

Θερμοδυναμική για ψυκτικούς ΕΠΑ.Λ



Οδυσσέας Κόντος

ΠΕ 12.04

[Επιλογή ημερομηνίας]

Κεφ 1 Μονάδες και σύμβολα στη θερμοδυναμική

Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα	Σύμβολο μονάδας	Άλλες μονάδες και υποδιαιρέσεις
Μήκος	L	Μέτρο	m	Εκατοστά (cm) χιλιοστά (mm) 1 m = 100 cm = 1000 mm 1cm = 10 mm 1cm = 1/100 = 0,01 m 1 mm = 1/1000 = 0,001 m Ίντσα (in) 1 in = 2,54 cm = 25,4 mm
Μάζα	m	Χιλιόγραμμα	Kg	Γραμμάριο : 1gr = 1/1000 Kg Τόνος: 1 tn = 1000Kg
Χρόνος	t	δεπτερόλεπτο	s	Λεπτό (min) ώρα (h) 1 min = 60 s 1h = 60min = 3600sec
Δύναμη	F	νιούτον	Nt	Kp (κιλοπόντ) 1 kp = 10 Nt
Πίεση	p	πασκάλ	Pa	Ατμόσφαιρα (atm) μπάρ (bar), πιεσαϊ (psi) 1 atm = 1 bar = 10 ⁵ Pa = 100 KPa = 10MPa 1 atm = 1 bar = 14,5 psi 1 psi = 7 Kpa
Θερμοκρασία	T, θ	T:βαθμοί Κέλβιν θ:βαθμοί Κελσίου	°K °C	T = 273 + θ (ή: °K = 273 + °C) βαθμοί Φαρενάιτ (°F) °F = 32 + 9/5 °C °C = (°F - 32) * 5/9
όγκος	V	Κυβικά μέτρα	m ³	Λίτρο (L) μιλιλίτρο(ml) 1m ³ = 1000 L ή 1L = 1/1000 m ³ 1 L = 1000 cm ³ 1 ml = 1 cm ³
Ειδικός όγκος	v = V/m	Κυβικά μέτρα/ χιλιόγραμμα	m ³ /Kg	
Ενέργεια	E	τζάουλ	J	
Θερμότητα	Q	Κιλοκάλ ή θερμίδα Μπι τι γιου	Kcal Btu	1 Kcal = 4,17 KJ 1 Btu=0,254 Kcal=1056.3 Joule
Ισχύς (= ενέργεια ανά χρόνο)	P	Βάττ ή κιλοβαττ	W ή kW (W= J / s)	Ίππος HP (Horse Power) 1 kW = 1,34 HP ή 1HP = 0,75kW
Θερμική ισχύς ή θερμικό φορτίο	q	Κιλοκάλ ανα ώρα	Kcal/h	1 W = 0,85 Kcal/h
Ψυκτική ισχύς ή ψυκτικό φορτίο	q	Μπι τι γιου ανα ώρα	BTU/h	1 Kcal/h = 4 Btu/h 1000W = 3500Btu/h 1000 Btu/h = 300 W

Παραδείγματα

1. Στο δελτίο καιρού του CNN αναφέρεται ότι η θερμοκρασία στην Αθήνα είναι 100°F . Να βρεθεί η θερμοκρασία σε βαθμούς C

Λύση : $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) * 5/9$ άρα $^{\circ}\text{C} = (100 - 32) * 5/9 = 68 * 5/9 = 340/9 = 37,8^{\circ}\text{C}$

2. Ένα σώμα θερμαίνεται από θερμοκρασία $15,1^{\circ}\text{C}$ σε θερμοκρασία $34,6^{\circ}\text{C}$. Να βρεθεί η μεταβολή της θερμοκρασίας σε βαθμούς Kelvin.

Λύση :

Η μεταβολή σε ένα μέγεθος συμβολίζεται με το Δ . (πχ μεταβολή όγκου Δv , μεταβολή πίεσης Δp , μεταβολή θερμοκρασίας $\Delta\theta$)

Τρόπος 1: $\Delta\theta = \theta \text{ τελική} - \theta \text{ αρχική} = 34,6 - 15,1 = 19,5^{\circ}\text{C}$

Μετατροπή σε Kelvin: $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C} \rightarrow ^{\circ}\text{K} = 273 + 19,5 = 292,5^{\circ}\text{K}$

Τρόπος 2 : Μετατροπή αρχικής θερμοκρασίας σε Kelvin: $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C} \rightarrow ^{\circ}\text{K} = 273 + 15,1 = 288,1^{\circ}\text{K}$

Μετατροπή τελικής θερμοκρασίας σε Kelvin: $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C} \rightarrow ^{\circ}\text{K} = 273 + 34,6 = 307,6^{\circ}\text{K}$

Μετατροπή σε Kelvin: $\Delta T = T \text{ τελική} - T \text{ αρχική} = 307,6 - 288,1 = 19,5^{\circ}\text{K}$

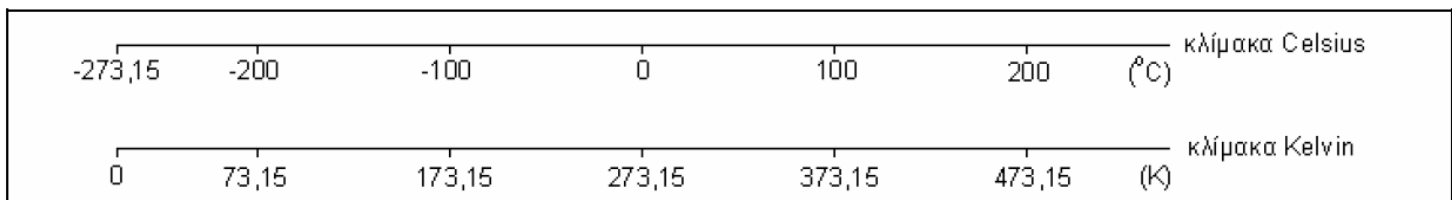
Παρατήρηση: Προσέξτε το εξής:

$\Delta\theta = \theta \text{ τελική} - \theta \text{ αρχική} = 34,6 - 15,1 = 19,5^{\circ}\text{C}$

$\Delta T = T \text{ τελική} - T \text{ αρχική} = 307,6 - 288,1 = 19,5^{\circ}\text{K}$

συμπέρασμα:

$\Delta\theta = \Delta T$ οι μεταβολές θερμοκρασίας μετρημένες σε βαθμούς C και K είναι αριθμητικά ίσες.



Επειδή στις πρακτικές εφαρμογές, που θα αντιμετωπίσουμε, έχουμε να κάνουμε με μεταβολές θερμοκρασίας, θα μετατρέπουμε απ' ευθείας τη διαφορά θερμοκρασίας από τη μία κλίμακα στην άλλη.

3. Ένα σώμα θερμαίνεται από θερμοκρασία -15°C σε θερμοκρασία 10°C . Να βρεθεί η μεταβολή της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου ή Kelvin.

$\Delta\theta = \theta \text{ τελική} - \theta \text{ αρχική} = 10 - (-15) = 25^{\circ}\text{C}$ (ή 25°K)

Προσοχή στα πρόσημα!!!

4. Τα λάστιχα του αυτοκινήτου σας πρέπει να έχουν πίεση 2 bar. Το μανόμετρο (όργανο ένδειξης πίεσης) έχει κλίμακα μόνο σε psi. Σε ποια ένδειξη είναι η βελόνα του;

Μετατροπή: $2 \text{ bar} = 2 * 14,5 \text{ psi} = 29 \text{ psi}$

5. Ένα κλιματιστικό λειτουργεί σε υψηλή πίεση 58 psi. Πόσα bar, atm και Pa είναι αυτή η πίεση;

$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$ άρα $1 \text{ psi} = 1/14,5 \text{ bar} \rightarrow 58 \text{ psi} = 58/14,5 = 4 \text{ bar} = 4 \text{ atm}$

$1 \text{ psi} = 7 \text{ Kpa}$ άρα $58 \text{ psi} = 58 * 7 = 406 \text{ KPa} = 406000 \text{ Pa}$

Παρατηρούμε ότι το Pa είναι τελικά αρκετά μικρή μονάδα και συνεπώς δύσχρηστη σε υπολογισμούς ψύξης- θέρμανσης. Γι αυτό χρησιμοποιούμε το bar ή το psi.

6. Μια δεξαμενή νερού έχει διαστάσεις μήκος 5m, πλάτος 3m και ύψος: 8m. Πόσα λίτρα νερού χωράει;

Πρώτα βρίσκω τον όγκο V της δεξαμενής σε m^3 . Είναι $V = 5m \times 3m \times 8m = 120 m^3$
Μετατροπή σε λίτρα: ($1m^3 = 1000 L$) $120 \times 1000 = 120000 L$

7. Σε πόσα m^3 δεξαμενής χωράνε ακριβώς 1300L νερού;

$1L = 1/1000 m^3$. Άρα $1300L = 1300/1000 = 1,3 m^3$

Αν οι δύο διαστάσεις της δεξαμενής είναι $1m \times 0,5 m$ (μήκος \times πλάτος) πόσο ύψος πρέπει να έχει για να χωρέσει την παραπάνω ποσότητα νερού;

Απ: είναι $1m \times 0,5m = 0,5 m^2$ Άρα η τρίτη διάσταση (ύψος) θα είναι: $1,3 / 0,5 = 2,6m$ το ελάχιστο ύψος.

8. Ένα μηχανάκι έχει κινητήρα 125 κυβικά εκατοστά (cm^3) Πόσα λίτρα είναι ο κινητήρας του;

$1 L = 1000 cm^3$. Αντιστρέφοντας: $1 cm^3 = 1/1000L$ άρα $125 cm^3 = 125 / 1000 L = 0,125 L$

9. Μια μερίδα φαγητού έχει 800 θερμίδες. Πόσα KJ είναι αυτές:

$1 Kcal = 4,17 KJ$ Άρα: $800kcal = 800 \times 4,17 = 3336KJ$

10. Ένα ηλεκτρικό μοτέρ έχει ισχύ 5 ίππων (HP) Πόσα kW είναι η ισχύς του;

$1HP = 0,75kW$ άρα $5HP = 5 \times 0,75 = 3,75 kW = 3750 W$ ($1kW = 1000W$)

11. Πόσων ίππων μοτέρ χρειαζομαι για να καλύψω μια ισχύ 30000 Watt;

$30000W = 30000/1000 = 30 kW$. $1 kW = 1,34 HP$ άρα $30kW = 30 \times 1,34 = 40,2 HP$ (ίπποι)

12. Πόσα Watt είναι: α/ ένα κλιματιστικό 9000 Btu/h β/ ένα κλιματιστικό 12000 Btu/h

α/ Αφού $1000 Btu/h = 300 W$ τότε: $9000 Btu/h$ (δηλ. 9×1000) = $9 \times 300 = 2700 W = 2,7 kW$

β/ Αφού $1000 Btu/h = 300 W$ τότε: $12000 Btu/h$ (δηλ. 12×1000) = $12 \times 300 = 3600 W = 3,6 kW$

Κεφ 2. Τα βασικά μεγέθη – ορισμοί – ανάλυση

2.1 Παροχή

Παροχή είναι η ποσότητα ενός ρευστού (υγρού ή αερίου) που κυκλοφορεί στη μονάδα του χρόνου.

Η κανονική μονάδα μέτρησης της είναι σε κυβικά μέτρα το δευτερόλεπτο (m^3/s). Επειδή όμως αυτή η μονάδα είναι πολύ μεγάλη και δε μας βολεύει σε υπολογισμούς θερμικών φορτίων χρησιμοποιούμε τις:

κυβικά την ώρα (m^3/h) ή λίτρα το δευτερόλεπτο (L/s)

ισχύει: $1 L/s = 3.6 m^3/h$

Παράδειγματα:

α/ πόσα m^3/h είναι 5 L/s ;

Είναι: $1 L/s = 3.6 m^3/h$ άρα $5 L/s = 3.6 \times 5 m^3/h = 18 m^3/h$

β/ πόσα L/s είναι 30 m^3/h ;

Είναι: $1 \text{ L/s} = 3.6 \text{ m}^3/\text{h}$ Αντίστροφα: $1 \text{ m}^3/\text{h} = (1/3.6) \text{ L/s} \rightarrow 30 \text{ m}^3/\text{h} = (30/3.6) \text{ L/s} = 8,34 \text{ L/s}$

2.2 Όγκος

Ο όγκος είναι χαρακτηριστικό των ρευστών (υγρών ή αερίων). Τα υγρά καταλαμβάνουν από τη φύση τους τον όγκο που εμείς τα τοποθετούμε ο οποίος μπορεί να είναι από ένα ποτήρι ή μπουκάλι μέχρι μία σωλήνωση πολλών μέτρων. Το καλό με τα υγρά είναι ότι πρακτικά δε μεταβάλλουν τον όγκο τους αν τα συμπίεσουμε. Γι αυτό τα υγρά μπορούν να μεταδώσουν τη ενέργεια που τους δίνουμε ασκώντας τους πίεση, για σχετικά μεγάλες απόστασες. Πχ υδραυλικά συστήματα – φρένα ή υδραυλικό τιμόνι. Τα αέρια αντίθετα καταλαμβάνουν τον όγκο που τους προσφέρουμε όμως ο όγκος τους αυτός εύκολα μπορεί να μεταβληθεί αν τους αλλάξουμε την πίεση ή η θερμοκρασία. Για τις μεταβολές αυτές θα αναφερθούμε παρακάτω.

Όγκος: σύμβολο: V Μονάδα μέτρησης: m^3 , l (λίτρο)

Ειδικός όγκος: = όγκος ανά μονάδα μάζας $v = V/m$ σύμβολο: v Μονάδα μέτρησης: m^3/Kg

2.3 Θερμοκρασία

Σίγουρα υπάρχει η ανθρώπινη αίσθηση για το πόσο ζεστό η κρύο είναι ένα σώμα αλλά είναι μάλλον υποκειμενική. Για κάποιον, ένα σώμα είναι περισσότερο ή λιγότερο ζεστό ή κρύο από κάποιον άλλο. Έτσι δεν μπορεί να υπάρξει μια σειρά κατάταξης για το «περισσότερο» ή «λιγότερο» ζεστό. Θέλουμε λοιπόν ένα αντικειμενικό τρόπο μέτρησης...

Γι αυτό λοιπόν εισάγαμε τη θερμοκρασία: Ένα μετρήσιμο μέγεθος που κατατάσσει αριθμητικά όλα τα σώματα ανάλογα πόσο ζεστά η πόσο κρύα είναι.

Σύμβολο: θ ή t ή T .

Μονάδα μέτρησης : βαθμοί : $^{\circ}\text{C}$ (Κελσίου) ή $^{\circ}\text{K}$ (Κέλβιν) ή $^{\circ}\text{F}$ (Φαρενάιτ)

2.4 Πίεση

Πίεση είναι η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Δίνεται από τον τύπο

$$p = F / A$$

F: δύναμη σε Nt, A επιφάνεια σε m^2

Η δύναμη από μόνη της δεν είναι αρκετή για να περιγράψει την παραμόρφωση ενός στερεού ή τη μεταβολή του όγκου (ή της θερμοκρασίας) ενός ρευστού. Διαφορετικά συμπεριφέρεται ένα σώμα όταν ασκούμε μια δύναμη σε μια πολύ μικρή επιφάνεια του απ ότι αν ασκήσουμε την ίδια δύναμη σε μια μεγαλύτερη επιφάνεια του ίδιου σώματος.

