3.6 συνέχεια

E-11

Εφ' όσον $P_1 = 1,25$ atm $> P_{εξ} = 0,5$ atm

⇒ Το αέριο απότομα θα εκτονωθεί υπό σταθερή εξωτερική
(όχι αντιστρεπτά)
πίεση $P_{εξ} = 0,5$ atm και θα αποκτήσει έναν συνολικό όγκο $V_2 > V_1$ στον οποίο η εσωτερική του πίεση P_2 θα έχει ισορροπήσει την εξωτερική του ($P_{εξ}$)

Όπως $P_2 = \dfrac{N.R_u.T_1}{V_2} = \dfrac{\frac{7,24}{30}.0,082.294}{11,64}$ atm $= 0,5$ atm

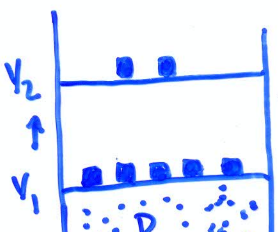
Το έργο που παράγει το αέριο είναι $W_{out} = P_2 . \Delta V \Rightarrow$

$\Rightarrow W_{out} = 0,5 \text{ atm} . 6,99 \text{ L} = 3,495 \text{ L.atm}$ } ⇒

(1 L.atm = 101,3 J)

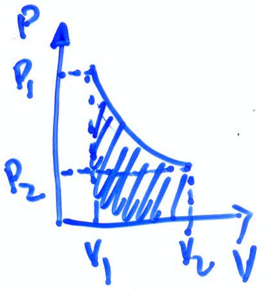
$\Rightarrow W_{out} = 354 \text{ J} \Rightarrow \boxed{W_{μη\ αντ} = 354 \text{ J}}$

Αντιστρεπτή διεργασία



Αφαιρούμε σταδιακά ένα-ένα βαράκι

$$P.V = N.R_u T \Rightarrow P = \frac{N.R_u T}{V}$$



$$W_{αντ} = \int_{V_1}^{V_2} P.dV = N.R_u.T.\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$W_{αντ.} = \frac{7,24}{30}\, 0,082.294 \ln\frac{11,64}{4,65} \text{ L.atm}$$

$\Rightarrow W_{αντ} = 5,34 \text{ L.atm} = 540,8 \text{ J}$

$\boxed{W_{αντ} = 540,8 \text{ J}}$

Διαπίστωση

$W_{αντιστρεπτό} > W_{μη\ αντιστρεπτό}$

3.7 1 mol ενός μονατομικού ιδανικού αερίου ($\bar{C}_v = 12{,}47 \frac{J}{K.mol}$) (E-12)

εκτονώνεται αδιαβατικά ($P.V^{5/3}$ = σταθερό) από

$V_1 = 5m^3$ σε $V_2 = 25m^3$. Δίνεται $T_1 = 298K$ (αρχική θερμοκρασία)

Να υπολογιστούν: Q, W, ΔU, ΔH $\quad R_u = 8{,}314 \ J/mol.K$

→ Q = 0 επειδή η διεργασία είναι αδιαβατική

→ $\Delta U = Q - W$ (Α' Νόμος Θερμοδυναμικής)

$\Rightarrow \Delta U = -W$

→ $\Delta U = N.\bar{C}_v.\Delta T$

Χρειάζεται να βρούμε το ΔΤ δηλ. την T_2.

$PV^{5/3}$ = σταθερό $\Rightarrow P_1.V_1^{5/3} = P_2.V_2^{5/3} \xrightarrow{\text{Ιδ. αέριο}}$

$$\Rightarrow \frac{\cancel{N}.\cancel{R_u}T_1}{V_1}.V_1^{5/3} = \frac{\cancel{N}.\cancel{R_u}T_2}{V_2}V_2^{5/3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_1.V_1^{2/3} = T_2 V_2^{2/3} \Rightarrow T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{2/3} \Rightarrow T_2 = 298\left(\frac{5}{25}\right)^{2/3} K$$

$\Rightarrow T_2 = 101{,}9\,K$

Άρα $\Delta U = N.\bar{C}_v.\Delta T = 1^{mol}.12{,}47\frac{J}{K.mol}(101{,}9^K - 298K)$

$\Rightarrow \Delta U = -12{,}47 \cdot 196{,}1\ J \Rightarrow \Delta U = -2{,}44\,KJ$

