ΑΣΚΗΣΗ 17

α. Το εργαζόμενο μέσο θερμοκινητήρα, που λειτουργεί κυκλικά, προσλαμβάνει θερμότητα 500 kJ ενώ βρίσκεται σε θερμοκρασία 1000 K και αποβάλλει θερμότητα 400 kJ, όταν η θερμοκρασία του είναι 500 K.

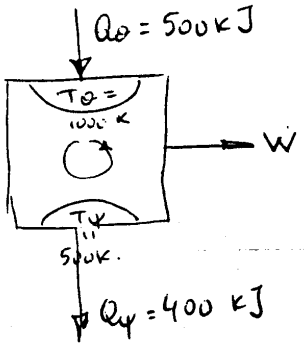
β. Ψυγείο, που εργάζεται κυκλικά, απορροφά θερμότητα 1,8 MJ/h όταν το εργαζόμενο μέσο έχει θερμοκρασία -23°C και αποβάλλει θερμότητα 2,7 MJ/h, όταν το εργαζόμενο μέσο έχει θερμοκρασία 47°C

γ. Θερμοκινητήρας αποδίδει ισχύ 10 kW απορροφώντας θερμότητα 30 MJ/h υπό θερμοκρασία 700°C και απορρίπτοντας θερμότητα 10 MJ/h στην ατμόσφαιρα, που έχει θερμοκρασία 30°C

Τι έχετε να παρατηρήσετε για τις τρεις αυτές μηχανές;

Λύση

α)



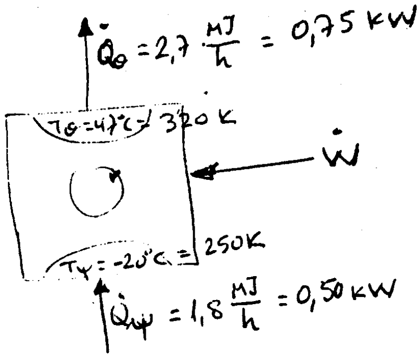
$$\oint \frac{dQ}{T} = \frac{Q_Θ}{T_Θ} - \frac{Q_Ψ}{T_Ψ} =$$

$$= \frac{500\,kJ}{1000\,K} - \frac{400\,kJ}{500\,K} =$$

$$= (0{,}5 - 0{,}8)\ kJ/K = -0{,}3\ kJ/K < 0$$

Η ~~θερμική~~ μηχανή κατά τη λειτουργία της επαληθεύει την ανισότητα Clausius ($\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$) και άρα λειτουργεί σύμφωνα με το Β' Θ Α

β)



$$\oint \frac{d\dot{Q}}{T} = \frac{\dot{Q}_Ψ}{T_Ψ} - \frac{\dot{Q}_Θ}{T_Θ} =$$

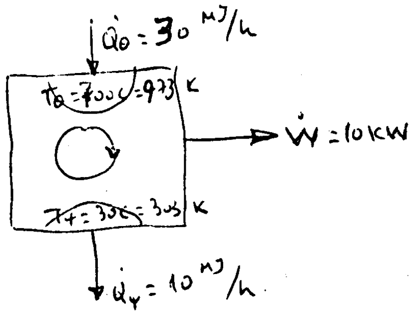
$$= \frac{0{,}50}{250} - \frac{0{,}75}{320} =$$

$$= 0{,}0020 - 0{,}0023 =$$

$$= -0{,}0003 < 0.$$

Το ψυγείο κατά τη λειτουργία του επαληθεύει την ανισότητα Clausius και άρα λειτουργεί σύμφωνα με το Β' ΘΑ

γ)



$$\oint \frac{d\dot{Q}}{T} = \frac{\dot{Q}_Θ}{T_Θ} - \frac{\dot{Q}_Ψ}{T_Ψ} = \frac{30\ MJ/h}{973\ K} - \frac{10\ MJ/h}{303\ K} =$$

$$= 0{,}0086 - 0{,}0092 = -0{,}0006 <$$

(επαληθεύεται το Β' ΘΑ)

$$\oint \dot{Q} = \dot{Q}_Θ - \dot{Q}_Ψ = 20\ \frac{MJ}{h} = 5{,}56\ kW$$

$$\oint \dot{W} = \dot{W} = 10\ kW$$

$$\oint \dot{Q} \neq \oint \dot{W}$$ (δεν ισχύει Α' ΘΑ)

Η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει.