Παράδειγμα: Για να καρφώσουμε μια πινέζα σε έναν ξύλινο αντικείμενο μια μικρή δύναμη αρκεί. Επειδή η επιφάνεια A είναι πολύ μικρή (η μύτη της πινέζας), έχουμε τότε μεγάλη πίεση που προκαλεί παραμόρφωση του ξύλινου αντικειμένου (διείσδυση της πινέζας)

Ας υποθέσουμε πως η πινέζα είχε μεγαλύτερη διατομή (χοντρότερη και όχι μυτερή). Δεν θα μπορούσαμε να βάλουμε την πινέζα με την ίδια δύναμη. Ο λόγος είναι ότι η πίεση είναι πια μικρότερη αφού για την ίδια δύναμη η επιφάνεια της πινέζας είναι μεγαλύτερη. Μικρότερη πίεση σημαίνει πιθανόν μη παραμόρφωση του ξύλινου αντικειμένου (μη διείσδυση της πινέζας). Για να εισχωρήσει η πινέζα θα πρέπει να αυξήσουμε την πίεση ασκώντας μεγαλύτερη δύναμη. Συνεπώς:

Η πίεση αυξάνεται είτε με μεγαλύτερη δύναμη είτε με μικρότερη επιφάνεια.

Πίεση σε υγρά

Τα υγρά ασκούν πίεση είτε

α/ λόγω του βάρους τους (υδροστατική πίεση)

β/ λόγω των εξωτερικών πιέσεων που ασκούμε εμείς στο υγρό.

Η ιδιότητα των υγρών να μεταδίδουν την πίεση σε όλα τους τα σημεία, βρίσκει πολλές εφαρμογές όπως στο σύστημα πέδησης (φρεναρίσματος) αυτοκινήτου, στα ανυψωτικά μηχανήματα κλπ

Πίεση σε αέρια

Η πίεση των αερίων μεταβάλλεται αν αλλάξουμε τον όγκο ή τη θερμοκρασία τους.

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί παντού πίεση η οποία λέγεται ατμοσφαιρική και είναι μια ατμόσφαιρα (1 atm)

Η ατμοσφαιρική πίεση εξαρτάται από το υψόμετρο Όσο ανεβαίνουμε η πίεση μικραίνει. Σε ύψος 5 χμ από την επιφάνεια της θάλασσας η ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου ½ atm

Άλλες μονάδες πίεσης:

- ✓ Αν η δύναμη μετριέται σε **Kp** και η επιφάνεια σε **cm²** τότε η πίεση έχει ως μονάδα το **kp/ cm²**. Λέγεται τεχνητή ατμόσφαιρα και συμβολίζεται με το **at** (**at = kp/ cm²**).
- ✓ Αν η δύναμη μετριέται σε **lb** (λίμπρες) και η επιφάνεια σε **in²** (τετραγωνικές ίντσες) τότε η πίεση έχει ως μονάδα το **lb/ in²**. Λέγεται **psi** (pounds per square inch) (**psi = lb/in²**).
- ✓ Το **bar** που είναι περίπου ίσο με την φυσική ατμόσφαιρα (atm)

$$1 \text{ atm} = 14,5 \text{ psi}$$

- psi και bar αγγλικές μονάδες μέτρησης και χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στις τεχνικές εφαρμογές.

Ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας θα σας χρησιμέψει στις όποιες μετατροπές πίεσης

	Pa	bar	kp/ cm ² (at)	psi	atm
Pa	1	10 ⁻⁵	1,02 x 10 ⁵	1,45 x 10 ⁻⁴	9,8 x 10 ⁻⁶
bar	10 ⁵	1	1,0197	14,504	0,9869
kp/ cm ² (at)	9,8 x 10 ⁴	0,9807	1	14,22	0,9678
psi	6,8 x 10 ³	0,06895	0,0703	1	0,0680
atm	1,013 x 10 ⁵	1,013	1,033	14,7	1

Κενό: Δημιουργείται όταν αφαιρέσουμε τον ατμοσφαιρικό αέρα από ένα κλειστό σύστημα. Η πίεση επομένως μπορεί να πέσει κάτω από την 1 atm (0,9 0,8 0,7... κλπ) Τότε λέμε ότι έχουμε κενό.

Κενό κάνουμε στην ψύξη όταν πρέπει να βάλουμε φρέον για πρώτη φορά στην εγκατάσταση γιατί πρέπει να μην υπάρχει καθόλου ατμοσφαιρικός αέρας στις σωληνώσεις γιατί η υγρασία του είναι ανεπιθύμητη.



Μέτρηση πίεσης:

Η πίεση μετριέται με τα μανόμετρα. Οι ψυκτικοί χρησιμοποιούν μια συσκευή

που λέγεται κάσα μανομέτρων (βλ. σχήμα) Το κόκκινο μανόμετρο δείχνει την υψηλή πίεση (κατάθλιψη) και το μπλε τη χαμηλή πίεση (αναρρόφηση) . Το κίτρινο σωληνάκι χρησιμεύει για πλήρωση ψυκτικού ή ψυκτέλαιου στο συμπιεστή.

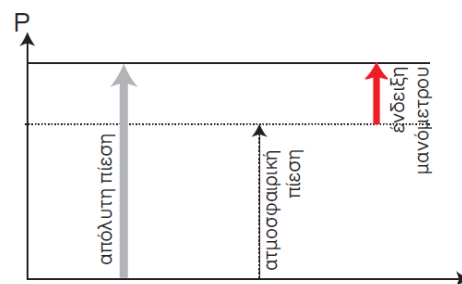
Το μανόμετρο ΔΕΝ μετρά την πραγματική πίεση.

Η πίεση που μετρά το μανόμετρο λέγεται μανομετρική πίεση

Η πραγματική πίεση λέγεται απόλυτη πίεση

Ισχύει:

Απόλυτη πίεση = μανομετρική πίεση + 1 atm ή
 Μανομετρική πίεση = απόλυτη πίεση – 1 atm



Π.χ. αν ένα μανόμετρο μετρά 3bar, η απόλυτη (πραγματική) πίεση του αερίου είναι $3 + 1 = 4\text{bar}$

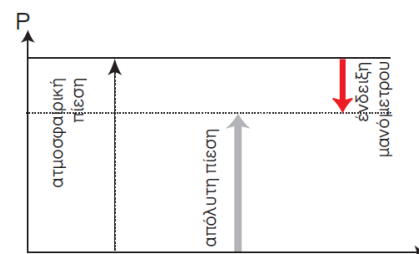
ή αν ένα μανόμετρο μετρά 30 psi η απόλυτη (πραγματική) πίεση του αερίου είναι $30 + 14,5 = 44,5\text{ psi}$

Για το κενό ισχύει:

Απόλυτη πίεση = 1 atm – μανομετρική πίεση
 Μανομετρική πίεση = 1 atm – απόλυτη πίεση

Π.χ. αν ένα μανόμετρο μετρά 0,2 bar, η απόλυτη (πραγματική) πίεση του αερίου είναι $1 - 0,2 = 0,8\text{ bar}$

ή αν ένα μανόμετρο μετρά 10 psi η απόλυτη (πραγματική) πίεση του αερίου είναι $14,5 - 10 = 4,5\text{ psi}$



2.5 Ενέργεια

Η ικανότητα ενός σώματος να παράγει έργο. Η ενέργεια δεν είναι αντιληπτή η ίδια ως μορφή , αλλά είναι αντιληπτά τα αποτελέσματά της που εμφανίζονται με διάφορες μορφές όπως χημική (με χημικές αντιδράσεις) θερμική (θέρμανση ενός ρευστού) μηχανική (κινητήρας) κινητική (κίνηση σώματος) δυναμική (υψομετρική διαφορά) ηλεκτρική (ύπαρξη τάσης) πυρηνική (ενέργεια που ελευθερώνεται από σχάση πυρήνων).

Αναλυτικότερα:

- **Δυναμική ενέργεια:** έχουμε όταν ρευστό μάζας m βρίσκεται σε υψομετρική διαφορά h .
 Τότε: $E_d = m g h$
- **Κινητική ενέργεια:** έχουμε όταν ρευστό μάζας m βρίσκεται σε κίνηση με ταχύτητα v .
 Τότε: $E_k = \frac{1}{2} m v^2$
- **Θερμική ενέργεια:** Είναι η αποθηκευμένη ενέργεια που έχει ένα σώμα μέσα στη μάζα του. Αυτή οφείλεται στην κίνηση των μορίων, των ατόμων του δηλαδή στη δομή του σώματος. Την αντιλαμβανόμαστε από τη θερμοκρασία του. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμική ενέργεια τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμοκρασία.

2.6 Η έννοια της θερμότητας

Θερμότητα ονομάζουνε την ενέργεια μόνο όταν αυτή ρέει από ένα σώμα στο άλλο. Η ροή ή η μεταφορά αυτή εκδηλώνεται εξ' αιτίας διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ δύο σωμάτων.



Η θερμότητα ρέει *αυθόρμητα* από το σώμα με την υψηλότερη προς το σώμα με τη χαμηλότερη θερμοκρασία, έως ότου εξισωθούν οι θερμοκρασίες των δύο σωμάτων. Η θερμότητα συμβολίζεται με το κεφαλαίο Q.

Στο SI μονάδα μέτρησης της θερμότητας είναι το Joule (J). Επειδή η μονάδα Joule είναι σχετικά μικρή για να εκφράσει τα τυπικά ποσά θερμότητας, που εμπλέκονται στα προβλήματα της καθημερινής πρακτικής, χρησιμοποιούμε συνήθως τη μονάδα kJ ($1\text{kJ} = 10^3 \text{J}$)

Κατά το παρελθόν μονάδα μέτρησης της θερμότητας ήταν το calorie (cal), το οποίο ορίζεται ως το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του νερού από τους $14,5^\circ\text{C}$ στους 15°C . Η μονάδα calorie συνεχίζει να αναφέρεται ακόμα σε ορισμένες τεχνικές προδιαγραφές. Η αντιστοιχία της με το Joule είναι:

$$1\text{cal} = 4,19\text{J} \quad 1\text{kcal} = 4,19\text{kJ} \quad 1\text{J} = 0,239\text{cal} \quad 1\text{kJ} = 0,239\text{kcal}$$

Στις Αγγλοσαξονικές χώρες εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως μονάδα θερμότητας το Btu (British thermal unit), που ορίζεται ως το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία 1l νερού ($10\text{lb} \times 453\text{lbkg}^{-1}$) κατά 1 βαθμό της κλίμακας Fahrenheit (1 βαθμός Fahrenheit = $5/9$ της κλίμακας Celsius). Η αντιστοιχία της μονάδας Btu με το Joule είναι:

$$1\text{Btu} = 1,05\text{kJ} \quad \text{ή} \quad 1\text{kJ} = 0,95\text{Btu}$$

Η θερμότητα, που παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια εκφράζεται σε kWh (κιλοβατώρες), όπου:
 $1\text{kWh} = 1\text{kW} \cdot 1\text{h} = 1\text{kW} \cdot 3600\text{s} = 3600\text{kW}\cdot\text{s} = 3600\text{kJ/s} \cdot \text{s} = 3600\text{kJ}$
 $1\text{kWh} = 3600\text{kJ}$

Σημειώστε τις παρακάτω φράσεις:

«το ρευστό X έχει θερμότητα 100 kcal»	ΛΑΘΟΣ!
«η θερμότητα μεταξύ του ρευστού X και Y είναι 100 Kcal»	ΣΩΣΤΟ!
«το ρευστό X έχει εσωτερική ενέργεια 2000 Joule»	ΣΩΣΤΟ!

Όπως αντιλαμβάνεστε το να μιλάμε για θερμότητα απαιτείται η ύπαρξη δύο (ή και περισσότερων) σωμάτων.

Η θερμοκρασία και η θερμότητα είναι δύο διαφορετικά μεγέθη και δεν πρέπει να συγχέονται. Μεταβολές του ποσού θερμότητας, που περιέχει ένα σώμα δε συνοδεύονται πάντοτε και από μεταβολές της θερμοκρασίας του (π.χ. κατά την αλλαγή φάσης) και αντίστροφα (αυτό συμβαίνει στις αδιαβατικές μεταβολές)

2.6.1 Η μετάδοση της θερμότητας

Η θερμότητα ως γνωστό μεταδίδεται. Μετάδοση αυτή γίνεται μόνο αν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σωμάτων. Απαραίτητη φυσικά προϋπόθεση είναι τα σώματα αυτά να 'συγκοινωνούν', να αλληλεπιδρούν θερμικά μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι τα σώματα πρέπει να βρίσκονται σε επαφή, κάτι που στη φύση συμβαίνει συνεχώς καθώς και ο αέρας μπορεί να μεταφέρει θερμότητα και είναι 'σε επαφή' με κάθε σώμα.

Φυσικά μπορούμε να απομονώσαμε θερμικά ένα σώμα αν το μονώσουμε κατάλληλα ώστε να μην έρχεται σε 'θερμική επαφή' με το περιβάλλον.

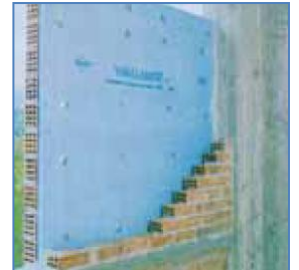
Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Αγωγή ή αγωγιμότητα είναι η μετάδοση θερμότητας μέσα από ένα υλικό σώμα το οποίο στο εσωτερικό του δεν παρουσιάζει καμιά κίνηση. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας αναφέρεται κυρίως για τα στερεά σώματα. Το στερεό αυτό σώμα μπορεί να είναι ένα ή περισσότερα αρκεί να βρίσκονται σε (θερμική) επαφή.

Παράδειγμα 1: Αν τοποθετήσουμε το ένα άκρο μια μεταλλικής βελόνας πλεξιματος (ή μια μικρή μεταλλική ράβδο) στη φλόγα ενός καμινέτου, θα διαπιστώσετε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται εκεί που το κρατάτε. Η θερμότητα μεταδίδεται από το θερμότερο άκρο (του καμινέτου) στο ψυχρότερο άκρο της βελόνας.

Παράδειγμα 2: Το πόσο γρήγορα ρέει η θερμότητα από το περιβάλλον στο σπίτι μας το καλοκαίρι (ή από το σπίτι στο περιβάλλον το χειμώνα) εξαρτάται από το ποσό καλά μονωμένο είναι το δομικά στοιχεία όπως λέμε (τοιχοι, πόρτες, παράθυρα κλπ). Η μόνωση εξαρτάται από το υλικά του τοίχου, το πάχος του εμβαδόν του τοίχου και φυσικά τη διαφορά εξωτερικής και εσωτερικής θερμοκρασίας.

