταβλητές, συνδέονται μεταξύ τους, και κάθε μία από αυτές θα είναι αρκετή για να καθορίσει την τελική κατάσταση του συστήματος.

Βήματα 7 – 9

Για να έχουμε μηδέν βαθμούς ελευθερίας χρειαζόμαστε τουλάχιστον μία ανεξάρτητη εξίσωση. Αρκεί το ισοζύγιο μάζας; Όχι, γιατί χρησιμοποιήσαμε το ολικό ισοζύγιο μάζας για να πάρουμε τις 20 lb στο σύστημα στην τελική κατάσταση. Ποιες άλλες πληροφορίες μπορούν να εμπλέκονται; Το ισοζύγιο ενέργειας, φυσικά!

$$\Delta E = Q + W - \Delta[m(\hat{H} + \hat{P}E + \hat{K}E)]$$

Για να απλοποιηθεί το γενικό ισοζύγιο ενέργειας υποθέστε:

1. Οι όροι των $\hat{K}E$ και $\hat{P}E$ μέσα στο σύστημα και στα ρεύματα ροής είναι μηδέν.
2. $Q = 0$ (μονωμένο).
3. $W = 0$.

Τότε

$$\Delta U \equiv (m_2 \hat{U}_2 - m_1 \hat{U}_1) = -[0 - m_{\text{νερού μέσα}} \hat{H}_{\text{νερού μέσα}} + m_{\text{ατμού μέσα}} \hat{H}_{\text{ατμού μέσα}}] \\ [20\hat{U}_2 - 4(-143.6)] = [10(3.025) + 6(1167.15)]$$

$$\hat{U}_2 = 6458.75/20 = 322.9 \text{ Btu/lb}$$

Παρά το γεγονός ότι οι τιμές των $\hat{U}_2 = 322,9 \text{ Btu / lb}$ και $\hat{V}_2 = 6,25 \text{ ft}^3 / \text{lb}$ καθορίζουν τη λύση, πρέπει ακόμα να υπολογίσετε την τιμή του T_2 . Πώς μπορείτε να υπολογίσετε το T_2 ; Δεν είναι εύκολο. Αν είχατε έναν τρόπο να εισάγετε τις τιμές των $\hat{U}_2$ και $\hat{V}_2$ σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα από το οποίο θα προέκυπτε το T_2 , θα είναι όλα έτοιμα. Ακόμη και ένα διάγραμμα του $\hat{V}_2$ συναρτήσει του $\hat{U}_2$ θα βοηθούσε. Ίσως αυτά τα εργαλεία θα είναι διαθέσιμα κάποια μέρα. Αλλά αυτή τη στιγμή, το καλύτερο που μπορείτε να κάνετε είναι να βρείτε ένα διάγραμμα που απεικονίζει τα p , T , $\hat{V}$ και $\hat{H}$ για να υπολογιστεί η τιμή του T_2 , υποθέτοντας $\hat{U} \cong \hat{H}$, εάν η λύση είναι στην περιοχή δύο φάσεων, το οποίο και συμβαίνει. Οι πίνακες ατμού στο διπλωμένο χαρτί στο πίσω μέρος του βιβλίου έχουν ένα τέτοιο διάγραμμα (σε μονάδες SI).

Εναλλακτικά, μπορείτε να ετοιμάσετε μια μικρή περιοχή ενός δικού σας διαγράμματος του $\hat{V}$ σε σχέση με το $\hat{U}$, ας πούμε, από το 280 έως το 360 για το $\hat{U}$ σε Btu / lb και από το 3 έως το 9 για το $\hat{V}$ σε ft^3 / lb . Χρησιμοποιήστε τους πίνακες κορεσμένου ατμού στο CD για να υπολογίσετε σε σταθερή πίεση τις τιμές των $\hat{U}$ και $\hat{V}$ γύρω από το σημείο $\hat{V} = 6.25 \text{ ft}^3 / \text{lb}$ και $\hat{U} = 322.9 \text{ Btu / lb}$ αλλάζοντας τις τιμές της ποιότητας x των δύο φάσεων του μείγματος. Οι γραμμές των p και x θα είναι ευθείες. Μια απάντηση με έναν εύλογο αριθμό σημαντικών ψηφίων μπορεί να απαιτεί μισή ώρα από το χρόνο σας. Οι τελικές τιμές των αγνώστων είναι

$$T_2 = 197^\circ\text{F} > 200^\circ\text{F} \\ p_2 = 11.0 \text{ psia} > 11 \text{ psia} \\ x = 17.8\% > 18\%$$