28 Τετάρτη 9/5/90

Άσκηση

Νά ἀποδείξετε ὅτι γιά σύστημα (P,V,T) ἰσχύουν οἱ σχέσεις:

α) $ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{a}{k} dv$

β) $ds = c_p \frac{dT}{T} - va\, dp$

γ) $ds = \frac{kc_v}{aT} dp + \frac{c_p}{a\, vT} dv$

δ) $du = c_v dT + (\frac{Ta}{k} - p)\, dv$

ε) $du = (c_p - pva)dT + (pkv - Tav)dp$

(στ) $du = \frac{c_v k}{a} dp + (\frac{c_p}{av} - p)\, dv$

(α) $s = s(T, v) \Rightarrow ds = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T dv$ (1)

$$c_v \hat{=} \left(\frac{\partial q}{\partial T}\right)_v \underset{\uparrow}{=} \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \underset{\uparrow}{=} T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v \quad (2)$$

$đq = du + đw$ $\quad$ $đq = T\,ds$

$$\begin{matrix} p & T & \leftarrow + \\ s & v & \\ & \uparrow - & \end{matrix}$$

Maxwell $\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ (3)

$$(1) \xrightarrow{(2),(3)} ds = \frac{c_v}{T} dT + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv \quad (4)$$

$\alpha \hat{=} \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$ — ισόθλιπτη διαστολιμότητα

$\kappa \hat{=} -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T$ — ισοθερμοκρασιακή συμπιεστότητα

$\beta = \frac{1}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ — ισόχωρη εντατικότητα

$$\boxed{\alpha = \kappa p \beta} \quad (5)$$

$$(4) \overset{(5)}{\Rightarrow} \boxed{ds = c_v \frac{dT}{T} + \frac{\alpha}{\kappa} dv.} \quad (\alpha)$$

(β) $s = s(T, p) \rightarrow ds = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p + \left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T dp.$ (6)

$$c_p \hat{=} \left(\frac{\partial q}{\partial T}\right)_p \underset{\uparrow}{=} \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \underset{\uparrow}{=} T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p \quad (7)$$

$đq = dh + đw_t$ $\quad$ $đq = T\,ds$

$$(6) \xrightarrow{(7),\ \text{Maxwell}} ds = c_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$$

$$\boxed{ds = c_p \frac{dT}{T} - \alpha v\, dp} \quad (\beta)$$

(γ) $s = s(p,\upsilon) \Rightarrow ds = \left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_\upsilon dp + \left(\frac{\partial s}{\partial \upsilon}\right)_p d\upsilon$ (8)

$$\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_\upsilon = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_\upsilon \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_\upsilon = \frac{c_\upsilon}{T} \cdot \frac{\kappa}{a} \qquad (9)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_\upsilon = \frac{1}{\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_\upsilon} = \frac{1}{\beta p} = \frac{1}{\frac{a}{\kappa}}$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial \upsilon}\right)_p = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \upsilon}\right)_p = \frac{c_p}{T} \cdot \frac{1}{a.\upsilon} \qquad (10)$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial \upsilon}\right)_p = \frac{1}{\left(\frac{\partial \upsilon}{\partial T}\right)_p} = \frac{1}{a.\upsilon}$$

$$(8) \xrightarrow{(9)\,(10)} \boxed{ds = \frac{\kappa . c_\upsilon}{aT} dp + \frac{c_p}{a.\upsilon T} d\upsilon} \qquad (\gamma)$$