Όταν η θερμότητα μεταδίδεται μέσα στο σώμα γρήγορα λέμε ότι το υλικό αυτό του σώματος είναι καλός αγωγός της θερμότητας (χαλκός, σίδηρος) και έχει *μεγάλη θερμική αγωγιμότητα*. Στην αντίθετη περίπτωση μιλάμε για έναν κακό αγωγό θερμότητας (πλαστικά, κεραμικά) με *μικρή θερμική αγωγιμότητα*.



Μετάδοση θερμότητας με μεταφορά

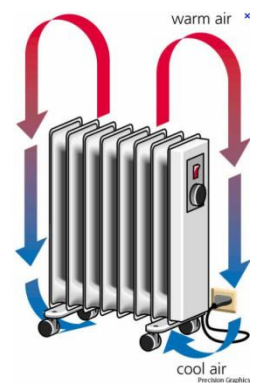
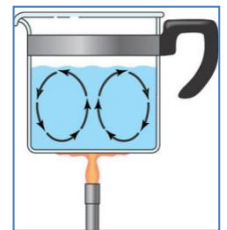
Μεταφορά είναι η μετάδοση θερμότητας με μετακίνηση μάζας. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης θερμότητας αναφέρεται κυρίως για τα ρευστά. Το ρευστό με την κίνηση της μάζας του παίζει το ρόλο του 'μεταφορέα θερμότητας'. Η κίνηση - κυκλοφορία αυτή είτε γίνεται με δυο τρόπους:

α/ Με φυσική κυκλοφορία: Από τη φύση, ισχύει ότι το ζεστό πάντα είναι ελαφρύτερο και ανεβαίνει ενώ το κρύο ως βαρύτερο παραμένει κάτω. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται ρεύματα μέσα στο ίδιο το ρευστό από μόνα τους και χωρίς καμιά άλλη παρέμβαση.

β/ Με εξαναγκασμένη κυκλοφορία: Η κίνηση στο ρευστό δημιουργείται με εξαναγκασμό, με τη βοήθεια συσκευών (ανεμιστήρες για αέρια, αντλίες για υγρά), οι οποίες εξαναγκάζουν το ρευστό να κινηθεί βίαια προς μια ορισμένη κατεύθυνση.

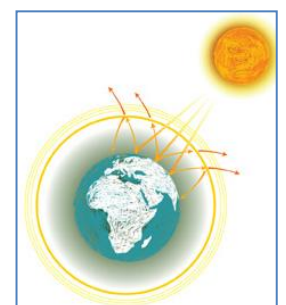
Παραδείγματα:

1. Θερμαντικό σώμα (καλοριφέρ): Δεν το βάζουμε τυχαία στο κάτω μέρος: Ο αέρας ζεσταίνεται κάτω αλλά ως ελαφρύτερος ανεβαίνει πάνω και σπρώχνει τα ψυχρότερα ρεύματα προς τα κάτω τα οποία με τη σειρά τους θερμαίνονται και ανεβαίνουν. Έτσι δημιουργείται μια κυκλική κίνηση στον αέρα με φυσικό τρόπο
2. Ψύξη: εξατμιστής air condition: Έχει ανεμιστήρα και έχουμε εξαναγκασμένη κυκλοφορία στην περιοχή γύρω από αυτόν. Και πάλι όμως δεν το βάζουμε τυχαία στο πάνω μέρος: Στο χώρο, πάλι έχουμε φυσική κυκλοφορία, γιατί ο ψυχρός αέρας που είναι πάνω, ως βαρύτερος, πηγαίνει προς τα κάτω και σπρώχνει το θερμότερο ρεύμα προς τα πάνω το οποίο ψύχεται.



Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Υπάρχει περίπτωση η θερμότητα να μεταδοθεί χωρίς επαφή των σωμάτων; Φυσικά! μεταδίδεται μέσω του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μεταξύ δυο σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία. Εξαρτάται εκτός από τη θερμοκρασιακή διαφορά, από το χρώμα και τη ποιότητα της επιφάνειας (αν δηλ είναι λεία γυαλιστερή ή matt κλπ)



Παράδειγμα: Τα σκούρα χρώματα δέχονται μεγαλύτερη θερμότητα ακτινοβολίας. Γι αυτό οι ηλιακοί θερμοσίφωνες και τα φωτοβολταϊκά έχουν μαύρο χρώμα. Το καλοκαίρι δεν φοράμε σκούρα χρώματα γιατί δέχονται περισσότερη θερμότητα ακτινοβολίας από τον ήλιο, κάτι που δε θέλουμε.



2.6.2 Θερμική χωρητικότητα λ και ειδική θερμότητα C

a. Θερμική χωρητικότητα λ

Η ποσότητα θερμότητας που χρειάζεται ένα σώμα για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό θερμοκρασίας είναι η **θερμική χωρητικότητα λ** του σώματος. Για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του σώματος κατά Δθ βαθμούς πρέπει να του δώσουμε επομένως ποσό θερμότητας:

$$Q = \lambda * \Delta\theta$$

Η μονάδα θερμικής χωρητικότητας προκύπτει έτσι:

$$Q = \lambda * \Delta\theta \rightarrow \lambda = Q / \Delta\theta \quad \text{μονάδες: } \lambda \text{ σε } J / ^\circ C \quad \text{ή} \quad \lambda \text{ σε } J / ^\circ K$$

b. ειδική θερμότητα c

Η θερμική χωρητικότητα είναι ανάλογη της μάζας m του σώματος. Δηλαδή: $\lambda = m * c$.

Η σταθερά αναλογίας c είναι η θερμική χωρητικότητα ανά μονάδα μάζας του υλικού. Λέγεται **ειδική θερμότητα** και εξαρτάται από το ίδιο το υλικό. Η μονάδα μέτρησης της ειδικής θερμότητας προκύπτει ως εξής:

$$c = \lambda / m = Q / \Delta\theta * m \quad (2) \quad \text{μονάδες: } c \text{ σε } J / Kg \text{ } ^\circ C$$

Επομένως:

Η ειδική θερμότητα είναι ίση προς το ποσό θερμότητας, που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία νερού μάζας 1kg κατά 1K ή 1°C .

Συνήθως η τιμή της ειδικής θερμότητας εκφράζεται σε kJ /Kg °C Η ειδική θερμότητα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Στα περισσότερα υλικά (π.χ. μέταλλα, αέρια) η ειδική θερμότητα αυξάνει με τη θερμοκρασία. Για τις συνηθισμένες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος η ειδική θερμότητα είναι πρακτικά ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία. Στον πίνακα 3-1 περιέχονται οι τιμές ειδικής θερμότητας μερικών υλικών με τεχνολογικό ενδιαφέρον σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Από τις εξίσωση (2) προκύπτει:

$$Q = m c \Delta\theta = m c (\theta_{\text{τελική}} - \theta_{\text{αρχική}})$$

Η παραπάνω σχέση αποτελεί το θεμελιώδη Νόμο της θερμιδομετρίας και εκφράζεται ως εξής:

Όταν φέρουμε σε επαφή ή αναμειγνύουμε δύο (ή περισσότερα) σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, τότε τα θερμότερα σώματα δίνουν θερμότητα στα ψυχρότερα, έως ότου αποκατασταθεί **θερμική ισορροπία**, δηλαδή έως ότου εξισωθούν οι θερμοκρασίες των σωμάτων.

Το ποσό της θερμότητας δίνεται από την παραπάνω σχέση $Q = m c \Delta\theta$

Υλικό	ειδική θερμότητα σε kJ /Kg °C
Αλουμίνιο	0,896
Άργυρος	0,234
Μόλυβδος	0,126
Πλατίνα	0,117
Σίδηρος	0,500
Χαλκός	0,395
Ψευδάργυρος	0,391
<u>Άλλα υλικά</u>	
Άμμος	0,92
Γυαλί	0,84
Γύψος (ξηρός)	0,84
Ξύλο (15% υγρασία)	2,5
Ατμοσφαιρικός αέρας υπό κανονική πίεση	≈ 1,0
Έδαφος	0,92
Νερό	4,19
Πάγος	2,10
Πετρέλαιο	2,10

2.7 Έργο

Το ωφέλιμο για μας αποτέλεσμα μιας ενεργειακής μεταβολής. Π.χ. από την θέρμανση ατμού ή από την καύση καυσίμου(ενεργειακή μεταβολή) παίρνουμε κίνηση (έργο) σε μια ατμομηχανή ή βενζινομηχανή. Παρατήρηση: Υπάρχει περίπτωση να δώσουμε εμείς έργο (κινητική συνήθως ενέργεια) ώστε να πάρουμε μια ενεργειακή μεταβολή που μας 'συμφέρει'.

πχ στο συμπιεστή ψυγείου του προσφέρουμε κίνηση (κινητική ενέργεια, έργο) στο πιστόνι με σκοπό να πάρουμε το αέριο συμπιεσμένο (αύξηση πίεσης = ενεργειακή μεταβολή) για να το χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια ...

Στη Μηχανική, έργο παράγεται (ή καταναλώνεται) όταν μια δύναμη F μετατοπίζεται παράλληλα σε μια απόσταση Δx ($\Delta x = x_2 - x_1$ όπου x_2 η τελική θέση, x_1 η αρχική θέση της δύναμης)

Ισχύει : $W = F * \Delta x$

- Το έργο χαρακτηρίζεται για μας ως θετικό όταν το σύστημα προσφέρει σε μας ενέργεια. Αυτό γίνεται όταν η δύναμη μετατοπίζεται 'από μόνη της' (πχ βαρυτική ή μαγνητική).
- Το έργο χαρακτηρίζεται για μας ως αρνητικό όταν προσφέρουμε εμείς ενέργεια στο σύστημα. Αυτό γίνεται όταν 'ασκούμε εμείς' τη δύναμη (πχ όταν σπρώχνουμε ένα κιβώτιο ασκούμε δύναμη σ' αυτό και παράγεται έργο αρνητικό για μας (γιατί δαπανάμε ενέργεια) και θετικό για το σύστημα(γιατί αυτό κερδίζει την ενέργεια αυτή)

Στη Θερμοδυναμική, έργο παράγεται (ή καταναλώνεται) όταν:

α/ ο όγκος ενός συστήματος μεταβάλλεται κατά ΔV ($\Delta V = V_2 - V_1$) όπου V_2 ο τελικός όγκος, V_1 ο αρχικός όγκος - φανταστείτε αέριο μέσα σε έμβολο που συμπιέζεται ή εκτονώνεται όταν μετακινείται το πιστόνι)

Ισχύει : $W = P * \Delta V$

α/ Η πίεση ενός συστήματος μεταβάλλεται κατά ΔP ($\Delta P = P_2 - P_1$) όπου P_2 η τελική πίεση, P_1 η αρχική πίεση - φανταστείτε αέριο μέσα σε κλειστό δοχείο (σταθερός όγκος) που συμπιέζεται ή εκτονώνεται – μπορείτε να σκεφτείτε πως γίνεται αυτό?

Ισχύει : $W = V * \Delta P$

- Το έργο χαρακτηρίζεται για μας ως θετικό όταν το σύστημα προσφέρει σε μας ενέργεια. Αυτό γίνεται όταν i/ ο όγκος του αυξάνεται ii/ η πίεση του μειώνεται iii/ γίνονται και τα δύο μαζί. Αυτό λέγεται εκτόνωση.
Πχ ένας στρόβιλος εκτονώνει την ενέργεια του αερίου στο εσωτερικό του και μας δίνει για μας ωφέλιμη (συνήθως κινητική) ενέργεια – εδώ η πίεση του μειώνεται.
- Το έργο χαρακτηρίζεται για μας ως αρνητικό όταν προσφέρουμε εμείς ενέργεια στο σύστημα. Αυτό γίνεται όταν i/ ο όγκος του μειώνεται ii/ η πίεση του αυξάνεται iii/ γίνονται και τα δύο μαζί. Αυτό λέγεται συμπίεση
Πχ όταν φουσκώνουμε ένα λάστιχο σε μια ρόδα ποδηλάτου προσφέρουμε στον αέρα ενέργεια με ‘το φούσκωμα’ με σκοπό να τον συμπιέσουμε – εδώ η πίεση του αέρα αυξάνεται με τη συμπίεση

2.8 Ενθαλπία

Ενθαλπία είναι το ποσό της θερμικής ενέργειας ενός σώματος το οποίο βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη θερμοδυναμική κατάσταση και είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμη για κάθε ενεργειακή μεταβολή (υπό μορφή έργου ή θερμότητας).

Σύμβολο: H

Μονάδες μέτρησης

- **kcal** (χιλιοθερμίδα)
- **J** (τζάουλ) , **kJ** (κιλοτζάουλ)
- **Btu** (μπι-τι-γιου)

Ειδική ενθαλπία: είναι η ενθαλπία ανά μονάδα μάζας (1 kg)

- Σύμβολο: **h**
- Μονάδες: kcal/kg , J/kg , Btu/kg

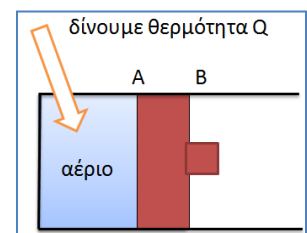
Ένα ρευστό μάζας m θα έχει (ολική) ενθαλπία $H = m * h$

2.9 Εσωτερική Ενέργεια

Εσωτερική Ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια που περιέχει ένα ρευστό. Σε μικροσκοπικό επίπεδο (δηλαδή αν μπορούσαμε να το δούμε με μικροσκόπιο) εκφράζει την κινητικότητα των μορίων του ρευστού.

- Σύμβολο: **U**
- Μονάδες: **kJ kcal**

Ουσιαστικά η εσωτερική ενέργεια έχει να κάνει με την κατάσταση του σώματος . Στην πράξη μας ενδιαφέρουν οι μεταβολές της εσωτερικής ενέργειας από μια κατάσταση A σε μια κατάσταση B, το ΔU δηλαδή όχι το U_A ή το U_B . Η μεταβολή αυτή εξαρτάται μόνο από το αρχικό και τελικό σημείο του ρευστού (A και B) δεν εξαρτάται από τη διαδρομή από το A στο B.

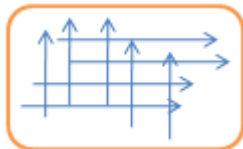


Παράδειγμα: Αν δώσουμε θερμότητα στο αέριο του εμβόλου η θερμότητα αυτή αποθηκεύεται σε αυτό με μορφή εσωτερικής ενέργειας. Η εσωτερική αυτή ενέργεια είναι *ανά πάσα στιγμή* διαθέσιμη για να μετατραπεί σε έργο $W = P * \Delta V$ όταν το έμβολο μετακινηθεί (μόνο του) από το Α στο Β.

2.10 Εντροπία

Εντροπία είναι μια παράμετρος που καθορίζει την αταξία των μορίων ενός ρευστού σε μια συγκεκριμένη θερμοδυναμική μεταβολή.