Άρα $W = -\Delta U \Rightarrow W = 2{,}44\,KJ$ (θετικό γιατί παράγεται από το αέριο)

$$\Delta H = N.\bar{C}_p.\Delta T = N(\bar{C}_v + R_u).\Delta T \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta H = 1\,mol\,(12{,}47 + 8{,}314)\frac{J}{K.mol}(-196{,}1)K$$

$$\Rightarrow \Delta H = -4{,}08\,KJ$$

(3.8) Ένα δωμάτιο διαστάσεων 4m×5m×6m θερμαίνεται μέσω ηλεκτρικού καλοριφέρ. Το καλοριφέρ πρέπει να ανεβάσει τη θερμοκρασία του δωματίου από τους 5°C στους 25°C μέσα σε 11 min. Υποθέστε ότι το δωμάτιο δεν έχει απώλειες και ότι η ατμοσφαιρική πίεση είναι 100 kPa. Ποιά είναι η απαιτούμενη ισχύς του καλοριφέρ; Δίνεται $c_{v,αέρα} = 0,718\ kJ/kg.K$, $R_{αέρα} = 0,287\ kJ/kg.K$

300K σταθερή

(E-13)

$$\Delta U_{αέρα} = m_{αέρα} \cdot C_U \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$P.V = m_{αέρα} \cdot R \cdot T \ (2) \Rightarrow m_{αέρα} = \frac{P.V}{R.T} = \frac{100.10^3 . 120\ Pa.m^3}{0,287.10^3 .300 \frac{J \cancel{K}}{kg\cancel{K}}}$$

$$\Rightarrow m_{αέρα} = 139,4\ Kg . \frac{\cancel{Pa.m^3}}{\cancel{J}} \Rightarrow m_{αέρα} = 139,4\ Kg$$

Άρα $\Delta U_{αέρα} = 139,4\ \cancel{kg} . 0,718 \frac{KJ}{\cancel{Kg}\cancel{K}} . 20\cancel{K} = 2001,8\ KJ$

Άρα το καλοριφέρ πρέπει να παρέχει 2001,8 KJ σε 11 m ⇒

$$\Rightarrow P_{καλοριφέρ} = \frac{2001,8\ KJ}{11 . 60\ sec} \Rightarrow 3,03\ KW$$

(3.9) Ατμοσφαιρικός αέρας κατέρχεται και συμπιέζεται αδιαβατικά. Εξηγήστε γιατί θερμαίνεται.

$Q = 0$ (αδιαβατική διεργασία)

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = -W = -(W_{out} - W_{in}) = W_{in} - W_{out}$$

Κατά την αδιαβατική συμπίεση, έργο πραγματοποιείται επάνω στο σύστημα (εδώ ο αέρας) - Δηλαδή έχουμε $W_{in} > 0$ και $W_{out} = 0$

Άρα $\Delta U = W_{in} > 0 \Rightarrow \Delta U > 0 \Rightarrow$

Εσωτερική ενέργεια του αέρα μεγαλώνει.

Επεξήγηση θερμοκρασιακών αναστροφών στην ατμόσφαιρα.

Κατερχόμενος αέρας πιό θερμός από τον από κάτω ⇒

⇒ εγκλωβισμός ρύπων από κάτω.

E-14

3.10) Ψύξη μάζας Σιδήρου σε Υδάτινη Δεξαμενή

(Σελ. 233 του βιβλίου)

Ένα κομμάτι Fe μάζας 50 kg στους 80°C βυθίζεται σε μονωμένο δοχείο που περιέχη 0,5 m^3 H_2O στους 25°C. Να υπολογιστεί η θερμοκρασία στην θερμική ισορροπία. $c_{νερού} = 4,184 \frac{kJ}{kg \cdot °C}$ $c_{Fe} = 0,45 \frac{kJ}{kg \cdot °C}$

$\upsilon_{H_2O} = 0,001 \frac{m^3}{kg}$

<u>Σύστημα:</u> Νερό + Fe. Κλειστό - Μονωμένο

$Q = 0$

$(Q_{in} = Q_{out} = 0)$

$$\left.\begin{matrix} c_{νερού} = σταθερή \\ c_{Fe} = σταθερή \end{matrix}\right\} \text{Ασυμπίεστα}$$

↓

Δεν υπάρχει έργο ογκομεταβολής ή άλλου είδους έργο

$$\Delta U = \cancel{Q}^{0} - \cancel{W}^{0} = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow \Delta U_{H_2O} + \Delta U_{Fe} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{m_{H_2O} c_{H_2O} \cdot (T_2 - T_1)_{H_2O} + m_{Fe} \cdot c_{Fe} (T_2 - T_1)_{Fe} = 0}$$

$$\upsilon_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{m_{H_2O}} \Rightarrow m_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{\upsilon_{H_2O}} = \frac{0,5\ m^3}{0,001\ m^3} \cdot kg = 500\ kg$$