Τι θα συνέβαινε αν όταν τοποθετούνταν ο πάγος στο δοχείο, το δοχείο περιείχε αέρα σε ατμοσφαιρική πίεση. Πως θα άλλαζε η λύση;

Παράδειγμα 9.17 Θέρμανση Βιομάζας

Κορεσμένος ατμός (που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση βιομάζας) στους 250°C , εισάγεται στον χώρο αποθήκευσης ατμού μιας συσκευής. Ο ατμός διαχωρίζεται από το διάλυμα της βιομάζας στον προθερμαντήρα και είναι πλήρως συμπυκνωμένος στον χώρο αποθήκευσης ατμού. Ο ρυθμός απώλειας θερμότητας από την συσκευή στο περιβάλλον είναι 1.5 kJ/s . Το υλικό που πρόκειται να θερμανθεί ρέει στην συσκευή της διεργασίας σε θερμοκρασία 20°C και φτάνει τους 45°C . Αν 150 kg βιομάζας με μέση ειδική θερμότητα $C_p = 3.26 \text{ J/(g)}^{\circ}\text{C}$ ρέουν ανά ώρα μέσα στη διεργασία, πόσα κιλά ατμού απαιτούνται ανά ώρα.

Σχήμα E9.17

System Boundary: Όρια συστήματος

$Q(\text{loss}) = -1.5 \text{ kJ/s}$; $Q(\text{απώλεια}) = -1.5 \text{ kJ/s}$:

Biomass solution: Διάλυμα Βιομάζας

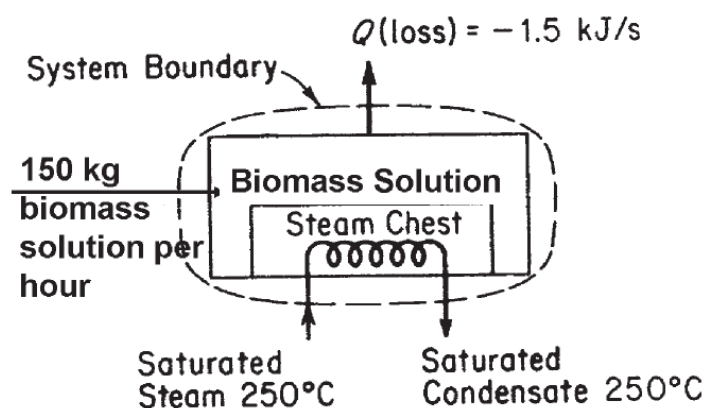
Steam Chest: Χώρος Ατμού

Saturated Steam 250°C : Κορεσμένος Ατμός 250°C

Saturated Condensate 250°C : Κορεσμένο Συμπύκνωμα 250°C

Biomass solution per hour: Διάλυμα βιομάζας ανά ώρα

Λύση



Βήματα 1 – 4

Στο Σχήμα E9.17 καθορίζεται το σύστημα και αναγράφονται οι γνωστές συνθήκες. Αν το σύστημα είναι το διάλυμα βιομάζας και ο χώρος του ατμού (ένας εναλλάκτης θερμότητας), η διεργασία είναι ανοιχτή, μη μόνιμης κατάστασης, επειδή η θερμοκρασία της βιομάζας αυξάνεται καθώς επίσης και η μάζα μέσα στο σύστημα. Υποθέστε ότι το εισερχόμενο διάλυμα είναι σε πλήρη ανάμιξη με τη βιομάζα.

Βήμα 5

Βάση: 1 hr λειτουργίας (150 kg φορτίου)

Βήματα 6 – 8

Το ισοζύγιο μάζας για τον ατμό είναι $m_{\text{μέσα}} = m_{\text{έξω}} = m$, και το m είναι άγνωστο. Το ισοζύγιο μάζας για τη βιομάζα είναι εξίσου απλό: Ότι ρέει μέσα στο σύστημα μένει μέσα στο σύστημα. Αρχικά δεν υπάρχει καθόλου βιομάζα στο δοχείο, ενώ στο τέλος της 1 ώρας υπάρχουν 150 kg διαλύματος. Ως αποτέλεσμα, με το διάλυμα της βιομάζας σχετίζονται ένας ή περισσότεροι άγνωστοι.