Μικρή εντροπία: Τα μόρια κινούνται διατεταγμένα



Μεγάλη εντροπία: τα μόρια κινούνται άτακτα



Σύμβολο: S

- Μονάδες: **J/K kcal/K**

Ειδική εντροπία: εντροπία ανά μονάδα μάζας.

- Σύμβολο: s
- Μονάδες: **J / (Kg * K) kcal/(Kg *K)**

Όλες οι πραγματικές μεταβολές συνοδεύονται από αύξηση της εντροπίας του ρευστού , ή το πολύ πολύ, μη μεταβολή της.

Κεφ 3. Οι βασικές θερμοδυναμικές έννοιες

3.1. Σύστημα και περιβάλλον

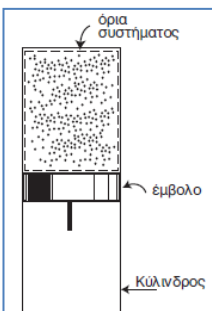
Σύστημα: Στη θερμοδυναμική σύστημα είναι το σύνολο ενός σώματος σε διάφορες φάσεις (στερεά υγρή αέρια) και στο οποίο εργαζόμαστε για ένα συγκεκριμένο σκοπό. Όλο αυτό το σύνολο καθορίζεται από μια κλειστή περιοχή που ονομάζεται **όγκος ελέγχου**.

Πχ το φρέον μέσα σε έναν εξατμιστή, το μίγμα αέρα – βενζίνης σε έναν κινητήρα αυτοκινήτου.

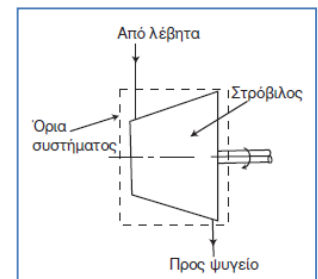
Το σύστημα περιορίζεται με τη βοήθεια τοιχωμάτων από το γύρω χώρο, ο οποίος ονομάζεται **περιβάλλον**. Τα τοιχώματα μπορεί να επιτρέπουν σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό τη μεταφορά θερμότητας από το σύστημα προς το περιβάλλον και αντίστροφα.

Το σύστημα εμπεριέχεται στο περιβάλλον. Το περιβάλλον με το σύστημα αλληλεπιδρούν και ανταλλάσσουν υλη (μάζα) ενέργεια, και τα δύο ή κανένα από τα δύο.

Ανοιχτό σύστημα: Αυτό που ανταλλάσει με το περιβάλλον και υλη (μάζα) και ενέργεια (πχ το φρέον ή το νερό σε συγκεκριμένο μήκος σωλήνα)



Κλειστό σύστημα: Αυτό που δεν επιτρέπει ανταλλαγή μάζας με το περιβάλλον (πχ ένα δοχείο νερού μια φιάλη με φρέον, μια φιάλη ασετιλίνης).



3.2 Είδη κλειστών συστημάτων

Μονωμένο σύστημα: Αυτό που δεν ανταλλάσσει ούτε μάζα ούτε ενέργεια με το περιβάλλον. Προφανώς μονωμένο σύστημα είναι το κλειστό σύστημα που δεν ανταλλάσει ενέργεια με το περιβάλλον(πχ ένα μονωμένο δοχείο).

Αδιαβατικό σύστημα: Είναι το κλειστό σύστημα που δεν ανταλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον. Προσοχή: μπορεί όμως να ανταλλάσει άλλου είδους ενέργεια με το περιβάλλον πχ να του δίνουμε ενέργεια με έργο (πχ μονωμένο δοχείο που με έναν αναδευτήρα του προσφέρουμε έργο (ενέργεια)

Ένα σύστημα πέρα από τη μάζα του χαρακτηρίζεται από τρία μεγέθη: *την πίεση (P) όγκο του (V) και την θερμοκρασία του (T)*. Αυτά, μαζί με κάποια άλλα που θα αναφέρουμε στη συνέχεια, ονομάζονται **θερμοδυναμικά μεγέθη**.

Πολλές φορές αντί του όγκου (V σε m^3) χρησιμοποιούμε τον ειδικό όγκο (V σε m^3 / Kg) που είναι ο όγκος ανά μονάδα μάζας

Όταν ΚΑΙ τα τρία αυτά μεγέθη παραμένουν σταθερά τότε λέμε ότι το σύστημα ισορροπεί ή καλύτερα βρίσκεται σε φυσική **κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας**.

Κάθε κατάσταση χαρακτηρίζεται από σταθερές τιμές στα μεγέθη P, V, T.

Μεταβολή: όταν ένα σύστημα από μια κατάσταση ισορροπίας 1 λόγω *ανταλλαγής ενέργειας με το περιβάλλον*, μεταπηδά σε μια κατάσταση ισορροπίας 2. Κατά την μεταβολή τα P V T αλλάζουν $P_1 V_1 T_1 \rightarrow P_2 V_2 T_2$.

Για να υπάρξει μεταβολή πρέπει να υπάρχει ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον.

Οι μεταβολές αυτές απεικονίζονται σε διαγράμματα για να βοηθούν να κατανοήσουμε καλύτερα τη μεταβολή των θερμοδυναμικών μεγεθών

Το πλέον χρησιμοποιούμενο διάγραμμα είναι **το διάγραμμα πίεσης –όγκου P –V**.

Υπάρχουν κι άλλα διαγράμματα που θα μας απασχολήσουν στη συνέχεια.

3.3. Το τέλειο αέριο

Το τέλειο αέριο δεν υπάρχει στην πραγματικότητα. Είναι όμως ένα καλό μοντέλο που μας βοηθάει να μελετήσουμε κατά προσέγγιση τη θερμοδυναμική συμπεριφορά των πραγματικών αερίων.

Το τέλειο αέριο είναι αυτό που υπακούει στην εξίσωση:

$$P * V = m * R * T$$

P απόλυτη πίεση

V όγκος

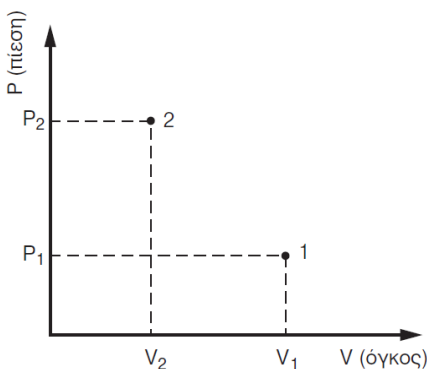
m μάζα αερίου

R αταθερά για κάθε αέριο

T απόλυτη θερμοκρασία

Επειδή m και R είναι σταθερά η παραπάνω εξίσωση μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$\frac{PV}{T} = \text{σταθερό}$$



Και για μεταβολή ενός τελείου αερίου από μια κατάσταση 1 σε μια κατάσταση 2 ισχύει :

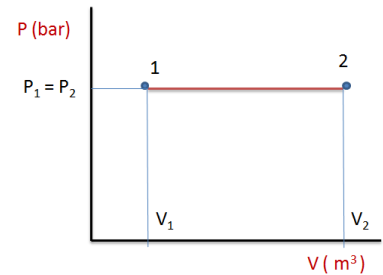
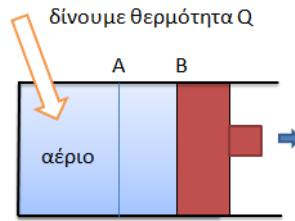
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

3.4.Είδη θερμοδυναμικών μεταβολών

Α. Ισοβαρής μεταβολή

(P= σταθερό - T V αλλάζουν)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

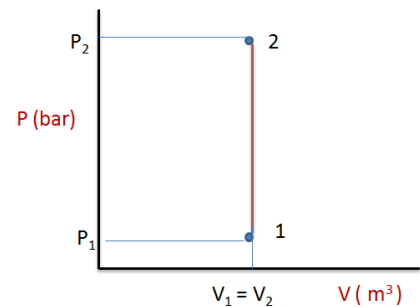
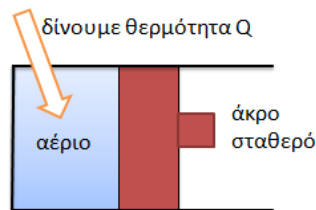


Η θέρμανση αερίου επιφέρει αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας

Β. Ισόχωρη ή ισόογκη μεταβολή

(V= σταθερό - P T αλλάζουν)

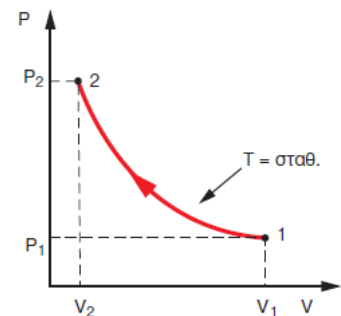
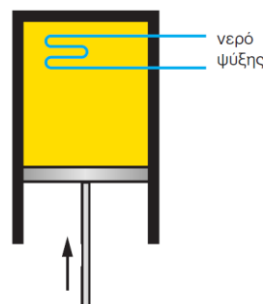
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



Γ. Ισόθερμη ή ισοθερμοκρασιακή μεταβολή

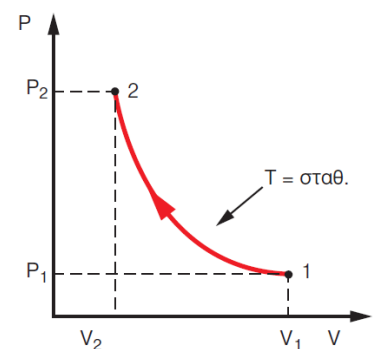
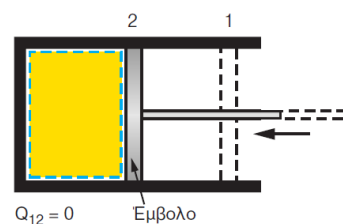
(T= σταθερό - P V αλλάζουν)

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



Δ. Αδιαβατική μεταβολή

(θερμότητα Q = σταθερή - P, V, T αλλάζουν)



Το αέριο δε συναλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον

Προφανώς μια αλλαγή συστήματος από μια κατάσταση 1 σε μια κατάσταση 2 μπορεί να συνοδεύεται με περισσότερες από μια από τις παραπάνω μεταβολές (πχ μια ισόχωρη, μια ισόθερμη και μια αδιαβατική).

Όταν η αλλαγή αυτή καταλήγει πάλι στο αρχικό σημείο, τότε λέμε ότι έχουμε έναν **θερμοδυναμικό κύκλο**.

3.5 Το 1ο θερμοδυναμικό αξίωμα

Η Θερμοδυναμική στηρίζεται στα θερμοδυναμικά αξιώματα ή νόμους, δηλαδή αρχές που δεν έχουν μεν αποδειχθεί, αλλά και που μέχρι σήμερα δεν υπάρχει καμία παρατήρηση η οποία να τις ανατρέψει.

Το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα (ΑΘΑ) αποτελεί επέκταση της αρχής της διατηρήσεως της μηχανικής ενέργειας και αποτελεί οπωσδήποτε αξίωμα, ενώ, αντίθετα, όπως είναι γνωστό από τη Μηχανική, η αρχή της διατηρήσεως της μηχανικής ενέργειας είναι θεώρημα.

Σύμφωνα λοιπόν με το ΑΘΑ αν σε ένα θερμοδυναμικό σύστημα προσφερθεί ποσό θερμότητας ΔQ , θα επέλθει αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος κατά ΔU και παραγωγή έργου ΔW .

Το άθροισμα εσωτερικής ενέργειας και του παραγόμενου έργου ισούται με την προσφερόμενη θερμότητα:

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

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι

$$\Delta U = U_B - U_A = Q - W$$

δηλαδή η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος μεταξύ δύο καταστάσεων ισούται με τη διαφορά μεταξύ αναρροφούμενης από αυτό θερμότητας και παραγόμενου έργου.

Και επειδή η εσωτερική ενέργεια εξαρτάται από την κατάσταση του συστήματος, δηλαδή η μεταβολή της δεν εξαρτάται από το δρόμο που ακολουθήθηκε, το ίδιο θα συμβαίνει και με τη διαφορά θερμότητας και έργου. Αντίθετα, τόσο η θερμότητα όσο και το έργο εξαρτώνται από το είδος της μεταβολής.

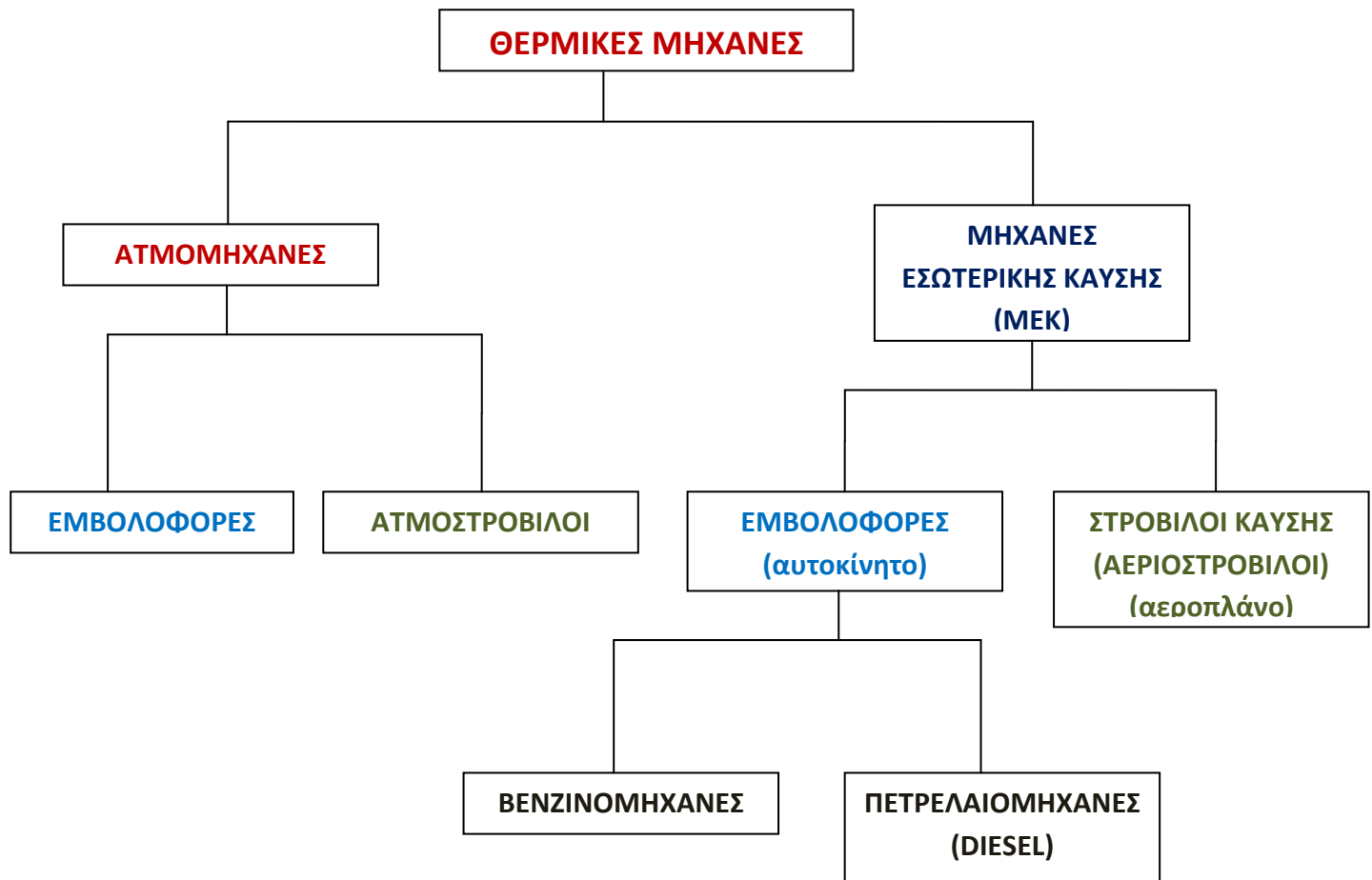
Κεφ 4. Θερμικές και ψυκτικές μηχανές

4.1 Θερμικές μηχανές

Θερμικές μηχανές είναι οι μηχανές που χορηγούμε σ αυτές θερμική ενέργεια την οποία αυτές μετατρέπουν (σε ωφέλιμο για μας) μηχανικό έργο

Εργαζόμενη ουσία: το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στις θερμικές μηχανές.