(δ) Α'ΘΑ $\quad đq = du + đw$

$đq = T.ds$, $\quad đw = p d\upsilon$.

$$\Rightarrow du = \underset{(\alpha)}{T.ds} - p d\upsilon.$$

$$\boxed{du = c_\upsilon dT + \left(\frac{aT}{\kappa} - p\right) d\upsilon} \qquad (\delta)$$

(ε) $\quad du = T\,ds - p\,dv \quad (11)$

$\uparrow$ (β)

$$v = v(T,p) \Longrightarrow dv = \underbrace{\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p}_{a\cdot v} dT + \underbrace{\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T}_{-\kappa v} dp \qquad (12)$$

$$(11) \xrightarrow{(12)} du = T\left(c_p\frac{dT}{T} - a\cdot v\,dp\right) - p\,(a v\,dT - \kappa v\,dp)$$

$$\Longrightarrow \boxed{du = (c_p - a\cdot v\cdot p)\,dT + (\kappa v p - a\cdot v T)\,dp} \quad (ε)$$

(στ). $\quad du = T\,ds - p\,dv$

$\uparrow$ (γ)

$$\Longrightarrow \boxed{du = \frac{\kappa\cdot c_v}{a}\,dp + \left(\frac{c_p}{a\cdot v} - p\right)dv} \quad (στ)$$

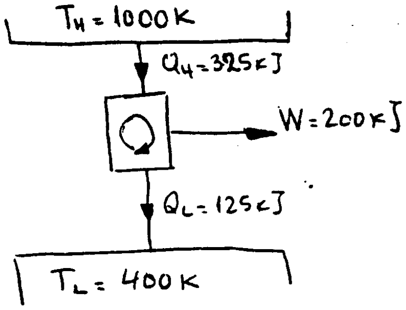
21

Ἄσκησις

Θερμοκινητήρας ἐργάζεται κυκλικά μεταξύ τῶν θερμοδοχείων T_H = 1000 K καί T_L = 400 K. Ὁ θερμοκινητήρας ἀπορροφᾶ ἀπό τό θερμοδοχεῖο ὑψηλῆς θερμοκρασίας θερμότητα Q_H = 325 kJ καί ἀπορρίπτει πρός τό θερμοδοχεῖο χαμηλῆς θερμοκρασίας θερμότητα 125 kJ, ἐνῶ ταυτόχρονα ἀποδίδει μηχανικό ἔργο W = 200 kJ.

Νά ἐξετασθῆ ἄν ἡ μηχανή αὐτή εἶναι ἀντιστρεπτή, μή ἀντιστρεπτή ἤ ἀδύνατη.

Λύση



Γιά τήν ὑπ' ὄψη μηχανή, ἐπειδή ἰσχύει ἡ $W = Q_H - Q_L \Rightarrow$ ἡ ἐπαληθεύεται τό Α' Θ Α $\left(\oint dQ = \oint dW\right)$

Ἄν ἡ μηχανή ἦταν ἀναστρέψιμη, ὅπως προκύπτει ἀπό τήν Θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασιῶν θά ἴσχυε ἡ

$$\frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_L}{T_L} \rightsquigarrow \frac{325}{125} : \frac{1000}{400} \rightsquigarrow 2,6 \neq 2,5$$

Ἄρα ἡ μηχανή δέν εἶναι ἀναστρέψιμη.

Ὁ βαθμός ἀποδόσεως τῆς μηχανῆς εἶναι $\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{125}{325} = 0,616$ ἤ 61,6%

Ἡ ἀναστρέψιμη μηχανή Carnot πού λειτουργεῖ ἀνάμεσα στά δύο αὐτά θερμοδοχεῖα καί πού ἔχει τόν μεγαλύτερο δυνατό βαθμό ἀποδόσεως, ἔχει $\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{400}{1000} = 0,6$ ἤ 60%