Στη συνέχεια, ας εξετάσουμε το ισοζύγιο ενέργειας για το σύστημα για να διαπιστωθεί αν το ισοζύγιο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του m . Το ενεργειακό ισοζύγιο είναι

$$\Delta E = Q + W - \Delta[(\hat{H} + \hat{P}E + \hat{K}E)m] \quad (\alpha)$$

Ας απλοποιήσουμε το ισοζύγιο ενέργειας

1. Η διεργασία δεν είναι μόνιμης κατάστασης οπότε $\Delta E \neq 0$.
2. Μπορούμε με ασφάλεια να υποθέσουμε ότι $\Delta KE = 0$ και $\Delta PE = 0$ μέσα στο σύστημα.
3. $W = 0$.
4. Τα ΔKE και ΔPE του εισερχόμενου και εξερχόμενου υλικού είναι μηδέν.

Συνεπώς, η Εξίσωση (α) γίνεται

$$\Delta E = \Delta U = Q - \Delta[(\hat{H})m] \quad (\beta)$$

όπου το ΔU μπορεί να υπολογιστεί απλά από την αλλαγή της κατάστασης του διαλύματος βιομάζας, και δεν περιλαμβάνει το νερό στον χώρο του ατμού, αφού θα υποθέσουμε ότι δεν υπήρχε νερό ή ατμός στον χώρο του ατμού στην αρχή και στο τέλος της ώρας.

$$(150 \text{ kg})(\hat{U}_{\text{τελικά}}) - (0 \text{ kg})(\hat{U}_{\text{αρχικά}}) = \frac{-1.50 \text{ J}}{\text{s}} \left| \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right| \frac{1 \text{ hr}}{1 \text{ hr}} - m_{\text{ατμού}}(\hat{H}_2 - \hat{H}_1) \quad (\gamma)$$

Επιλέξτε μία θερμοκρασία αναφοράς, είτε τους 0°C είτε τους 20°C . Η πίεση αναφοράς υποθέτουμε ότι είναι 1 atm. Επιλέξτε $T_{\text{αναφοράς}} = 20^\circ\text{C}$. Υποθέστε ότι $\Delta \hat{U} = \Delta \hat{H}$.

$$\hat{U}_{\text{τελικά}} = \frac{3.26 \text{ kJ}}{(\text{kg})(^{\circ}\text{C})} \bigg|_{(45 - 20)^{\circ}\text{C}} = 81.5 \text{ kJ/kg}$$

$$\hat{U}_{\text{αρχικά}} = 0 \text{ (Γιατί; Οι } 20^{\circ}\text{C} \text{ είναι η θερμοκρασία αναφοράς)}$$

$$(\hat{H}_2 - \hat{H}_1) = \Delta \hat{H}_{\text{συμπύκνωσης του ατμού}} = - \Delta \hat{H}_{\text{εξάτμισης στους } 250^{\circ}\text{C}} = -1701 \text{ kJ/kg}$$

Εισάγοντας τις τιμές αυτές στην Εξίσωση (γ):

$$12,225 = - 5400 - m (- 1701)$$

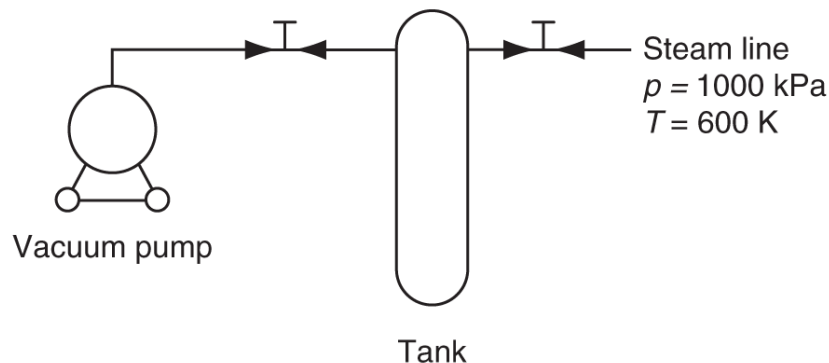
$$m_{\text{ατμού}} = 10.4 \text{ kg/hr}$$

Παράδειγμα 9.18 Σύστημα Μη Μόνιμης Κατάστασης (χωρίς να πραγματοποιείται αντίδραση)