Είδη Θερμικών μηχανών



α/ Ατμομηχανές

Λειτουργούν με νερό το οποίο θερμαίνεται σε ένα *ατμολέβητα*, και μετατρέπεται σε ατμό μεγάλης θερμοκρασίας (και πίεσης). Ο ατμός αυτός με την εκτόνωση του μας δίνει το ωφέλιμο για μας έργο (κίνηση).

Η εκτόνωση του ατμού γίνεται με δύο τρόπους:

Με παλινδρομική κίνηση: εισάγεται σε κύλινδρο και κινεί παλινδρομικά (πάνω κάτω) ένα πιστόνι με μπιέλα, οπότε παίρνουμε την κίνηση σε στροφαλοφόρο άξονα (ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ)

Με περιστροφική κίνηση: ο ατμός οδηγείται σε ένα στρόβιλο (τουρμπίνα) όπου εκτονώνεται χτυπώντας στα πτερύγιά του. Με τον τρόπο αυτό τον περιστρέφει οπότε παίρνουμε απευθείας περιστροφική κίνηση (ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ).

Απαραίτητα πριν την ατμομηχανή θα πρέπει να υπάρχει ο ατμολέβητας για να μετατρέψει το νερό σε ατμό υψηλής θερμοκρασίας (υπέρθερμος ατμός)

Πως λειτουργεί ο ατμολέβητας:

Υπάρχει η καύσιμη ύλη (πχ λιγνίτης) η οποία καίγεται και παράγονται τα καυσαέρια. Αυτό γίνεται στο φλογοθάλαμο. Αυτά τα καυσαέρια, περνούν από ένα πλήθος σωλήνων (λέγονται αυλοί) και μεταδίδουν τη θερμότητα τους στο νερό. Αυτό γίνεται στον υδροθάλαμο. Το νερό μετατρέπεται σε ατμό και οδηγείται στον ατμοθάλαμο. Από εκεί και μετά είναι έτοιμο να οδηγηθεί στην ατμομηχανή.

β/ Μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ).

Οι ΜΕΚ λειτουργούν με καύσιμη ύλη η (μίγμα αέρα – βενζίνης σε βενζινομηχανές και μίγμα αέρα πετρελαίου στις πετρελαιομηχανές - Diesel). Η καύσιμη ύλη συσσωρεύεται σε έναν σταθερό όγκο (θάλαμος καύσης στον κύλινδρο) και κάτω από κατάλληλες συνθήκες εκρήγνυται. Η καύση - έκρηξη αυτή προκαλείται με απότομη αύξηση της θερμοκρασίας στις βενζινομηχανές (με τον σπινθηριστή ή μπουζί) ή με απότομη αύξηση της πίεσης στις πετρελαιομηχανές. Η έκρηξη έχει σαν αποτέλεσμα τη βίαιη ώθηση – κίνηση ενός εμβόλου (πιστόνι) δηλαδή τη δημιουργία ωφέλιμου σε μας έργου. Η μεταφορική κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική με άλλους μηχανισμούς (διωστήρας - στρόφαλος).

Λέγονται εσωτερικής καύσης γιατί η καύση γίνεται εσωτερικά μέσα στη μηχανή και σε συγκεκριμένο όγκο.

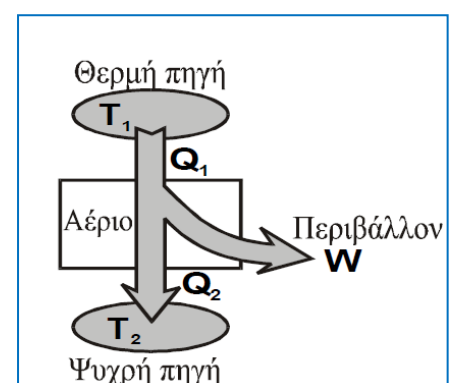
Οι στρόβιλοι λειτουργούν ακριβώς με την ίδια φιλοσοφία. Η διαφορά εδώ είναι ότι η καύσιμη ύλη μετά την έκρηξη της εκτονώνεται πάνω στα πτερύγια ενός στρόβιλου, αναγκάζοντας τον σε περιστροφή. Προφανώς εδώ παίρνουμε απευθείας περιστροφική κίνηση και μάλιστα πολύ μεγαλύτερων στροφών. Χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε αεροπλάνα. Η χρήση τους σε αυτοκίνηση έχει σα σκοπό την αύξηση της ισχύος του κινητήρα (Turbo)

Με άλλα λόγια:

Θερμική μηχανή = διάταξη που μεταφέρει μέρος της θερμότητας σε μηχανική ενέργεια (έργο W) και

Περιέχει ενεργό υλικό δηλ., μια ποσότητα ύλης στο εσωτερικό της που υποβάλλεται σε:

προσθήκη και απαγωγή θερμότητας, σε εκτόνωση και συμπίεση αλλαγή φάσης, π.χ. για ατμομηχανές – νερό, για μηχανές εσωτερικής καύσης – μίγμα αερίου και καυσίμου)



4.2. Η ψυκτική μηχανή

Στη θερμική μηχανή το έργο προσφέρεται ωφέλιμο σε μας (στο περιβάλλον) εξαιτίας μια διαδικασίας που συμβαίνει πάντοτε στη φύση από μόνη της: Τη μεταφορά της θερμότητας από μια θερμή πηγή σε μια

ψυχρή. Ως θερμή πηγή θεωρείστε την κατάσταση του ρευστού σε μια υψηλή θερμοκρασία T_1 . Ως ψυχρή πηγή θεωρείστε την κατάσταση του ίδιου ρευστού σε μια αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία T_2 . Δεν έγινε τίποτα περισσότερο από το αυτονόητο: Μεταφορά θερμότητας από το θερμό στο ψυχρό.

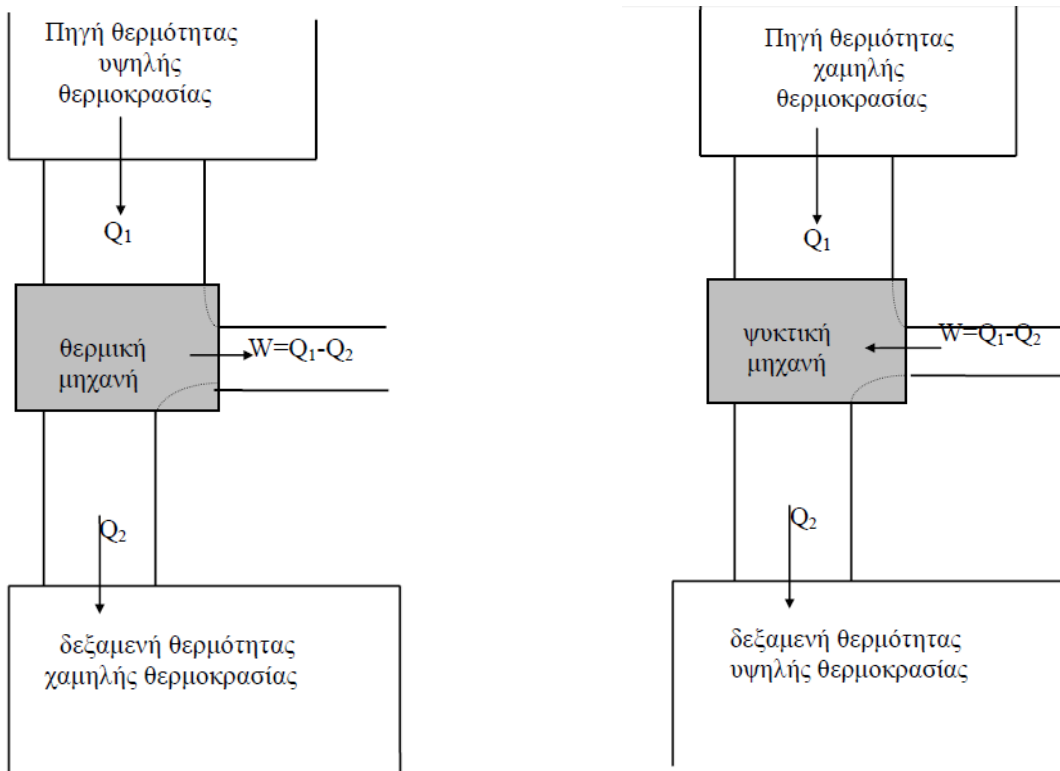
Το αντίστροφο γίνεται;

Γίνεται! Αρκεί να προσφέρουμε εμείς υπό μορφή έργου την απαραίτητη ενέργεια στο ρευστό, ώστε αυτό να αποκτήσει τις κατάλληλες θερμοδυναμικές συνθήκες (αύξηση πίεσης, θερμοκρασίας) για να απορροφήσει θερμότητα από το ψυχρό χώρο.

Ας συγκρίνουμε τις δύο μηχανές:

Στη θερμική μηχανή, θερμότητα ρέει από το χώρο υψηλής θερμοκρασίας (Q_1) σε χώρο χαμηλής θερμοκρασίας (Q_2). Η διαφορά τους ($Q_1 - Q_2$) μας προσφέρεται ως χρήσιμο έργο.

Στην ψυκτική μηχανή, θερμότητα απορροφάται (ή όπως λέμε αντλείται) από το χώρο χαμηλής θερμοκρασίας (Q_2) σε χώρο υψηλής θερμοκρασίας (Q_1). Η διαφορά τους ($Q_1 - Q_2$) είναι έργο που προσφέρεται, καταναλώνεται από εμάς, ώστε να επιτύχουμε αυτή τη θερμική μεταφορά.



4.3 Βαθμός ή απόδοσης μηχανής

Θερμική μηχανή:

- ✓ Ως **βαθμός απόδοσης** ή **απόδοση θερμικής μηχανής** ορίζεται ως το πηλίκο του παραγόμενου από τη μηχανή έργου W , προς το προσφερόμενο σ' αυτήν ποσό θερμότητας Q_1 .

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Από τον τύπο καταλαβαίνουμε ότι $n < 1$

Ψυκτική μηχανή:

- ✓ Ως **βαθμός απόδοσης** ή **απόδοση ψυκτικής μηχανής**, ορίζεται το πηλίκο του ποσού θερμότητας Q_2 , που απορροφάται από την δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας, προς το έργο W , που καταναλώνεται για τη λειτουργία της μηχανής:

$$\eta = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Από τον τύπο καταλαβαίνουμε ότι μπορεί $n > 1$

4.4 Το 2ο θερμοδυναμικό αξίωμα

Για τη Θερμική μηχανή:

- ✓ Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει θερμότητα σε έργο χωρίς ταυτόχρονα να παρέχει και κάποια θερμότητα σε μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας.

Με άλλα λόγια δεν μπορεί η θερμότητα Q_1 να μετατραπεί κατά 100% σε μηχανικό έργο W ...

Για την Ψυκτική μηχανή:

- ✓ Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ψυκτική μηχανή που να μεταβιβάζει θερμότητα από ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας χωρίς την κατανάλωση έργου.

Με άλλα λόγια πρέπει οπωσδήποτε να δώσουμε έργο W , για να γίνει η μεταβολή θερμότητας $Q_1 \rightarrow Q_2$

Κεφ 5. Οι καταστάσεις της ύλης

Γνωρίζουμε ότι οι καταστάσεις της ύλης είναι οι εξής:

- Στερεή (κρυσταλλική και άμορφη)
- Υγρή
- Αέρια

Τα **στερεά** σώματα, τα άτομα, ή μόρια του υλικού συγκρατούνται από ισχυρές δυνάμεις συνοχής σε συγκεκριμένες θέσεις στο χώρο γύρω από τις οποίες εκτελούν μικρές ταλαντώσεις. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του υλικού, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια των ταλαντώσεων.

Τα **υγρά** παρουσιάζουν (όπως και τα στερεά) δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων ή των ατόμων τους, αλλά λιγότερο ισχυρές. Σε αντίθεση με την άμορφη δομή της στερεάς ύλης, όπου τα μόρια ή τα άτομα βρίσκονται σε εντοπισμένες θέσεις, στα υγρά τα μόρια διαθέτουν αρκετή ενέργεια ώστε να πραγματοποιούν άλματα από θέση σε θέση, προσδίδοντας έτσι στο υλικό τις ιδιότητες του ρευστού. Με αύξηση της θερμοκρασίας, η κινητικότητα των δομικών στοιχείων αυξάνεται, και επομένως και η ρευστότητα του υγρού.

Στα **αέρια** η μέση ενέργεια των ατόμων, ή μορίων είναι μεγάλη, ώστε να κινούνται ελεύθερα στο χώρο. Η κίνησή τους είναι χαοτική, δηλαδή τελείως άτακτη. Στα αέρια- όπως και στα στερεά και τα υγρά- η κινητικότητα των δομικών στοιχείων (μόρια ή άτομα) αυξάνει με τη θερμοκρασία.

Συμπέρασμα: Η κατάσταση, στην οποία βρίσκεται ένα υλικό εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία. Αυτό δε σημαίνει όμως ότι με σταθερή θερμοκρασία το υλικό δεν μπορεί να αλλάξει φάση. Μπορεί αν αλλάξουμε την πίεση! Ένα αέριο που συμπιέζεται υπό σταθερή θερμοκρασία (αυτό γίνεται αν αλλάξει ο όγκος) μπορεί να αλλάξει φάση και από αέριο να γίνει υγρό...

5.1 Αλλαγές φάσεων

Στερεό → υγρό και αντίστροφα:

Όταν θερμανθεί ένα στερεό σώμα και φθάσει σε μια θερμοκρασία, τότε αρχίζει να μεταβαίνει στην υγρή φάση. Η μετάβαση αυτή από τη στερεή στην υγρή φάση λέγεται τήξη. Στα κρυσταλλικά στερεά αυτό συμβαίνει σε μιαν ορισμένη θερμοκρασία, η οποία λέγεται θερμοκρασία τήξης, ή σημείο τήξης. Στα άμορφα υλικά η μετάβαση αυτή γίνεται σε μια περιοχή θερμοκρασιών, η οποία λέγεται περιοχή τήξης. Η αντίστροφη διαδικασία λέγεται πήξη. Οι θερμοκρασίες τήξης και πήξης συμπίπτουν.