Ειδικός όγκος H_2O

Βρίσκουμε $\boxed{T_2 = 25,6\ °C}$: Η θερμοκρασία του H_2O αυξάνεται ελάχιστα

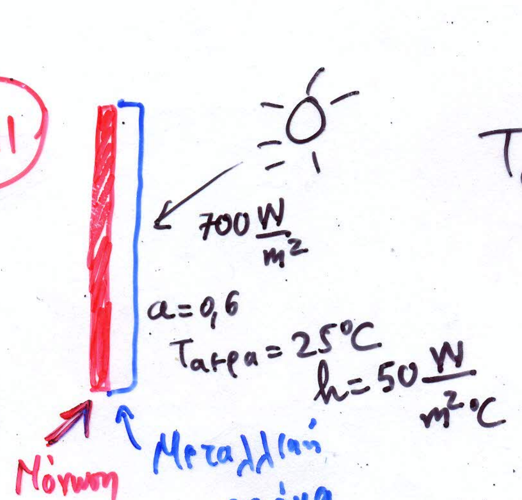
Τελική θερμοκρασία

↓ Γιατί;

Μεγάλη μάζα

Μεγάλη ειδική θερμότητα

3.11



$T_{επιφ} = ;$ όταν απώλειες θερμότητας με συναγωγή είναι ίσες με την ηλιακή ενέργεια που απορροφά η πλάκα

Αγνοείστε την απώλεια θερμότητας λόγω ακτινοβολίας

3.11 συνέχεια

Πρέπει. $\dot{Q}_{απορροφούμενη} = \dot{Q}_{εκπεμπόμενη}$

$$\Downarrow$$

θερμοκρασία αέρα

$$\alpha \cdot \dot{Q}_{προσπίπτουσα} = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) = \dot{Q}_{συναγωγής} \quad (1)$$

θερμοκρασία επιφάνειας

Προσοχή: $\dot{Q}_{προσπ.}$ = Ρυθμός απορρόφησης ενέργειας από όλη την επιφάνεια

Άρα $\dot{Q}_{προσπ.} = A \cdot 750 \frac{W}{m^2}$ (2)

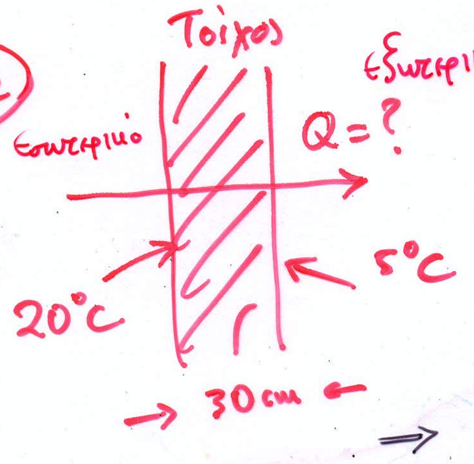
$$(1) \overset{(2)}{\Longrightarrow} a \cdot \cancel{A} \cdot 750 \frac{W}{m^2} = 50 \frac{W}{m^2 \, °C} \cancel{A} \cdot (T_s - 25°C)$$

$$\Rightarrow 0,6 \frac{750}{50} °C = T_s - 25°C \Rightarrow 9°C = T_s - 25°C \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{T_s = 34°C}$$

3.12

Τοίχος με τούβλα έχει διαστάσεις 5m×6m και πάχος 30cm. Ο συντ/στής θερμικής αγωγιμότητας είναι 0,69 W/m·°C. Να υπολογίσετε την απώλεια θερμότητας για διάστημα 10h.



$$\dot{Q}_{αγωγή} = k_t \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{αγ} = 0,69 \frac{W}{m \, °C} \, 5*6 \, m^2 \, \frac{15°C}{0,3 \, m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{αγ} = 1035 W$$

$$Q_{αγ} = \dot{Q}_{αγ} \cdot \Delta t \Rightarrow Q_{αγ} = 1035 W \cdot 10h = 10350 \frac{J}{s} \cdot 3600 s \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{αγ} = 37260 \, kJ$$

3.13 Η εξωτερική επιφάνεια ενός διαστημοπλοίου έχει ικανότητα εκπομπής 0,6 και ικανότητα απορρόφησης 0,2 της ηλ. ακτινοβολίας. Αν η ηλ. ακτ. προσπίπτει στο διαστημόπλοιο με ρυθμό 1000 W/m², ποιά είναι η επιφανειακή θερμοκρασία του διαστημοπλοίου; $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \, W/m^2K^4$

$$\dot{Q}_{απορ} = \dot{Q}_{εκπ.} \Rightarrow a \cdot \dot{Q}_{προσπ.} = \epsilon \sigma \cdot A \cdot T_{επ}^4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0,2 \cdot \cancel{A} \cdot 1000 \frac{W}{m^2} = 0,6 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4} \cancel{A} \cdot T_{επ}^4 \Rightarrow T_{επ}^4 = \frac{200}{3,4 \cdot 10^{-8}} K^4$$