Μία καλά μονωμένη δεξαμενή συνδέεται σε δύο βαλβίδες. Η μία συνδέεται με μία γραμμή ατμού που περιέχει ατμό στα 1000 kPa και 600 K, και η άλλη με μία αντλία κενού. Και οι δύο βαλβίδες αρχικά είναι κλειστές. Στη συνέχεια ανοίγει η βαλβίδα που συνδέεται με την αντλία κενού, η δεξαμενή αδειάζει, και η βαλβίδα κλείνει. Στη συνέχεια ανοίγει η βαλβίδα που συνδέεται με την γραμμή ατμού έτσι ώστε ο ατμός να μπει στην άδεια δεξαμενή πολύ αργά μέχρι η πίεση στην δεξαμενή να εξισωθεί με την πίεση στην γραμμή ατμού. Υπολογίστε την τελική θερμοκρασία του ατμού στην δεξαμενή. Το Σχήμα E9.18 απεικονίζει τη διεργασία.

Λύση

Σχήμα E9.18



Vacuum pump: Αντλία κενού

Tank: Δεξαμενή

Steam line: Γραμμή ατμού

Αρχικά, επιλέξτε τη δεξαμενή σαν σύστημα. Το σύστημα είναι μη μόνιμης κατάστασης (η μάζα στο σύστημα αυξάνει) και ανοιχτό. Επιλέξτε σαν βάση 1 kg ατμού.

Στη συνέχεια, βρείτε τα δεδομένα για τον ατμό στα 1000 kPa και 600 K από την βάση δεδομένων του CD του βιβλίου αυτού:

$$\hat{U} = 2837.73 \text{ kJ/kg}$$

$$\hat{H} = 3109.44 \text{ kJ/kg}$$

$$\hat{V} = 0.271 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Στη συνέχεια, καταστρώστε το γενικό ισοζύγιο ενέργειας

$$E_{t_2} - E_{t_1} = Q + W - \Delta(H + KE + PE) \quad (\alpha)$$

και απλοποιήστε το. Μπορείτε να κάνετε τις παρακάτω υποθέσεις:

1. Δε λαμβάνει χώρα καμία μεταβολή των PE και KE στο σύστημα, οπότε $\Delta E = \Delta U_{\text{μέσα}}$.
2. Το σύστημα δεν παράγει ούτε και δέχεται έργο, οπότε $W = 0$.
3. Το σύστημα δεν δέχεται ούτε και παράγει θερμότητα αφού είναι πλήρως μονωμένο, οπότε $Q = 0$.
4. Το ΔKE (και ΔPE) για τη ροή είναι μικρό και θεωρείται ίσο με το μηδέν.
5. Δεν έχουμε απομάκρυνση ρευμάτων από το σύστημα, οπότε $H_{\text{έξω}} = 0$
6. Αρχικά δεν υπάρχει καθόλου μάζα στο σύστημα, οπότε $U_{t_1, \text{μέσα}} = 0$.

Συνεπώς, η Εξίσωση (α) γίνεται

$$U_{t_2} - 0 = - (H_{\text{έξω}} - H_{\text{μέσα}})$$

και

$$\Delta U = U_{t_2} = m_{\text{μέσα}} \hat{U}_{t_2} = H_{\text{μέσα}} = m_{\text{μέσα}} \hat{H}_{\text{μέσα}} \quad (\beta)$$

Για να καθοριστεί η τελική θερμοκρασία του ατμού στην δεξαμενή, πρέπει να προσδιορίσετε οποιεσδήποτε δύο ιδιότητες του ατμού στην δεξαμενή. Μία τιμή είναι γνωστή: $p = 1000 \text{ kPa}$. Ποια άλλη ιδιότητα είναι γνωστή; Όχι η T ή η $\hat{V}$. Αλλά μπορείτε να χρησιμοποιήσετε την εξίσωση (β) για να υπολογίσετε το $\hat{U}_{t_2}$ επειδή

$$\hat{U}_{t_2} = \hat{H}_{\text{μέσα}} = 3109.44 \text{ kJ/kg} \quad (\gamma)$$

και από τους πίνακες ατμού να βρείτε με γραμμική παρεμβολή ότι για $p = 1000 \text{ kPa}$ είναι $T = 764 \text{ K}$.