Ἐπειδή $\eta > \eta_C$ ἄτοπον $\Longrightarrow$ Η ΜΗΧΑΝΗ ΕΙΝΑΙ ΑΔΥΝΑΤΗ

27

30%

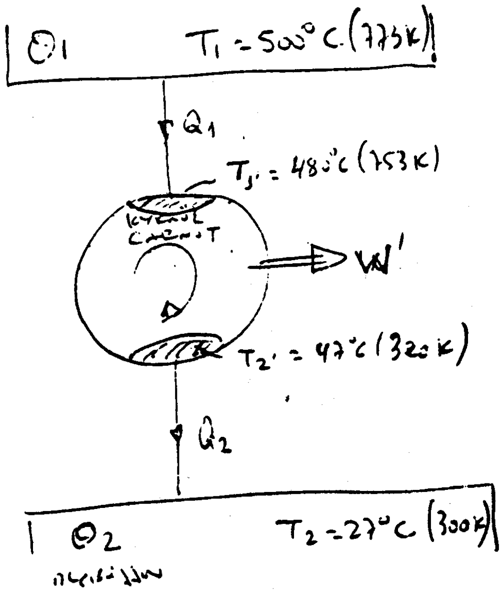
(3) Θερμοδοχείο με T_1=500°C δίδει θερμότητα σε κύκλο Carnot ο οποίος απορρίπτει θερμότητα σε περιβάλλον με T_2=27°C.
Γιά την μετάδοση θερμότητος από και προς τον κύκλο Carnot απαιτείται διαφορά θερμοκρασίας 20°C.

Ζητούνται:

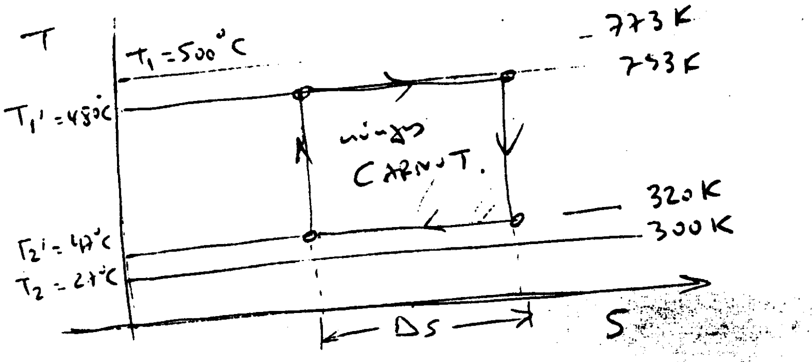
1. Θεωρητικός βαθμός αποδόσεως κύκλου Carnot
2. Παραγωγή εντροπίας γιά κάθε 1 kg εργαζομένου σώματος.
3. Πόσο έργο χάνεται λόγω της υπάρξεως της ανωτέρω διαφοράς θερμοκρασίας;

Η εκφώνηση επιστρέφεται

3ον



Διαφορά θερμοκρασιών $\Delta T_1 = T_1 - T_1' = 20\,K$,
$\Delta T_2 = T_2' - T_2 = 20\,K$,
απαιτούνται για να είναι δυνατή η ανταλλαγή θερμότητας σε πεπερασμένο χρόνο.

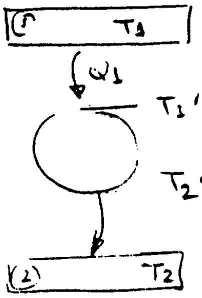


2)

α) θεωρητικός βαθμός απόδοσης κύκλου CARNOT.