$$\Rightarrow T_{επ}^4 = 58,79 \cdot 10^8 \Rightarrow T_{επ} = 276,9 K$$

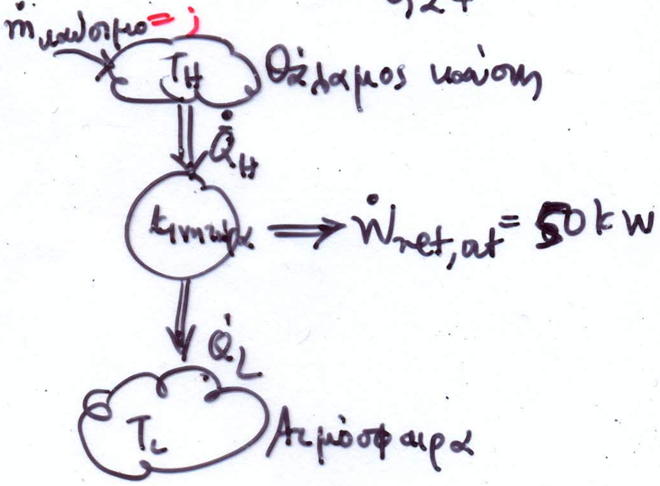
Εφαρμογές Κεφαλαίου 5 (Κεφάλαιο 6 στη νέα έκδοση του βιβλίου) (Ε-16)

5.1 Κινητήρας αυτοκινήτου, με ισχύ εξόδου 50 kW, έχει θερμική απόδοση 24%. Να υπολογιστεί ο ρυθμός κατανάλωσης του καυσίμου, αν η θερμογόνος του δύναμη είναι 40000 kJ/kg.

Δηλ. καίων 1 kg καυσίμου παράγει 40000 kJ

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_H} = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\dot{Q}_H} \Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\eta_{th}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_H = \frac{50\ kW}{0,24} = 208,3\ kW$$