Μπορεί να αναρωτιέστε ποια είναι η πηγή ενέργειας που προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του ατμού στο σύστημα σε τιμή μεγαλύτερη της γραμμής ατμού. Αν κοιτάξουμε το πρόβλημα ως ένα κλειστό σύστημα, δηλαδή ένα συστήματος που αποτελείται από τον όγκο όλου του ατμού της γραμμής ατμού που υπάρχει τελικά στην δεξαμενή, συν τον όγκο της δεξαμενής, τότε θα θεωρήσουμε πως ένα υποθετικό έμβολο συμπιέζει πολύ αργά τον όγκο του ατμού στην δεξαμενή, έτσι ώστε να ενεργεί ως ιδανικό έμβολο. Τα όρια του συστήματος αλλάζουν θέση στη διάρκεια της συμπίεσης έτσι ώστε το έμβολο να προσφέρει έργο στο σύστημα και επιπλέον η θερμοκρασία του ατμού μέσα στη δεξαμενή να ανεβαίνει.

Λεξιλόγιο Νέων Όρων

Αδιαβατική διεργασία Διεργασία στην οποία δεν παρατηρείται μεταφορά θερμότητας ($Q = 0$).

Αδιαβατικό Περιγράφει ένα σύστημα που δεν ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον στη διάρκεια μιας διεργασίας

Αισθητή θερμότητα Μεταβολή στην ενθαλπία που δεν περιλαμβάνει αλλαγή φάσης.

Αλλαγές φάσεων Η μετατροπή από την στερεή στην υγρή φάση, από την υγρή στην αέρια φάση, από την στερεή στην αέρια φάση, ή οι αντίστοιχες αντίστροφες μετατροπές.

Ανοιχτό σύστημα Σύστημα στο οποίο λαμβάνει χώρα ανταλλαγή μάζας με το περιβάλλον.

Απλή φάση Μέρος συστήματος που είναι φυσικά διακριτό και ομογενές, όπως για παράδειγμα ένα αέριο ή ένα υγρό.

Γενικό ισοζύγιο ενέργειας Η μεταβολή της ενέργειας στο εσωτερικό ενός συστήματος είναι ίση με την ανταλλαγή του τελικού έργου και της τελικής θερμότητας με το περιβάλλον συν την τελική ενέργεια που μεταφέρεται με ροή μάζας προς και από το σύστημα.

Διαγράμματα ουσιών αναφοράς Διαγράμματα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών φυσικών ιδιοτήτων, με βάση τη σύγκριση με τις ίδιες ιδιότητες κάποιας ουσίας που χρησιμοποιείται σαν ουσία αναφοράς.

Διατήρηση ενέργειας Το άθροισμα της ενέργειας ενός συστήματος συν την ενέργεια του περιβάλλοντός του, είναι σταθερό.

Δυναμική ενέργεια (PE) Η ενέργεια που έχει ένα σύστημα λόγω της δύναμης που ασκείται στη μάζα του από το βαρυτικό ή το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε σχέση με την επιφάνεια αναφοράς.

Εκτατική ιδιότητα Η ιδιότητα που εξαρτάται από την ποσότητα του υπάρχοντος υλικού, όπως ο όγκος ή η μάζα.

Ενέργεια Η ικανότητα παραγωγής έργου ή μεταφοράς θερμότητας.

Ενθαλπία (H) Το άθροισμα των μεταβλητών $U + pV$.

Εντατική ιδιότητα Η ιδιότητα που είναι ανεξάρτητη από την ποσότητα του υπάρχοντος υλικού, όπως η θερμοκρασία, η πίεση. Ή οποιαδήποτε ειδική μεταβλητή (ανά μονάδα ποσότητας υλικού, μάζας ή mole).

Έργο (W) Το έργο είναι μορφή ενέργειας που αντιπροσωπεύει μεταφορά ενέργειας μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος. Το έργο δεν αποθηκεύεται.

Έργο άξονα Το έργο που αντιστοιχεί σε δύναμη που δρα σε άξονα για να τον αναστρέψει.

Έργο ροής Έργο που εκτελείται σε σύστημα για την εισαγωγή ενός ρευστού στοιχείου σε ένα σύστημα, ή έργο που παράγεται από ένα σύστημα για την αποβολή του ρευστού υλικού στο περιβάλλον.

Εσωτερική ενέργεια (U) Η ενέργεια που αντιπροσωπεύει ένα μακροσκοπικό σύνολο όλων των μοριακών, ατομικών, και υποατομικών ενεργειών, οι οποίες ακολουθούν καθορισμένους μικροσκοπικούς κανόνες διατήρησης για δυναμικά συστήματα.

Ηλεκτρικό έργο Έργο που γίνεται σε ή από ένα σύστημα επειδή μία διαφορά δυναμικού προκαλεί τη ροή ρεύματος.