Υγρό → αέριο

Η μετάβαση από την υγρή στην αέρια φάση λέγεται εξάτμιση ή ατμοποίηση ή και βρασμός. Ας εξηγήσουμε τις 3 έννοιες:

Παραγωγή ατμού σε κλειστό σύστημα = ατμοποίηση. Σημαίνει παραγωγή ατμού όταν δεν έχουμε παρουσία ατμών από άλλο αέριο παρά μόνο από το ίδιο το ρευστό σε (πχ ψυκτικό κύκλωμα).

Παραγωγή ατμού σε ανοιχτό σύστημα Η μετατροπή σε ατμό γίνεται παρουσία κι άλλων αερίων (ατμοσφαιρικός αέρας) Οι διαδικασίες είναι δύο:

α/εξάτμιση: Μετατροπή σε αέριο μέσω φυσαλίδων μόνο από την επιφάνεια του υγρού

β/ Βρασμός: Μετατροπή σε αέριο μέσω φυσαλίδων απ όλη την μάζα του υγρού οι οποίες κινούνται προς τα πάνω και σπάζουν.

Στην ψύξη, ατμοποίηση γίνεται στον εξατμιστή.

Για κάθε πίεση, υπάρχει μια τιμή θερμοκρασίας πέραν της οποίας το υγρό μεταβαίνει στην αέρια φάση. Η θερμοκρασία αυτή λέγεται σημείο βρασμού ή σημείο

Ήλιο	-269 °C	Αιθέρας	35 °C
Οξυγόνο	-183 °C	Οινόπνευμα	78 °C
R 22	-41 °C	Νερό	100 °C
Αμμωνία	-33,5 °C	Υδράργυρος	357 °C
R 12	-29 °C	Σίδηρος	3000 °C

ατμοποίησης, και εξαρτάται δραματικά από την πίεση. Στο σχήμα φαίνονται σημεία ατμοποίησης σε πίεση 1 atm. Προσέξτε τις θερμοκρασίες για τα ψυκτικά μέσα R12, R22.

Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση τόσο μεγαλύτερο το σημείο ατμοποίησης.

Κατά τη διάρκεια της ατμοποίησης, η πίεση και η θερμοκρασία του ρευστού παραμένουν σταθερές καθώς αλλάζει μόνο η φάση. Συνεπώς η ατμοποίηση είναι μια μεταβολή ισοβαρής και ισοθερμοκρασιακή.

Τι σημαίνει αυτό ότι για μια συγκεκριμένη πίεση υπάρχει μια συγκεκριμένη θερμοκρασία ατμοποίησης όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

Η πίεση και η θερμοκρασία ατμοποίησης είναι 'ζευγάρια τιμών' και από ειδικούς πίνακες όταν ξέρουμε τη μια μπορούμε να βρούμε την άλλη.

Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)	Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)
0,312	70	1,433	110
0,474	80	1,985	120
0,701	90	2,701	130
1,013	100	3,614	140

Αέριο → Υγρό

Η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η μετάβαση από την αέρια στην υγρή φάση λέγεται υγροποίηση ή συμπύκνωση. Υπό συνθήκες ίδιας πίεσης το σημείο ατμοποίησης και το σημείο συμπύκνωσης συμπίπτουν.

Κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης, η πίεση και η θερμοκρασία του ρευστού παραμένουν σταθερές καθώς αλλάζει μόνο η φάση. Συνεπώς η συμπύκνωση είναι μια μεταβολή ισοβαρής και ισοθερμοκρασιακή.

Στερεό → αέριο και αντίστροφα

Όταν η εξωτερική πίεση (πίεση του περιβάλλοντος) είναι αρκετά χαμηλή, τότε ευνοείται η μετάβαση από τη στερεή απευθείας στην αέρια φάση. Η μετάβαση αυτή λέγεται εξάχνωση και η αντίστροφη διαδικασία στερεοποίησης. Η θερμοκρασία εξάχνωσης είναι ίση με τη θερμοκρασία στερεοποίησης.

Συνοψίζοντας:

Θερμοκρασία τήξης = θερμοκρασία πήξης

Θερμοκρασία βρασμού ή ατμοποίησης = θερμοκρασία συμπύκνωσης

Θερμοκρασία εξάχνωσης = θερμοκρασία στερεοποίησης

5.2 Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα και η σχέση τους με τις μεταβολές φάσεων

Αισθητή θερμότητα: Είναι η θερμότητα που δίνουμε σε ένα ρευστό ή δίνει αυτό στο περιβάλλον, όταν αυξάνεται ή μειώνεται η θερμοκρασία του και η φάση του παραμένει η ίδια.

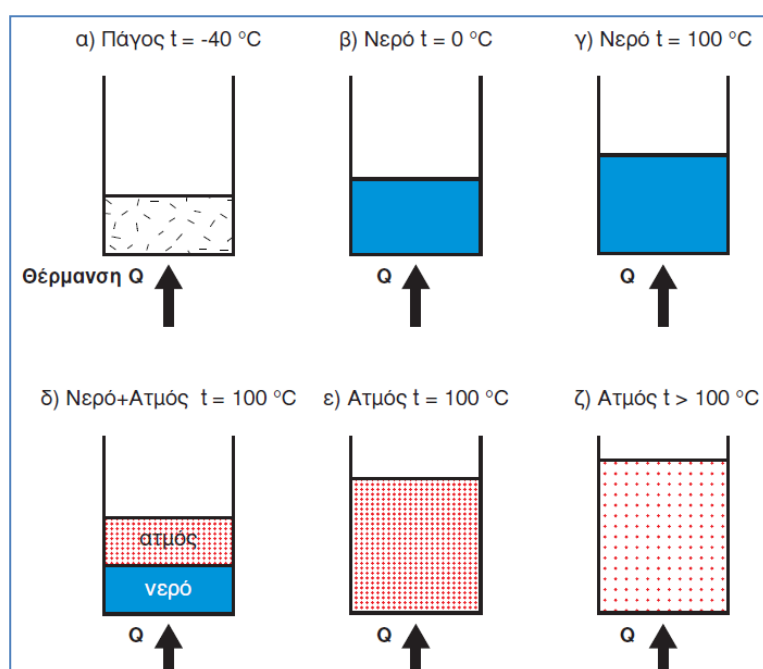
Λανθάνουσα θερμότητα: Είναι η θερμότητα που δίνουμε σε ένα ρευστό ή δίνει αυτό στο περιβάλλον, όταν η θερμοκρασία του παραμένει σταθερή και αλλάζει η φάση του.

Ας κατανοήσουμε καλύτερα τις παραπάνω έννοιες με τις μετατροπές του νερού.

5.3 Το πείραμα του νερού

Στις συνηθισμένες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος όπου ζούμε, δηλαδή στην περιοχή θερμοκρασιών έως -30C ως $+50\text{C}$ τα περισσότερα από τα υλικά καθημερινής χρήσης (σίδηρος, χαλκός, ατμοσφαιρικός αέρας, έδαφος) παραμένουν στην ίδια κατάσταση. Εξάιρεση αποτελεί το νερό, το οποίο απαντά κανονικά και στις τρεις καταστάσεις της ύλης.

Θεωρείστε δοχείο με πάγο στους $-40\text{ }^\circ\text{C}$. Προσφέρουμε συνεχώς θερμότητα.



1. Μέχρι το σημείο τήξης των 0°C το νερό δεν αλλάζει φάση και παραμένει σε κατάσταση πάγου. Το μόνο που αυξάνεται είναι η θερμοκρασία του από -40°C σε 0°C.

Η θερμότητα μέχρι αυτό το σημείο είναι **αισθητή θερμότητα**.

2. Αφού η θερμοκρασία πιάσει το σημείο τήξης των 0°C συνεχίζουμε να δίνουμε θερμότητα. Η θερμοκρασία **παραμένει 0°C** και αλλάζει η φάση μέχρι όλος ο πάγος να γίνει υγρό. Εδώ προσέξτε ότι οι δυο φάσεις (στερεά και υγρή) **συνυπάρχουν** σε διαφορετική κάθε φορά ποσότητα. Αρχικά 100% πάγος και 0% υγρό και όσο θερμαίνουμε το ποσοστό του πάγου μειώνεται και ταυτόχρονα το ποσοστό υγρού αυξάνεται. Αυτό γίνεται μέχρι να επιτύχουμε 0% πάγο και 100% υγρό, να γίνει δηλαδή όλος ο πάγος υγρό.

- Η θερμότητα σε αυτό το στάδιο είναι **λανθάνουσα θερμότητα τήξης** και είναι **πολύ μεγαλύτερη από αυτή στο στάδιο 1**.

Στο πλέον 100% υγρό συνεχίζουμε να προσφέρουμε θερμότητα. Αυτό που γίνεται τώρα είναι ότι η θερμοκρασία του υγρού αυξάνεται από 0°C ως 100°C (σημείο ατμοποίησης) με την υγρή φάση σταθερή.

- Η θερμότητα στο στάδιο αυτό είναι **αισθητή θερμότητα**.
- Το υγρό σε θερμοκρασία κάτω από αυτή του σημείου ατμοποίησης λέγεται **υπόψυκτο υγρό**

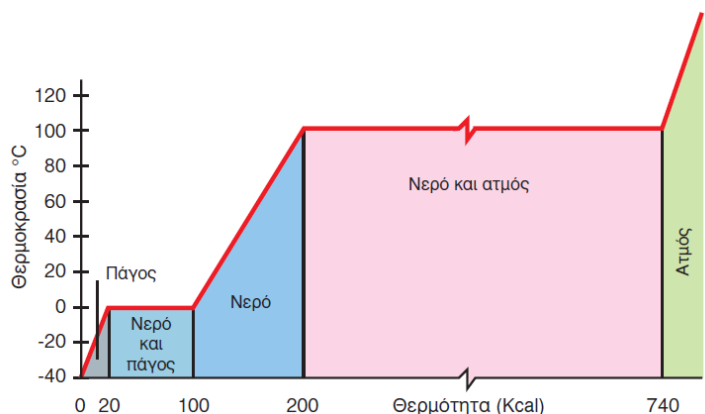
3. Όταν η θερμοκρασία φτάσει στο σημείο ατμοποίησης των 100°C συνεχίζουμε να δίνουμε θερμότητα. Η θερμοκρασία **παραμένει 100°C** και αλλάζει η φάση μέχρι όλος ο υγρός να γίνει αέριος ατμός. Προσέξτε πάλι ότι οι δυο φάσεις (υγρή και αέρια) **συνυπάρχουν** σε διαφορετική κάθε φορά ποσότητα. Αυτό λέγεται **μίγμα υγρού – αερίου**. Αρχικά 100% υγρό και 0% ατμός και όσο θερμαίνουμε το ποσοστό του υγρού μειώνεται και ταυτόχρονα το ποσοστό ατμού αυξάνεται. Αυτό γίνεται μέχρι να επιτύχουμε 0% υγρό και 100% ατμό, να γίνει δηλαδή όλο το υγρό ατμός.

- Η θερμότητα σε αυτό το στάδιο λέγεται **λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης** και είναι **πολύ μεγαλύτερη από αυτή στο στάδιο 3**.
- Το υγρό στους 100°C (100% υγρό και 0% ατμός) λέγεται **κορεσμένο υγρό**.
- Ο ατμός στους 100°C (0% υγρό και 100% ατμός) λέγεται **κορεσμένος ατμός**.

Αν τώρα συνεχίσουμε να προσφέρουμε θερμότητα στον ατμό το μόνο που θα αλλάξει πια θα είναι η θερμοκρασία του ατμού η οποία θα αυξάνεται από 100°C και πάνω.

- Η θερμότητα στο στάδιο αυτό είναι **αισθητή θερμότητα**.
- Ο ατμός σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο ατμοποίησης λέγεται **υπέρθερμος ατμός**.

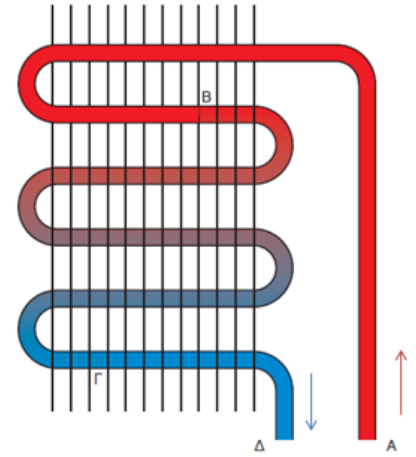
Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στο επόμενο σχήμα. Προσέξτε ότι τα ποσά στις λανθάνουσες θερμότητες είναι πολύ μεγαλύτερα από αυτά των αισθητών. Αυτό στην ψύξη και στους εξατμιστές ή τους συμπυκνωτές χρησιμεύει πολύ όπως θα δούμε παρακάτω.



Κεφ 6. Οι θερμοδυναμικές διεργασίες στην ψύξη

6.1 Η συμπύκνωση στην ψυκτική εγκατάσταση

Συμπύκνωση είναι η μετατροπή του αερίου ψυκτικού μέσου σε υγρό. Όσο διαρκεί, θερμότητα από το ψυκτικό απορρίπτεται στο περιβάλλον. Το ίδιο το φρέον, χάνοντας τη θερμότητα του, γίνεται από ατμός, υγρό, δηλαδή συμπυκνώνεται. Όσο το φρέον κυκλοφορεί στις σωληνώσεις του στοιχείου, η συμπύκνωση πραγματοποιείται σε τρία στάδια:



ΑΒ : Το υπέρθερμος ατμός γίνεται ξηρός κορεσμένος ατμός.

Μειώνεται η θερμοκρασία του, χωρίς αλλαγή φάσης. Συνεπώς η θερμότητα που ρέει από τον ψυκτικό προς το περιβάλλον είναι **αισθητή**.

ΒΓ: Ο ξηρός κορεσμένος ατμός γίνεται κορεσμένο υγρό. Εδώ έχουμε καθαυτή συμπύκνωση με αλλαγή φάσης υπό σταθερή θερμοκρασία. Συνεπώς η θερμότητα που ρέει από τον ψυκτικό προς το περιβάλλον είναι λανθάνουσα και ονομάζεται **λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης**

Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης είναι το ποσό θερμότητας που αποβάλλει 1kg ξηρού κορεσμένου ατμού ώστε να γίνει κορεσμένο υγρό στην ίδια θερμοκρασία. Μετριέται σε kJ/ Kg και kcal/Kg

Στη διαδρομή ΒΓ το ψυκτικό είναι μίγμα αερίου υγρού. Αρχικά 100% ατμός και όσο προχωράμε, το ποσοστό ατμού μειώνεται και υπερσχύει το υγρό μέχρι να φτάσουμε σε 100% υγρό (κορεσμένο).