$\dot{m}_{καύσιμο}$ = Ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου

Το καύσιμο παρέχει ενέργεια με ρυθμό $\dot{Q}_H = 208,3\ kW$ δηλ

208,3 kJ/sec

1 kg καυσίμου δίνει ενέργεια 40000 kJ

x 208,3 kJ

$$x = \frac{208,3}{40000}\ kg = 5,2075\ gr\ καυσίμου$$

Άρα έχουμε κατανάλωση 5,21 gr καυσίμου/sec $= \frac{5,21 \cdot 3600\ gr}{h} =$

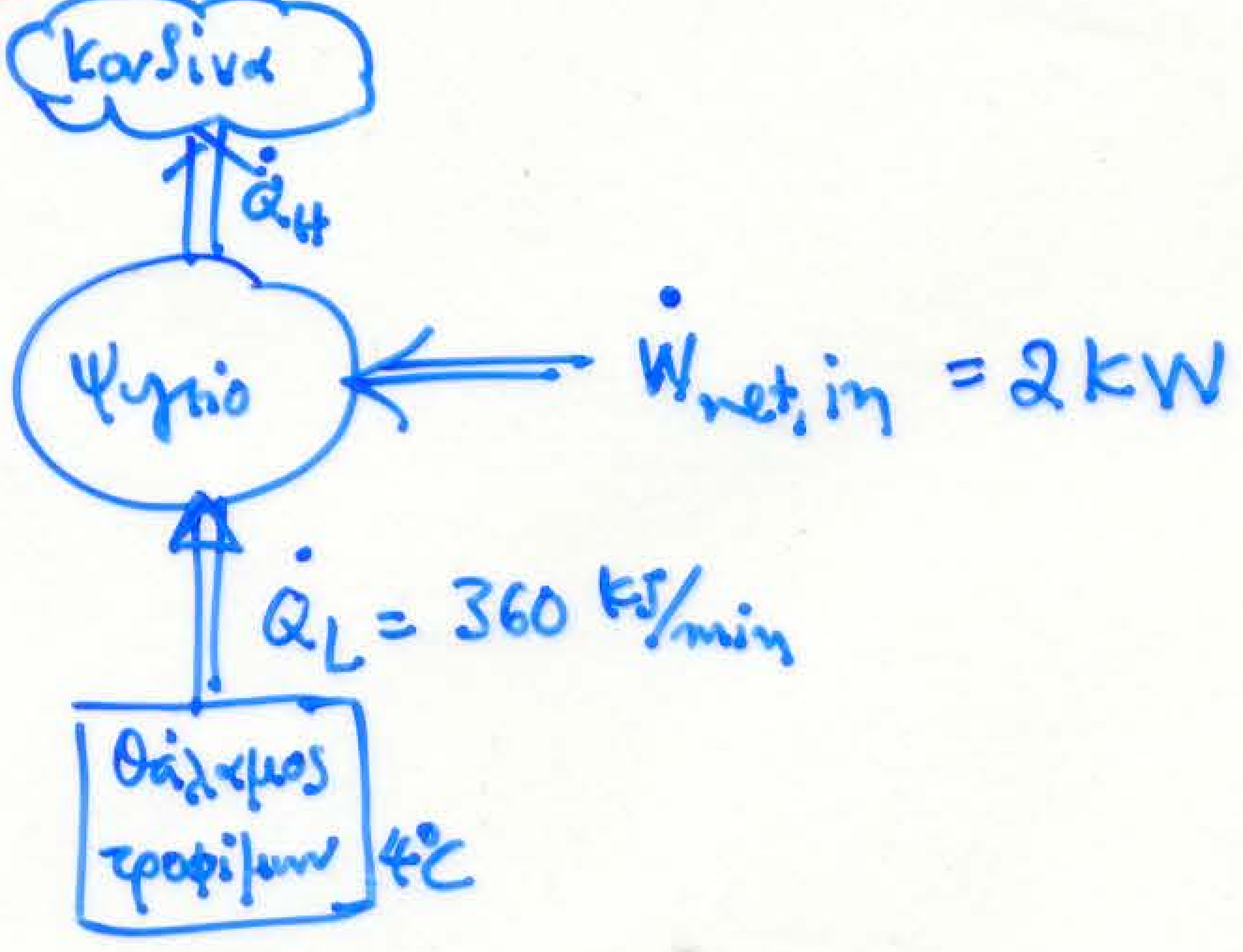
$$= 18,8\ \frac{kg\ καυσίμου}{h}$$

5gr 206 kW

1000 gr. 1 kW

5.2 Απόρριψη θερμότητας από ένα ψυγείο

E-17



Ο θάλαμος τροφίμων διατηρείται στους 4°C με απομάκρυνση θερμότητας με ρυθμό 360 kJ/min. 2 kW είναι η απαιτούμενη παροχή ισχύος.

α) $COP_R = ;$

β) Ρυθμός αποβολής θερμότητας προς το δωμάτιο; $\dot{Q}_H = ;$

$$\dot{Q}_L + \dot{W}_{net,in} = \dot{Q}_H \rightarrow \dot{Q}_H = \frac{360\ kJ}{60\ sec} + 2\ kW = 8\ kW$$

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net,in}} = \frac{6\ kW}{2\ kW} = 3$$

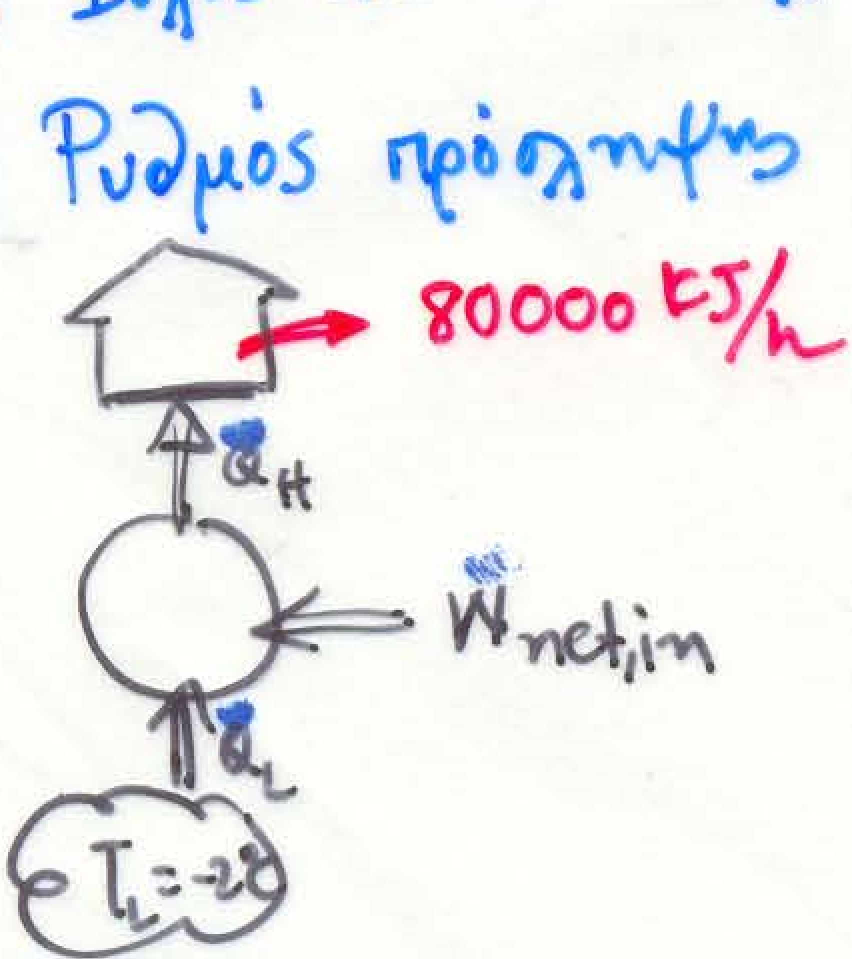
Προσέξτε ότι τόσο η ενέργεια που απάγεται από τον ψυχόμενο χώρο (Q_L) όσο και η ενέργεια που προσδίδεται στο ψυγείο ($W_{net,in}$) → Καταλήγουν στον αέρα του δωματίου και γίνονται μέρος της εσωτερικής του ενέργειας.