$$\eta' = 1 - \frac{T_2'}{T_1'} = 1 - \frac{320\,K}{753\,K} = 1 - 0{,}4250 = 0{,}5750$$

$$\eta' \simeq 57{,}5\%$$



Το θερμοδοχείο (1) αποβάλλει ποσό θερμότητας Q_1 υπό θερμοκρασία T_1. Άρα η εντροπία του ελαττώνεται κατά

$$\Delta S_1^{\varepsilon\alpha\tau} = -\frac{q_1}{T_1}$$

Το εργαζόμενο σώμα (σ) προσλαμβάνει υπό θερμοκρασία $T_1' < T_1$ το ποσό θερμότητας q_1 και άρα η εντροπία του αυξάνεται κατά

$$\Delta S_1^{\sigma} = \frac{q_1}{T_1'}$$

Η συνολική αύξηση εντροπίας κατά την είσοδο της θερμότητας είναι

$$\Delta S_1 = \Delta S_1^{\theta} + \Delta S_1^{\sigma} = q_1\left(\frac{1}{T_1'} - \frac{1}{T_1}\right) \quad (1)$$

Ομοίως κατά την έξοδο έχουμε μεταβολή της εντροπίας

$$\Delta S_2 = \Delta S_2^{\theta} + \Delta S_2^{\sigma} = q_2\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_2'}\right) \quad (2)$$

Λόγω του αναστρέψιμου κύκλου CARNOT έχουμε

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{T_1'}{T_2'} \Rightarrow \frac{q_1}{\underbrace{q_2 - q_1}_{-w}} = \frac{T_1'}{T_2' - T_1'} \Rightarrow q_1 = w\frac{T_1'}{T_1' - T_2'} \quad (3)$$

$$q_2 = w\frac{T_2'}{T_1' - T_2'} \quad (4)$$

Ομοίως έχουμε

$$(1)(3) \Rightarrow \Delta S_1 = w\frac{T_1'}{T_1' - T_2'} \cdot \frac{\overbrace{T_1 - T_1'}^{\Delta T = 20K}}{T_1' \cdot T_1} \Rightarrow \Delta S_1 = w\frac{\Delta T}{T_1(T_1' - T_2')} \quad (5)$$

$$(2)(4) \rightarrow \Delta S_2 = w\frac{T_2'}{T_1' - T_2'} \cdot \frac{T_2' - T_2}{T_2 T_2'} \Rightarrow \Delta S_2 = w\frac{\Delta T}{T_2(T_1' - T_2')} \quad (6)$$

Η συνολική μεταβολή της εντροπίας είναι

$$(5),(6) \rightarrow \Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

$$\boxed{\frac{\Delta S}{w} = \frac{\Delta T}{T_1' - T_2'}\left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}\right)}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta S}{w} = \frac{20\,K}{(480 - 47)\,K}\left(\frac{1}{773} + \frac{1}{300}\right) K^{-1}$$

$$\boxed{\frac{\Delta S}{w} = 9{,}98\ K^{-1}}$$

Δηλαδή για κάθε 1J που παράγεται από 1kg εργαζόμενου μέσου έχω μία αύξηση της εντροπίας του συστήματος κατά $\Delta S = 9{,}98\ J/K$

$$\boxed{\Delta S = 9{,}98\ \frac{J}{kg\,K}}$$

γ) Χωρίς τις διαφορές θερμοκρασίας $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 20K$ ο κύκλος CARNOT θα είχε βαθμό απόδοσης.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300K}{773K} = 1 - 0{,}3881 = 0{,}6119$$

$$\eta \simeq 61{,}19\%$$

Επειδή $\eta' = \frac{W'}{Q_1}$ και $\eta = \frac{W}{Q_1}$ $\Rightarrow \Delta W = W - W' = (\eta - \eta')Q_1$

ή $\frac{\Delta W}{W} = \frac{\eta - \eta'}{\eta} = \frac{0{,}6119 - 0{,}5750}{0{,}6119} = 0{,}0603$

ή $\Delta W \simeq 0{,}06\, W$ ή $6\%\, W$

Δηλαδή στη περίπτωση που υπάρχουν οι διαφορές θερμοκρασίας χάνεται το 6% του έργου που θα είχε αν δεν υπήρχαν οι διαφορές θερμοκρασίας

Άσκηση 22η

Σε στεγανό δοχείο σταθερού όγκου περιέχονται 1 kg O_2 και 1 kg N_2. Τα δύο αέρια καταλαμβάνουν ανεξάρτητους χώρους του δοχείου.