Σε όλη τη διαδρομή έκτος από τη θερμοκρασία παραμένει πρακτικά σταθερή και η πίεση.

ΓΔ: Στη διαδρομή ΓΔ το κορεσμένο υγρό χάνει επιπλέον θερμότητα, η θερμοκρασία του πέφτει ακόμα παρακάτω από αυτή της συμπύκνωσης. Λέμε ότι το υγρό ψυκτικό είναι **υπόψυκτο υγρό** (υγρό δηλαδή κάτω της θερμοκρασίας κορεσμού). Προφανώς αφού έχουμε μόνο πτώση θερμοκρασίας χωρίς αλλαγή φάσης, η θερμότητα που απορρίπτεται στο περιβάλλον στο σταδία αυτό είναι αισθητή.

6.2 Συμπύκνωση: πόσο απαραίτητος είναι ο συμπιεστής στην ψυκτική μας μονάδα....

Ας δούμε γιατί: Κοιτάξτε τον επόμενο πίνακα με τα ζευγάρια πίεσης και θερμοκρασίας ατμοποίησης (ή συμπύκνωσης) Πρόκειται για το παλιό ψυκτικό R22.

Το ψυκτικό περίπου σε ατμοσφαιρική πίεση (1,005 bar) ατμοποιείται στους -30°C. Έτσι πάντα απορροφά θερμότητα από τον (πάντα θερμότερο) περιβάλλοντα χώρο, ο οποίος με τη σειρά του ψύχεται και έτσι επιτυγχάνουμε την ψύξη του. Αυτό θα

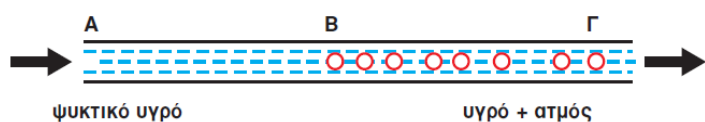
Θερμοκρασία (°C)	Πίεση (bar)	Λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης (kJ/kg)
-35	0,808	169,1
-30	1,005	167,4
-20	1,510	163,7
-10	2,193	159,5
-5	2,609	157
0	3,086	154,9
5	3,625	152,4
10	4,230	149,9
15	4,911	147,3
20	5,667	144,4
25	6,508	141,5
30	7,435	138,6

γίνεται συνέχεια όσο ο χώρος έχει θερμοκρασία πάνω από -30°C και θα σταματήσει μόνο όταν η θερμοκρασία στο χώρο γίνει ίση με -30°C (και πίεση πάντα 1,005 bar).

Για να επαναλάβουμε όμως την παραπάνω διαδικασία πρέπει να συμπυκνώσουμε πάλι το ψυκτικό. Για να γίνει όμως συμπύκνωση, πρέπει το ψυκτικό να έχει θερμοκρασία συμπύκνωσης *μεγαλύτερη* από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Αν πχ το περιβάλλον έχει θερμοκρασία 20°C θα πρέπει το ψυκτικό να έχει μεγαλύτερη (πχ 30°C) αλλιώς πως θα αποδώσει θερμότητα στο περιβάλλον; Συμπύκνωση στην ήδη υπάρχουσα πίεση των 1,005 bar είναι αδύνατον να γίνει. Πρέπει το ψυκτικό να αποκτήσει πίεση από 1,005 bar στα 7,435 bar (βλ πίνακα) για να μπορεί να συμπυκνωθεί στους 30°C . Την αύξηση αυτή της πίεσης την αναλαμβάνει ο συμπιεστής.

6.3 Στραγγαλισμός – εκτόνωση του ψυκτικού μέσου.

Μετά τη συμπύκνωση πρέπει το υπόψυκτο υγρό ψυκτικό να ατμοποιηθεί. Πως όμως αυτό μπορεί να γίνει στην τόσο υψηλή πίεση των 7,435 bar; Για να ατμοποιηθεί το ψυκτικό και να επιτύχουμε συνθήκες ψύξης πρέπει η θερμοκρασία του να πέσει πάλι στα χαμηλά επίπεδα των -30°C . Αυτό σημαίνει ταυτόχρονα και πτώση της πίεσης του. Η πτώση αυτή της πίεσης, η καταστροφή όπως λέμε ονομάζεται στραγγαλισμός.



Η πτώση αυτή γίνεται θαυμάσια όταν το υγρό από ένα σωλήνα αρκετά μεγάλης διαμέτρου ωθείται απότομα σε ένα σωλήνα παρά πολύ μικρής διαμέτρου και μεγάλου μήκους. Ή αλλιώς αν το υγρό ψυκτικό περάσει απότομα από μια μεγάλη σε μια πολύ μικρή διατομή.

Η πίεση του μειώνεται συνέχεια λόγω τριβών στο λεπτό σωλήνα καθ όλη τη διάρκεια της πορείας του. Η πίεση κάποια στιγμή θα πέσει στην τιμή εκείνη που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία ατμοποίησης (ζευγάρια τιμών). Από εκεί και μετά – και σε μεγαλύτερη πτώση πίεσης – αρχίζουν να σχηματίζονται οι πρώτες φυσαλίδες ατμού. Κι αυτό γιατί τώρα μαζί με την πίεση πέφτει και η θερμοκρασία. Κάτι τέτοιο δεν το θέλουμε καθώς στον ατμοποιητή πρέπει να μπαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό υγρό ψυκτικό.

Το πλεονέκτημα με τη διαδικασία στραγγαλισμού είναι ότι γίνεται από μόνη της χωρίς να χρειάζεται να δώσουμε έργο στο ψυκτικό μέσο. Η ενθαλπία λοιπόν του ψυκτικού στο στραγγαλισμό ή εκτόνωση παραμένει σταθερή (εκτόνωση = ισηνθαλπική μεταβολή) και η μεταβολή της ενθαλπίας Δh είναι 0 (δεν υπάρχει ενεργειακή μεταβολή).

Κεφ. 7 Ο ψυκτικός κύκλος

Ψύξη είναι η αφαίρεση της θερμότητας από ένα χώρο. Ο χώρος αυτός μπορεί να είναι από ένα μικρό χώρο ψυγείου, μέχρι ένα τεράστιο δωμάτιο ή θάλαμο. Η θερμότητα που αφαιρείται από το χώρο απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Αυτός άλλωστε είναι και ο ρόλος της ψυκτικής μηχανής: Να απορροφά, να αντλεί θερμότητα από ένα *ψυχρότερο* χώρο και να την στέλνει να την απορρίπτει σε έναν *θερμότερο*. Αντίθετα από αυτό που συμβαίνει αυθόρμητα στη φύση. Γι αυτό και οι ψυκτικές μηχανές καλούνται και **αντλίες θερμότητας**.

7.1 Ενεργειακή προσέγγιση

Ψυκτική ισχύς: Είναι το ποσό της θερμότητας που αφαιρείται από το χώρο στη μονάδα του χρόνου.

Μονάδες: W Kcal/h , Btu/h RT (ψυκτικός τόνος).

Η ψυκτική ισχύς έχει τεράστια σημασία στην ψύξη καθώς μας δίνει πόσο γρήγορα αφαιρείται η θερμότητα από το χώρο ψύξης.

Πως αφαιρούμε θερμότητα από ένα χώρο; Απλό! Με την μετατροπή ενός υγρού σε αέριο. Η μετατροπή αυτή θέλει θερμότητα την οποία και παίρνει από το χώρο ψύξης. Ο ίδιος ο χώρος ψύξης, χάνοντας τη θερμότητα του, ψύχεται.

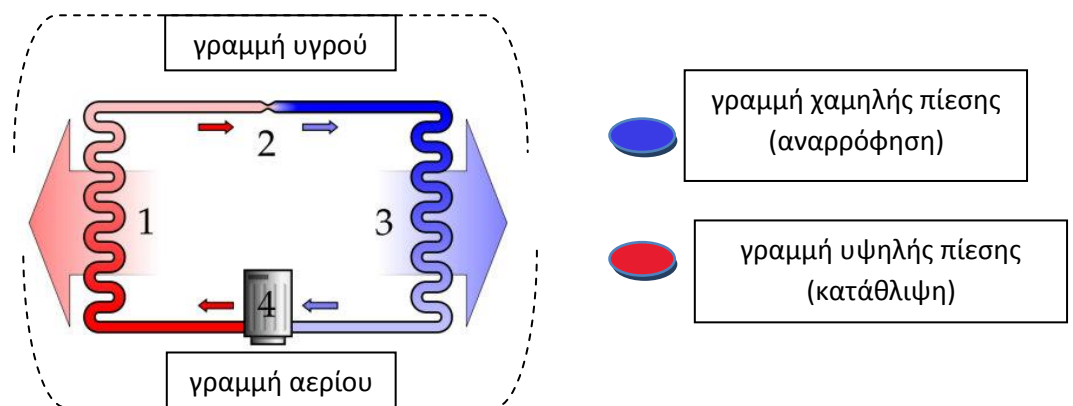
Το εξάρτημα που κάνει αυτή τη διεργασία, λέγεται στοιχείο ατμοποίησης ή ατμοποιητής

Για να επαναληφτεί η παραπάνω διεργασία, θα πρέπει το αέριο να ξαναγίνει υγρό. Αυτό γίνεται ακριβώς ανάλογα σε άλλο χώρο (περιβάλλον). Το ρευστό, για να μετατραπεί από αέριο σε υγρό, διώχνει, απορρίπτει θερμότητα, την οποία και παραλαμβάνει το περιβάλλον.

Το εξάρτημα που κάνει αυτή τη διεργασία, λέγεται στοιχείο συμπύκνωσης ή συμπυκνωτής.

Η παραπάνω διαδικασία πρέπει να γίνεται συνέχεια. Γι αυτό απαιτείται ένα κλειστό κύκλωμα ψύξης, όπου το ψυκτικό να μπορεί γρήγορα να αλλάζει φάσεις. Ας δούμε τα 4 βασικά εξαρτήματα του κυκλώματος:

- 1 εξατμιστής
- 2 εκτονωτική διάταξη
- 3 συμπυκνωτής
- 4 συμπιεστής

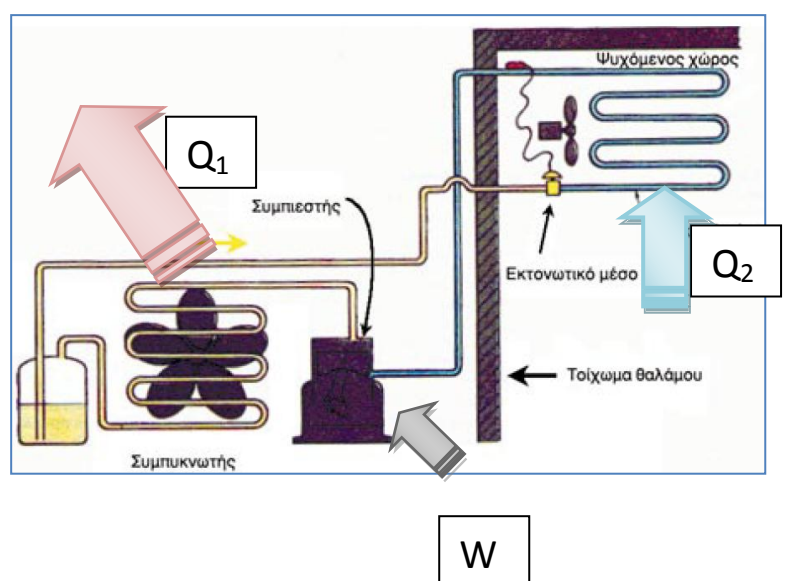


Το επόμενο σχήμα δείχνει τον ψυκτικό κύκλο πιο παραστατικά:

Συμφώνα με το 2^ο Θερμοδυναμικό νόμο είναι αδύνατο να πάρουμε θερμότητα από το ψυχρό προς το θερμό χωρίς να δαπανήσουμε έργο.

Με άλλα λόγια **ΔΕΝ ισχύει $Q_1 = Q_2$**

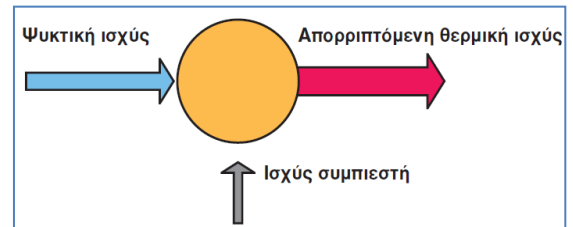
Το έργο αυτό W το προσφέρουμε εμείς με την συμπίεση. Το αέριο πρέπει να συμπιεστεί γιατί μόνο σε υψηλή πίεση είναι δυνατή η συμπύκνωση και η απόρριψη της θερμότητας Q_1



Με άλλα λόγια : **$Q_1 = Q_2 + W$**

Συνήθως μας ενδιαφέρει η ισχύς και ο παραπάνω τύπος εκφράζεται:

$$\text{Ψυκτική Ισχύς} = \text{Ισχύς συμπίεσής} + \text{Απορριπτόμενη θερμική ισχύς}$$



Οι παρακάτω πίνακές για την ενέργεια και την ισχύ σίγουρα θα σας φανούν χρήσιμοι:

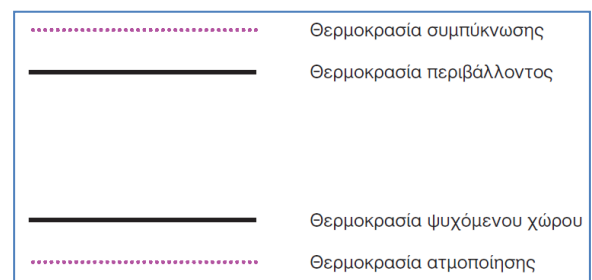
ΕΝΕΡΓΕΙΑ	J	Kpm	Kcal	Btu	kWh
J	1	0,102	$2,39 \times 10^{-4}$	$9,46 \times 10^{-4}$	$2,77 \times 10^{-7}$
Kpm	9,81	1	$2,34 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-3}$	$2,72 \times 10^{-6}$
Kcal	$4,186 \times 10^3$	427	1	3,968	$1,26 \times 10^{-3}$
Btu	1055	108	0,252	1	$2,93 \times 10^{-4}$
kWh	$3,6 \times 10^6$	$3,67 \times 10^5$	860	3412	1

ΙΣΧΥΣ	W	PS	Kcal/h	Btu/h	RT
W	1	$1,36 \times 10^{-3}$	0,860	3,41	$2,85 \times 10^{-4}$
PS	735,5	1	633	2513	0,209
Kcal/h	1,161	$1,58 \times 10^{-3}$	1	3,968	$3,3 \times 10^{-4}$
Btu/h	0,293	$3,98 \times 10^{-4}$	0,252	1	$8,33 \times 10^{-5}$
RT	3510	4,78	3024	12000	1

7.2 Θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης

Για να υπάρχει ροή θερμότητας στον ατμοποιητή (Q_2) και το συμπυκνωτή (Q_1) θα πρέπει να υπάρχουν οι ανάλογες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του ψυκτικού που αλλάζει φάση και του περιβάλλοντα χώρου γύρω από τις σωληνώσεις του εκάστοτε στοιχείου (ατμοποιητή ή συμπυκνωτή). Πιο συγκεκριμένα:

- ✓ **Στον ατμοποιητή:** Η θερμοκρασία ατμοποίησης (εξάτμισης) του φρέον πρέπει σίγουρα να είναι μικρότερη του χώρου που θέλουμε να ψύξουμε. Αλλιώς πώς θα πάρει θερμότητα το φρέον από το χώρο για να ατμοποιηθεί;
- ✓ **Στον συμπυκνωτή:** Η θερμοκρασία συμπύκνωσης του φρέον πρέπει σίγουρα να είναι μεγαλύτερη του περιβάλλοντα εξωτερικού χώρου. Αλλιώς πώς θα δώσει θερμότητα το φρέον στο περιβάλλον ώστε να συμπυκνωθεί;



Αυτά μπορείτε να τα δείτε και στο διπλανό σχεδιάγραμμα:

Σε περίπτωση που δεν συμβαίνει ένα από τα δυο ο ψυκτικός κύκλος παύει να λειτουργεί.