5.3 Θέρμανση σπιτιού με αντλία θερμότητας.

Διατήρηση της θερμοκρασίας του σπιτιού στους 20°C. Εξωτερική θερμοκρασία −2°C. Θερμικές απώλειες σπιτιού 80000 kJ/h. Η αντλία έχει COP = 2,5

α) Ισχύς που καταναλώνεται από ΑΘ. $\dot{W}_{net,in} = ;$

β) Ρυθμός πρόσληψης ενέργειας από εξωτερικό αέρα $\dot{Q}_L = ;$



Πρέπει $\dot{Q}_H = 80000\ kJ/h$ για να διατηρείται η θερμοκρασία του σπιτιού σταθερή.

(5.3) - Συνέχεια

$$COP_{HP} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{net,in}} \Rightarrow \dot{W}_{net,in} = \frac{80000 \frac{kJ}{h}}{2,5} = 32000 \frac{kJ}{h} = 8,9\ kW$$

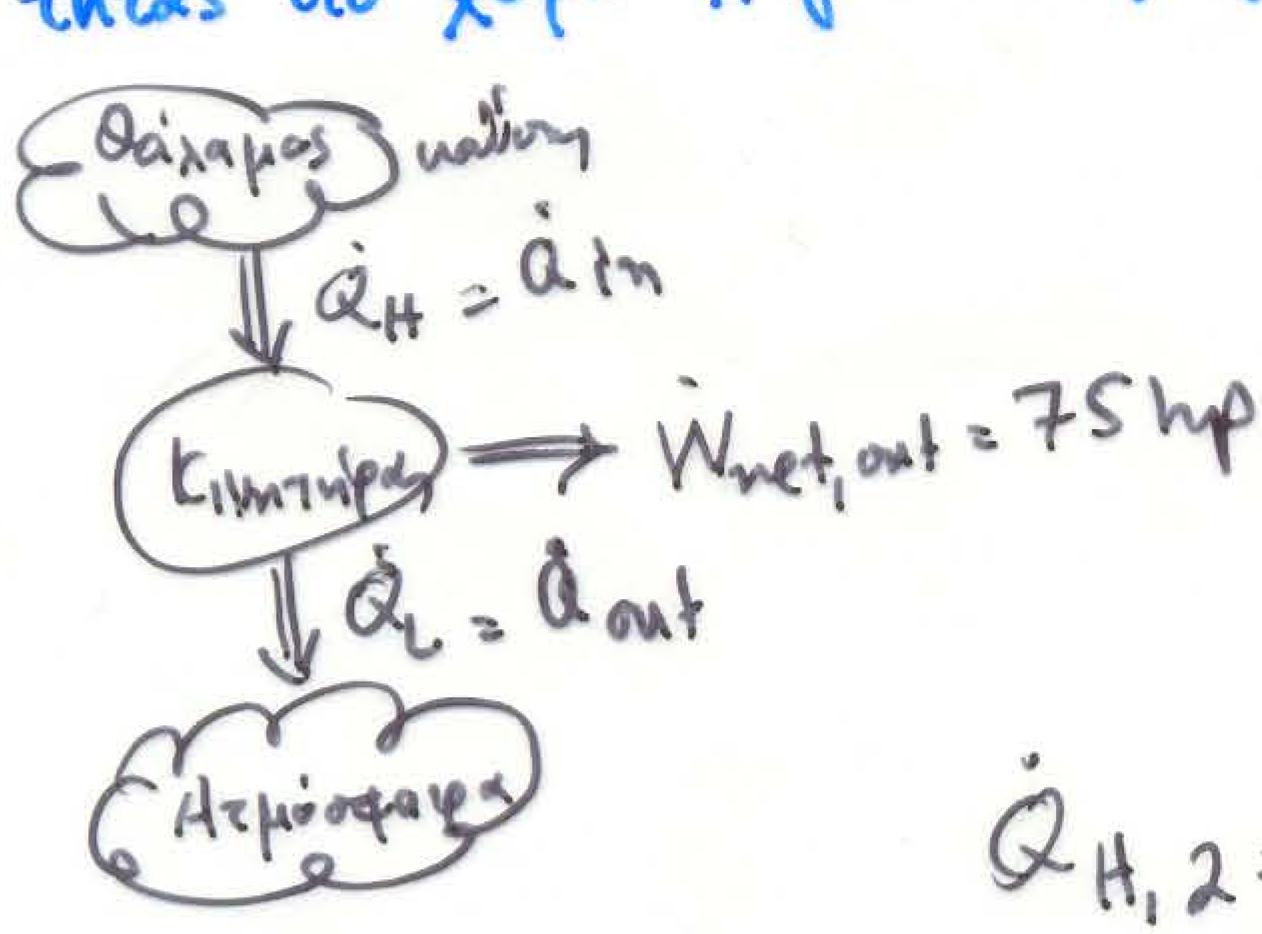
$$\dot{W}_{net,in} + \dot{Q}_L = \dot{Q}_H \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{net,in} = (80000 - 32000)\ kJ/h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_L = 48{,}000\ kJ/h$$