Θερμότητα (Q) Μεταφορά ενέργειας στα όρια ενός συστήματος που προκαλείται από διαφορά θερμοκρασίας (δυναμικού) μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος.

Θερμότητα εξάτμισης Η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την αλλαγή φάσης ενός υγρού σε ατμό.

Θερμότητα εξάχνωσης Η μεταβολή της ενθαλπίας στερεού κατά την απευθείας μετατροπή του σε αέριο.

Θερμότητα πήξης Το αρνητικό της θερμότητας τήξης.

Θερμότητα συμπύκνωσης Το αντίθετο της θερμότητας εξάτμισης.

Θερμότητα τήξης Η μεταβολή της ενθαλπίας κατά την αλλαγή φάσης της τήξης.

Θερμοχωρητικότητα Γνωστή και σαν ειδική θερμότητα. Η θερμοχωρητικότητα C_v είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας σε σχέση με τη θερμοκρασία σε σταθερό όγκο, ενώ η άλλη θερμοχωρητικότητα C_p είναι η μεταβολή της ενθαλπίας σε σχέση με τη θερμοκρασία σε σταθερή πίεση.

Ιδιότητα Ένα παρατηρήσιμο ή υπολογιζόμενο χαρακτηριστικό ενός συστήματος, όπως η θερμοκρασία ή η ενθαλπία.

Ισοβαρές Περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο η πίεση παραμένει αμετάβλητη στη διάρκεια της διεργασίας.

Ισόθερμο Περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο η θερμοκρασία παραμένει αμετάβλητη στη διάρκεια της διεργασίας.

Ισόχωρο Περιγράφει ένα σύστημα στο οποίο ο όγκος παραμένει αμετάβλητος στη διάρκεια της διεργασίας.

Ισχύς Έργο ανά μονάδα χρόνου.

Κατάσταση ισορροπίας Οι ιδιότητες του συστήματος παραμένουν αμετάβλητες σε δυναμική ισορροπία.

Κατάσταση Συνθήκες του συστήματος όπως η τιμή της θερμοκρασίας, της πίεσης, κ.τ.λ.

Καταστατική μεταβλητή (συνάρτηση) Η μεταβλητή (συνάρτηση), γνωστή και σαν σημειακή συνάρτηση, της οποίας η τιμή εξαρτάται μόνο από την κατάσταση του συστήματος και όχι από τον τρόπο με τον οποίο έφτασε σε αυτή, όπως για παράδειγμα η εσωτερική ενέργεια.

Κινητική ενέργεια (ΚΕ) Η ενέργεια που περιέχει ένα σύστημα λόγω της ταχύτητάς του σε σχέση με το περιβάλλον.

Κλειστό σύστημα Σύστημα στο οποίο δεν παρατηρείται ανταλλαγή μάζας με το περιβάλλον.

Λανθάνουσα θερμότητα Μεταβολή της ενθαλπίας που περιλαμβάνει αλλαγή φάσης.

Μεταβατικό Βλέπε **Μη μόνιμη κατάσταση**.

Μεταβλητή (συνάρτηση) διαδρομής Η μεταβλητή (συνάρτηση) της οποίας η τιμή εξαρτάται από το πώς πραγματοποιείται η διεργασία, όπως η θερμότητα και το έργο.

Μεταφορά ενέργειας Η μεταφορά ενέργειας από ένα άκρο ή κατάσταση σε άλλο.

Μη μόνιμη κατάσταση Το αντίθετο του συστήματος μόνιμης κατάστασης (βλέπε **Μόνιμη κατάσταση**)

Μόνιμη κατάσταση Η συσσώρευση στο σύστημα είναι μηδέν, οι ροές προς τα μέσα και προς τα έξω είναι σταθερές και οι ιδιότητες του συστήματος είναι αμετάβλητες.

Όρια Υποθετική περίμετρος που χρησιμοποιείται για να ορίσει ένα σύστημα.

Περιβάλλον Οτιδήποτε υπάρχει έξω από ένα σύστημα.

Σημειακή συνάρτηση Βλέπε **Καταστατική μεταβλητή**.

Σύστημα Η ποσότητα της ύλης ή η περιοχή του χώρου που επιλέγεται για ανάλυση.

Σύστημα ροής Βλέπε **Ανοιχτό σύστημα**

Σύστημα χωρίς ροή Βλέπε **Κλειστό σύστημα**