Ζητούνται
α) Η αύξηση της εντροπίας (θεωρητική), κατά την ανάμιξη των δύο αερίων
β) Το ελάχιστο απαιτούμενο έργο για τον διαχωρισμό του μίγματος αν η θερμοκρασία είναι $t = 27°C$

Άσκηση 22

α) $\Delta\bar{S} = -\underline{R}\cdot(x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2)$

όπου $\begin{cases} x_1 = \dfrac{n_1}{n} = \dfrac{\frac{m_1}{M_1}}{\frac{m_1}{M_1}+\frac{m_2}{M_2}} = \dfrac{\frac{1}{32}}{\frac{1}{32}+\frac{1}{28}} \simeq 0{,}53 \\ x_2 = \dfrac{n_2}{n} = \dfrac{\frac{m_2}{M_2}}{\frac{m_1}{M_1}+\frac{m_2}{M_2}} = \dfrac{\frac{1}{28}}{\frac{1}{32}+\frac{1}{28}} \simeq 0{,}47 \end{cases}$

$1 \rightarrow O_2 \rightarrow \begin{cases} m_1 = 1\,Kg \\ M_1 = 32\,Kg/Kmol \end{cases}$

$2 \rightarrow N_2 \rightarrow \begin{cases} m_2 = 1\,Kg \\ M_2 = 28\,Kg/Kmol \end{cases}$

n_1	n_2

$\rightsquigarrow \Delta\bar{S} = -8{,}314 \dfrac{KJ}{Kmol.K}\left(\overbrace{0{,}53 \underbrace{\ln 0{,}53}_{-0{,}63}}^{0{,}33} + \overbrace{0{,}47 \underbrace{\ln 0{,}47}_{-0{,}76}}^{0{,}36}\right)$

$\rightsquigarrow \Delta\bar{S} = 5{,}71 \dfrac{KJ}{Kmol.K}$

για $n = n_1 + n_2 = \frac{1}{32} + \frac{1}{28} \simeq 0{,}067\ Kmol$

$\Rightarrow \Delta S = n\Delta\bar{S} = 0{,}067 \cdot 5{,}71 \dfrac{KJ}{K} \simeq 0{,}382 \dfrac{KJ}{K}$

β) $Q_{id} = W_{id} = T \cdot \Delta S_{id} = 300\cancel{K} \cdot 0{,}382 \dfrac{KJ}{\cancel{K}} \simeq 115\ KJ$

$\boxed{115\,KJ}$

$n_1 = \dfrac{m_1}{M_1} = \dfrac{1\,Kg}{32\,Kg/Kmol}$, $n_2 = \dfrac{m_2}{M_2} = \dfrac{1\,Kg}{28\,Kg/Kmol}$