Από τα 80000 kJ/h που παρέχονται στο σπίτι, "πληρώνουμε" (ηλεκτρικό) για τα 32000 kJ/h.

Αν αντί για Α.Θ. χρησιμοποιούνταν μια θερμάστρα ηλεκτρικής αντίστασης, τότε η αντίσταση έπρεπε να παρέχει όλο το ποσό των 80000 kJ/h → Πληρώναμε ηλεκτρικό 2,5 φορές παραπάνω.

(5.4) Ένας κινητήρας ισχύος 75 hp με απόδοση 91% έχει φθαρεί από τη χρήση και πρόκειται να αντικατασταθεί από έναν κινητήρα με απόδοση 95,4%. Να υπολογιστεί η μείωση της εισροής θερμότητας στο χώρο λόγω της μεγαλύτερης απόδοσης του κινητήρα.



$$\eta_1 = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\dot{Q}_{H,1}} \rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{H,1} = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\eta_1}, \quad \eta_1 = 0,91$$

$$\dot{Q}_{H,2} = \frac{\dot{W}_{net,out}}{\eta_2}, \quad \eta_2 = 0,954$$

5.4 – Συνέχεια

$$\dot{Q}_{H_1} - \dot{Q}_{H_2} = \frac{\dot{W}}{\eta_1} - \frac{\dot{W}}{\eta_2} = \frac{(\eta_2 - \eta_1)\,\dot{W}}{\eta_1 \cdot \eta_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta\dot{Q}_H = \frac{(0{,}954 - 0{,}91)\,\dot{W}}{0{,}954 \cdot 0{,}91} = 3{,}80 \text{ hp}$$

$1 \text{ kW} = 1{,}34 \text{ hp}$. Άρα $\Delta\dot{Q}_H = \Delta\dot{Q}_{in} = \frac{3{,}80}{1{,}34} \text{ kW} = \underline{2{,}84 \text{ kW}}$

Μείωση εισροής θερμότητας $\Delta\dot{Q}in = 2{,}84 \text{ kW}$

Ποιά είναι η μείωση εκπομπή θερμών καυσαερίων από τον κινητήρα μεγαλύτερης απόδοσης;

$$\left.\begin{array}{l} \dot{Q}_{in\,1} = \dot{W}_{net,out} + \dot{Q}_{out,1} \Rightarrow \dot{Q}_{out,1} = \dot{Q}_{in\,1} - \dot{W}_{net,out} \\ \dot{Q}_{in\,2} = \dot{W}_{net,out} + \dot{Q}_{out,2} \Rightarrow \dot{Q}_{out,2} = \dot{Q}_{in,2} - \dot{W}_{net,out} \end{array}\right\} \Rightarrow$$