$n_1 = 0{,}03125\ Kmol$

$n_2 = 0{,}03571\ Kmol$ ‖ $n = 0{,}06696\ Kmol$

$x_1 = \dfrac{n_1}{n} = 0{,}467$

$x_2 = \dfrac{n_2}{n} = 0{,}533$

Άσκηση [illegible] 3

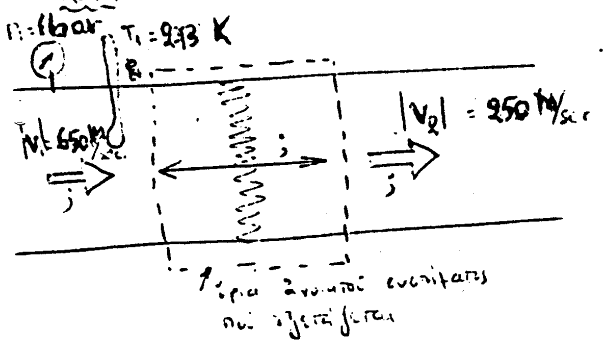
Μέσα σέ όριζόντιο άεραγωγό, σταθερῆς διατομῆς, ρέει άδιαβατικά άτμοσφαιρικός άέρας μέ σταθερή παροχή. Σέ σημεῖο τοῦ άεραγωγοῦ παρατηρεῖται στάσιμο κύμα (άσυνέχεια ροῆς). Ἡ κατεύθυνση τῆς ροῆς εἶναι ἄγνωστη στόν παρατηρητή, άλλά εἶναι γνωστά ή θερμοκρασία, ή πίεση καί τό μέτρο τῆς ταχύτητας τοῦ άέρα στήν άριστερή πλευρά τοῦ κύματος ($t_1 = 0^oC$, $p_1 = 1$ bar καί $V_1 = 650$ m/s) καί έπίσης τό μέτρο τῆς ταχύτητας τοῦ άέρα στή δεξιά πλευρά τοῦ κύματος ($V_2 = 250$ m/s)

<u>Ζητεῖται</u> νά προσδιορισθεῖ ή κατεύθυνση τῆς ροῆς.

Άσκηση → [illegible]

Μέσα σε αγωγό σταθερής διατομής ρέει αέρας με σταθερή παροχή και αδιαβατικά. Σε σημείο του αγωγού παρατηρείται στάσιμο κύμα (ωστικό κύμα). Η κατεύθυνση της ροής είναι άγνωστη στον παρατηρητή, αλλά είναι γνωστά η θερμοκρασία, η πίεση και η ταχύτητα στο αριστερό μέρος του κύματος, που αντίστοιχα είναι 0°C, 1 bar και 650 m/s. Η ταχύτητα στη δεξιά πλευρά του κύματος είναι 250 m/s. Να καθοριστεί η κατεύθυνση της ροής.

Λύση



Η κρίσιμη πίεση και θερμοκρασία του αέρα είναι 37,2 atm και ≃ 132 K αντίστοιχα. Έτσι για πιέσεις της τάξης της 1 atm και θερμοκρασίες της 0°C, ο αέρας συμπεριφέρεται σαν Τ.Α. Οπότε θα έχουμε

$k = 1,4 \qquad M = 29 \Rightarrow \begin{cases} R = 287\ J/kg\cdot K \\ c_v = 717\ \ " \\ c_p = 1004\ \ " \end{cases}$

$$Τ.Α. \begin{cases} p_1 v_1 = RT_1 \\ p_2 v_2 = RT_2 \end{cases}$$

και δίνεται σταθερής ροής

$$\begin{cases} \dot m_1 = \dot m_2 \quad (\text{ανεξάρτητα από την κατεύθυνση ροής}) \end{cases}$$

$$\rightsquigarrow \dot m_1 = \frac{\dot V_1}{v_1} = \frac{S_1 \cdot V_1}{v_1} = \dot m_2 = \frac{\dot V_2}{v_2} = \frac{S_2 \cdot V_2}{v_2}$$

όπου $\dot V_1, \dot V_2$ παροχές όγκου

v_1, v_2 ειδικοί όγκοι

V_1, V_2 ταχύτητες

S_1, S_2 διατομές αγωγού (δίνεται ότι $S_1 = S_2 = S = σταθ.$)

$$\Rightarrow \frac{V_2}{v_2} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{V_1}{\frac{RT_1}{p_1}} = \frac{p_1 V_1}{RT_1} \Rightarrow \boxed{v_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{RT_1}{p_1}} \quad (1)$$

$$1^{ος}\ Θ.Ν. \Rightarrow \underset{\substack{\| \\ 0 \\ \text{αδιαβατική ροή}}}{dq} = \underset{\substack{\downarrow\ Τ.Α. \\ c_p dT}}{dh} + \underset{\substack{\| \\ 0 \\ \text{δεν παράγεται έργο}}}{dw_t} + \underset{\substack{\downarrow \\ \frac{1}{2} V dV}}{dKE} + \underset{\substack{\| \\ 0 \\ \text{οριζόντιος αγωγός}}}{d\Delta E}$$

$$\rightsquigarrow 0 = \dot m\, c_p \cdot (T_2 - T_1) + \frac{1}{2}\dot m\,(V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow \boxed{T_2 = T_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot c_p}} \quad (2)$$