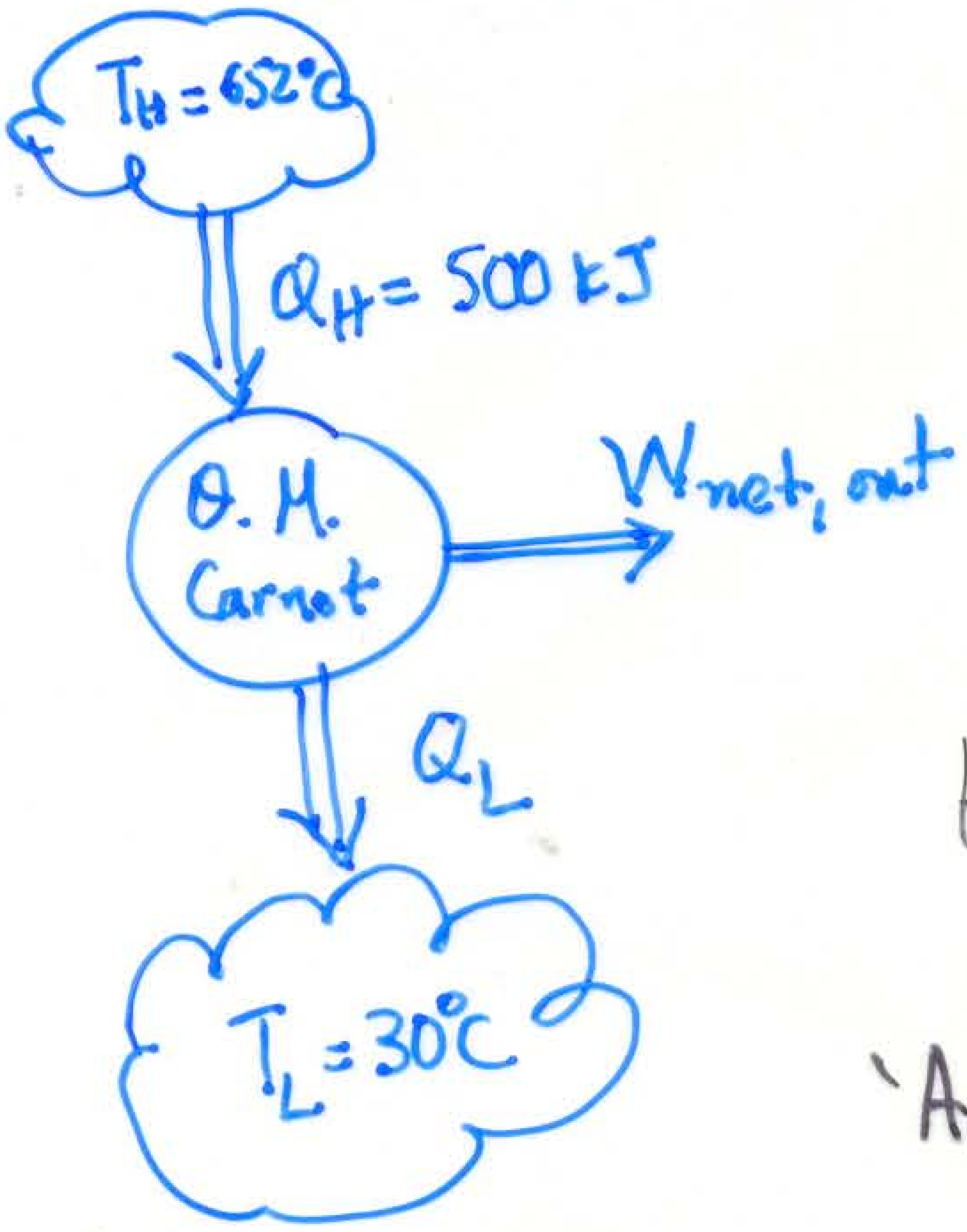
$$\Rightarrow \dot{Q}_{out,1} - \dot{Q}_{out,2} = \dot{Q}_{in,1} - \cancel{\dot{W}_{net,out}} - \dot{Q}_{in,2} + \cancel{\dot{W}_{net,out}}$$

$$\Rightarrow \Delta\dot{Q}_{out} = \Delta\dot{Q}_{in} \Rightarrow \Delta\dot{Q}_{out} = 2{,}84 \text{ kW}$$

Άρα έχουμε μείωση τόσο της απαιτούμενης βενζίνης που δίνει το $\dot{Q}in$ όσο και της εκπομπής "καυτής" ενέργειας $\dot{Q}out$

5.5 Ανάλυση μίας θερμικής μηχανής Carnot

E-20



α) Ποιά η θερμική απόδοση, η_{th}, της μηχανής Carnot;

β) $Q_L =$;

Η θερμική μηχανή Carnot είναι αντιστρεπτή.

Άρα $\eta_{th,rev} = 1 - \dfrac{T_L}{T_H}$, $T_L = (\cancel{652}\ 30 + 273)\ K$, $T_H = (\cancel{30}\ 652 + 273)\ K$

$$\Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{303K}{925K} = 0,672 \Rightarrow \eta_{th} = 0,672$$

Άρα μετατρέπει το 67,2% της θερμότητας που λαμβάνει, σε έργο

β) $$\frac{Q_{L,rev}}{Q_{H,rev}} = \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow Q_{L,rev} = \frac{T_L}{T_H} Q_{H,rev} = \frac{303K}{925K} 500\ kJ =$$

$$= 163,8\ kJ$$

5.6 Κάποιος ισχυρίζεται ότι έχει κατασκευάσει ένα ψυγείο με $COP_R = 13,5$ το οποίο μπορεί να διατηρήσει το χώρο ψύξης στους 2°C ενώ ο εξωτερικός χώρος έχει θερμοκρασία 24°C.
Είναι δυνατό να συμβαίνει κάτι τέτοιο;

$$COP_{R,rev} = COP_{R,max} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{297K}{275K} - 1} = 12,5$$

Άρα αδύνατο να υπάρχει ψυγείο με $COP_R = 13,5 > COP_{R,max} = 12,5$ που να λειτουργεί μεταξύ αυτών των δύο θερμοκρασιών.