Επειδή το ακροφύσιο είναι αδιαβατικό, αλλά <u>μη αναστρέψιμο</u> (διατάραξη στρωτής ροής) και γνωρίζουμε από το Β' ΘΑ ότι όταν μη αναστρέψιμο ακροφύσιο εξελίσσεται ώστε να αυξάνει την εντροπία του, συμπεραίνουμε πως στη κατεύθυνση της ροής η εντροπία θα αυξάνει, δηλαδή

$$dS > \frac{dQ}{T} \quad \text{όπου } Q = 0$$

$$\Rightarrow \underline{dS > 0}$$

Αυτό σημαίνει πως αν βρούμε την τιμή της εντροπίας αριστερά (1) και δεξιά (2) του αγωγού και συγκρίνουμε τις τιμές της μεταβολής της εντροπίας, θα μπορούμε να προσδιορίσουμε την κατεύθυνση της ροής (προς τα εκεί που αυξάνει η εντροπία). Είναι γνωστά τα

$p_1 = 1\,bar$ $\qquad$ $v_2 \longrightarrow (1)$ $\quad v_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot v_1 = \frac{250}{650} \cdot 0{,}78 \simeq 0{,}30 \frac{m^3}{kg}$

$T_1 = 273\,K$ και $\qquad$ $T_2 \longrightarrow (2)$

$\rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{p_1} = \frac{287 \cdot 273}{10^5} \simeq 0{,}78 \frac{m^3}{kg}$ $\quad \rightsquigarrow p_2 = \frac{RT_2}{v_2}$

Ευρίσκουμε αναγκαία την μεταβολή της εντροπίας

$$\text{Α' ΘΑ} \Rightarrow \underbrace{T\,ds}_{\delta q} = \underbrace{dh}_{c_p dT} + \underbrace{dw_t}_{-v\,dp} \Rightarrow ds = c_p \frac{dT}{T} - \underbrace{\frac{v}{T}}_{\frac{R}{p}} dp$$

$$\Rightarrow \boxed{s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}}$$

$$(1) \Rightarrow v_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot \frac{RT_1}{p_1} = \frac{250\,m/s}{650\,m/s} \cdot \frac{287\,J/kgK \cdot 273\,K}{1 \cdot 10^5\,N/m^2} = \frac{250 \cdot 287 \cdot 273}{650 \cdot 10^5} \frac{m^3}{kg} \simeq 0{,}30\,\frac{m^3}{kg}$$

$$(2) \Rightarrow T_2 = T_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2c_p} = 273\,K - \frac{250^2 - 650^2}{2 \cdot 1004\,J/kgK} \underbrace{m^2/s^2}_{\frac{kg\,m}{s^2} \cdot \frac{m}{kg}} = \left(273 - \frac{625 - 4225}{2008} \cdot 100\right) K \simeq 452\,K$$

$$\Rightarrow p_2 = \frac{RT_2}{v_2} = \frac{287\,J/kgK \cdot 452\,K}{0{,}30\,m^3/kg} = 4{,}3\,bar$$

[Επειδή $p_2 > p_1 = 1\,bar$ θα λέγαμε αρχικά ότι η ροή είναι από $2 \longrightarrow 1$]

$$\Rightarrow s_2 - s_1 = 1004\,J/kgK \cdot \underbrace{\ln \frac{452}{273}}_{0{,}506} - 287\,J/kgK \, \underbrace{\ln \frac{4{,}3}{1}}_{1{,}46} = (509 - 404)\,J/kgK = \underline{105\,J/kgK}$$

Επειδή όμως $s_2 > s_1$ <u>η ροή είναι από $1 \longrightarrow 2$</u>