Διακοπή κύκλου υπάρχει και σε περίπτωση εξίσωσης θερμοκρασιών και ειδικά για την ατμοποίηση υπάρχει θερμοστάτης στο χώρο ψύξης που διακόπτει το κύκλωμα.

Όσο μεγαλύτερες είναι οι θερμοκρασιακές διαφορές τόσο μεγαλύτερα ποσά θερμότητας μεταφέρονται. Αυτό φαίνεται και από το νόμο της θερμότητας:

$$Q = m c \Delta\theta = m c (\theta_{\text{τελική}} - \theta_{\text{αρχική}})$$

Μην ξεχνάτε επίσης ότι οι θερμοκρασίες συμπύκνωσης και εξάτμισης του ψυκτικού αντιστοιχούν σε πιέσεις (ζευγάρια τιμών). Η θερμοκρασία εξάτμισης αντιστοιχεί στην χαμηλή πίεση (αναρρόφησης) και η θερμοκρασία συμπύκνωσης αντιστοιχεί στην υψηλή πίεση (κατάθλιψη).

Κεφ 8. Ο ψυκτικός κύκλος στο διάγραμμα p-h (πίεσης – ενθαλπίας ή διάγραμμα Mollier)

8.1. Επεξήγηση του διαγράμματος p-h

Τα θερμοδυναμικά διαγράμματα μας βοηθούν να απεικονίσουμε σε αυτά όλες τις θερμοδυναμικές μεταβολές που συμβαίνουν σε μια μηχανή, και να βρούμε απευθείας με την απεικόνιση αυτή, τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά σε κάθε σημείο της μηχανής (πίεση, θερμοκρασία, ενθαλπία, ειδικό όγκο κλπ). Αυτό μας βοηθά πολύ στους υπολογισμούς μας και την επιλογή των μηχανημάτων από τους καταλόγους των κατασκευαστών.

Διαγράμματα υπάρχουν αρκετά: P-V (πίεσης – όγκου) T-S (θερμοκρασίας – εντροπίας) και άλλα.

Για τις ψυκτικές μηχανές από πού χρησιμοποιούμε είναι το διάγραμμα p – h (πίεσης – ενθαλπίας) ή αλλιώς διάγραμμα Mollier.

Ας το γνωρίσουμε...

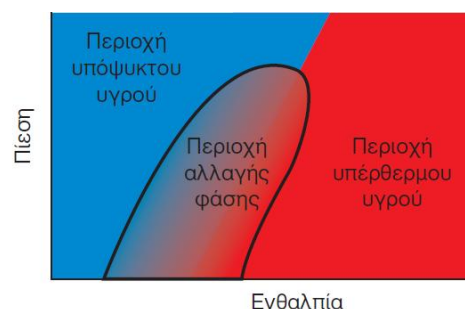
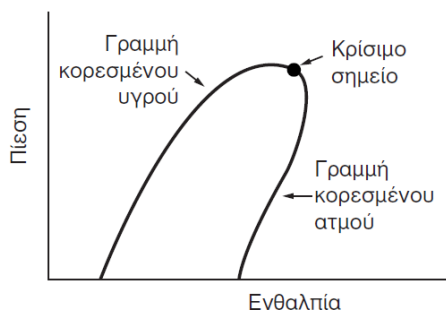
Ποια μεγέθη υπάρχουν στο διάγραμμα p – h?

πίεση p (bar ή psi ή kg/cm²) ειδική ενθαλπία h (kJ/kg ή kcal/kg) θερμοκρασία t (°C)
ειδικός όγκος v (m³/Kg) εντροπία s (kJ/°K Kg)

- Η ειδική ενθαλπία χάρη συντομίας θα λέγεται ενθαλπία.

Κυρίως θα μας απασχολήσουν τα τρία πρώτα μεγέθη δηλ. πίεση, ενθαλπία και θερμοκρασία και λιγότερο ο ειδικός όγκος.

Πρώτα ας μάθουμε τις γραμμές του διαγράμματος και στη συνέχεια τις περιοχές του:



Ορολογία:

- ✓ **Υπόψυκτο υγρό:** το υγρό που βρίσκεται κάτω από τη θερμοκρασία ατμοποίησης. Βρίσκεται μέσα στην περιοχή υπόψυκτου υγρού
- ✓ **Κορεσμένο υγρό:** το υγρό που βρίσκεται σε πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης. Βρίσκεται πάνω στη γραμμή κορεσμένου υγρού.

- ✓ **Κορεσμένος ατμός:** ο ατμός που βρίσκεται σε πίεση και θερμοκρασία ατμοποίησης και περιέχει μίγμα υγρού (σταγονίδια) και ατμού. Η αναλογία των δυο φάσεων καθορίζεται από το βαθμό ξηρότητας.
- ✓ **Ξηρός κορεσμένος ατμός:** Ο ατμός που βρίσκεται σε θερμοκρασία ατμοποίησης και είναι 100% ατμός (χωρίς σταγονίδια υγρού).
- ✓ **Υπέρθερμος ατμός:** ο ατμός που βρίσκεται πλέον σε θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία ατμοποίησης.
- ✓ **Κρίσιμο σημείο:** το σημείο εκείνο στο οποίο το υγρό μετατρέπεται απευθείας σε ξηρό κορεσμένο ατμό ενδιάμεση κατάσταση δύο φάσεων.
- ✓ **Βαθμός ξηρότητας:** είναι ένας αριθμός από το 0 ως το 1 που μας δείχνει πόσος ατμός βρίσκεται στο σύνολο της μάζας υγρού- ατμού. Πχ :

i/ βαθμός ξηρότητας 0,2 σημαίνει: 20% ατμός 80% υγρό

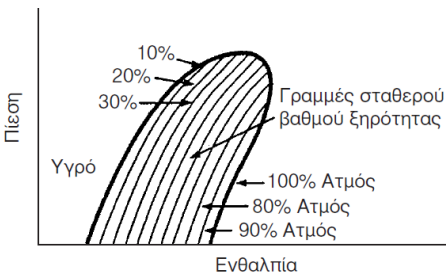
ii/ βαθμός ξηρότητας 0,7 σημαίνει: 70% ατμός 30% υγρό

iii/ βαθμός ξηρότητας 0 = βαθμός ξηρότητας κορεσμένου υγρού (100% υγρό)

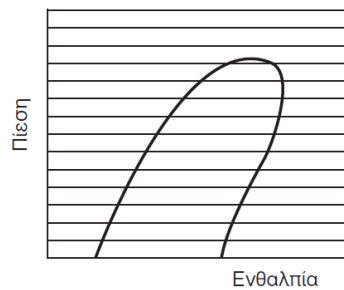
iv/ βαθμός ξηρότητας 1 = βαθμός ξηρότητας ξηρού κορεσμένου ατμού (100% ατμός)

Ας δούμε τώρα τις γραμμές στο διάγραμμα p-h:

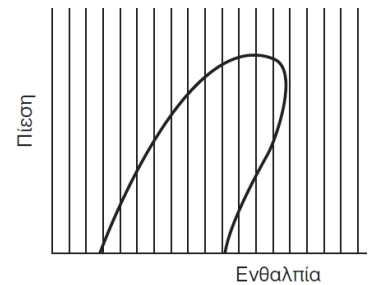
γραμμές σταθερής ξηρότητας



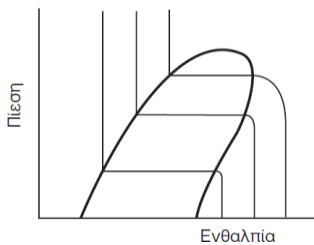
γραμμές σταθερής πίεσης



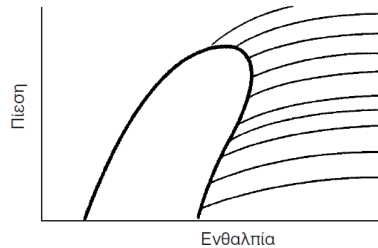
γραμμές σταθερής ενθαλπίας



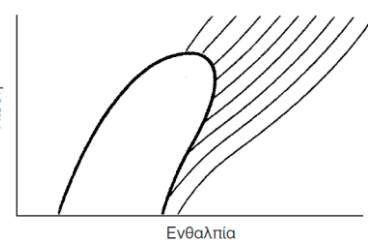
γραμμές σταθερής θερμοκρασίας



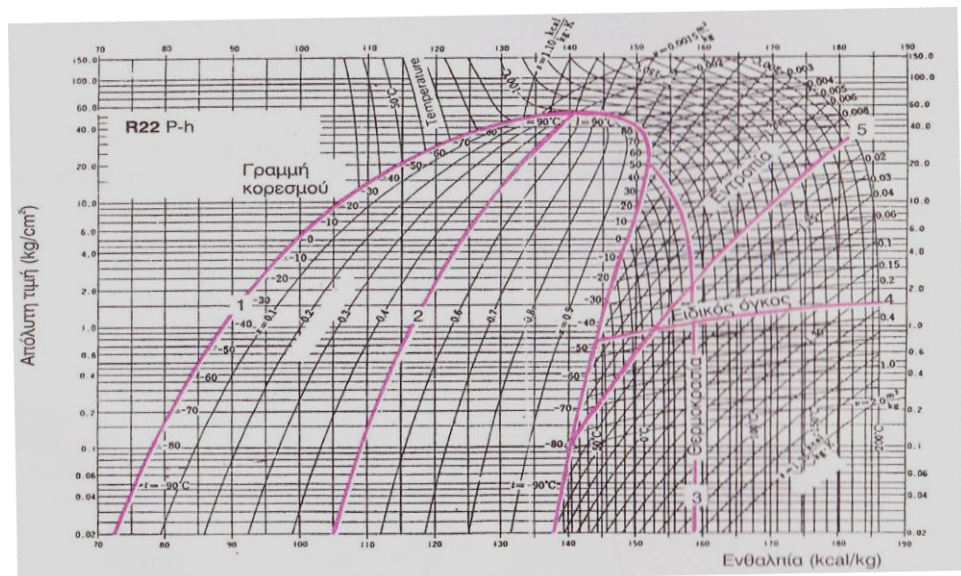
γραμμές σταθερής εντροπίας

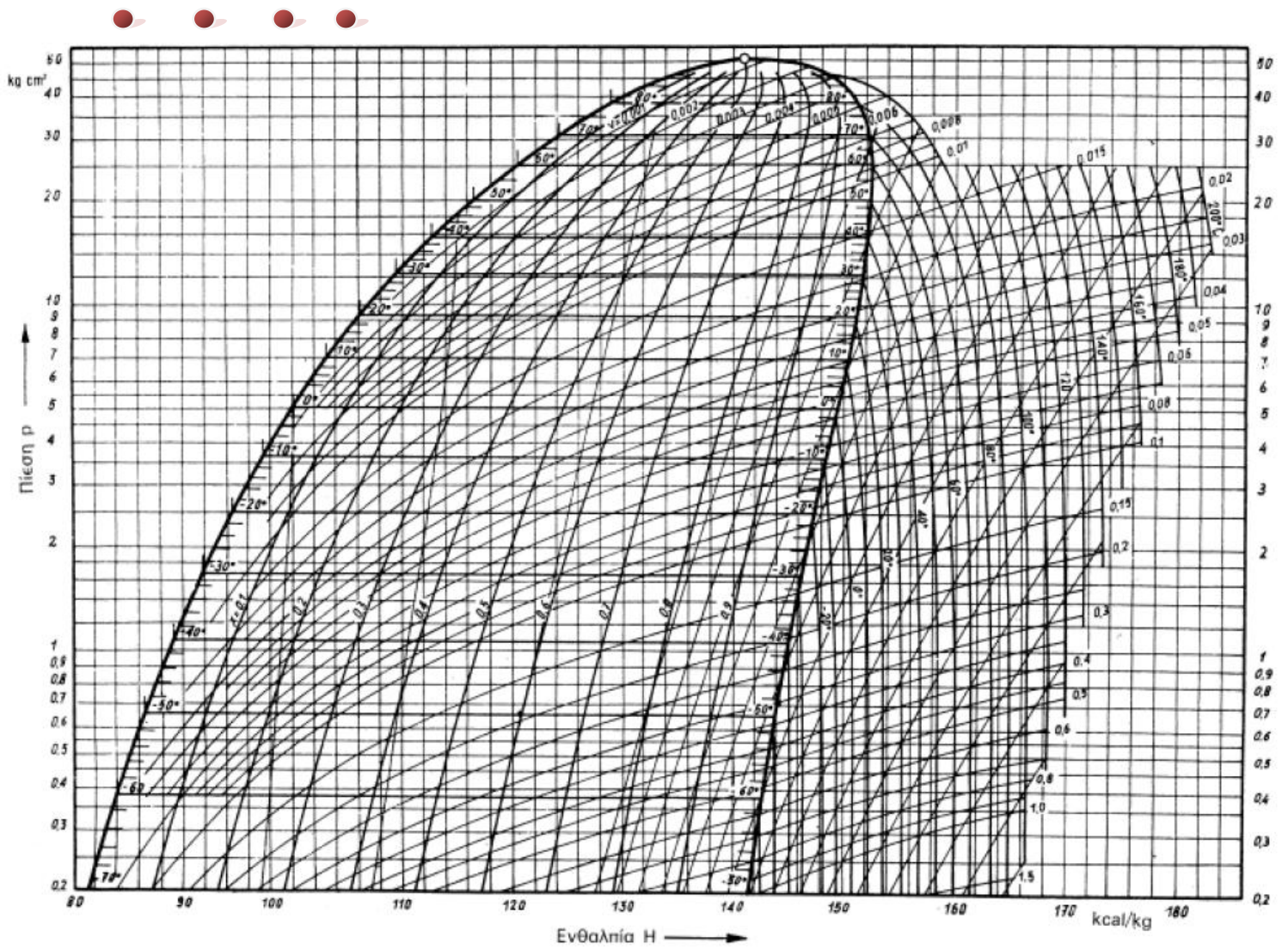


γραμμές σταθερού ειδικού όγκου

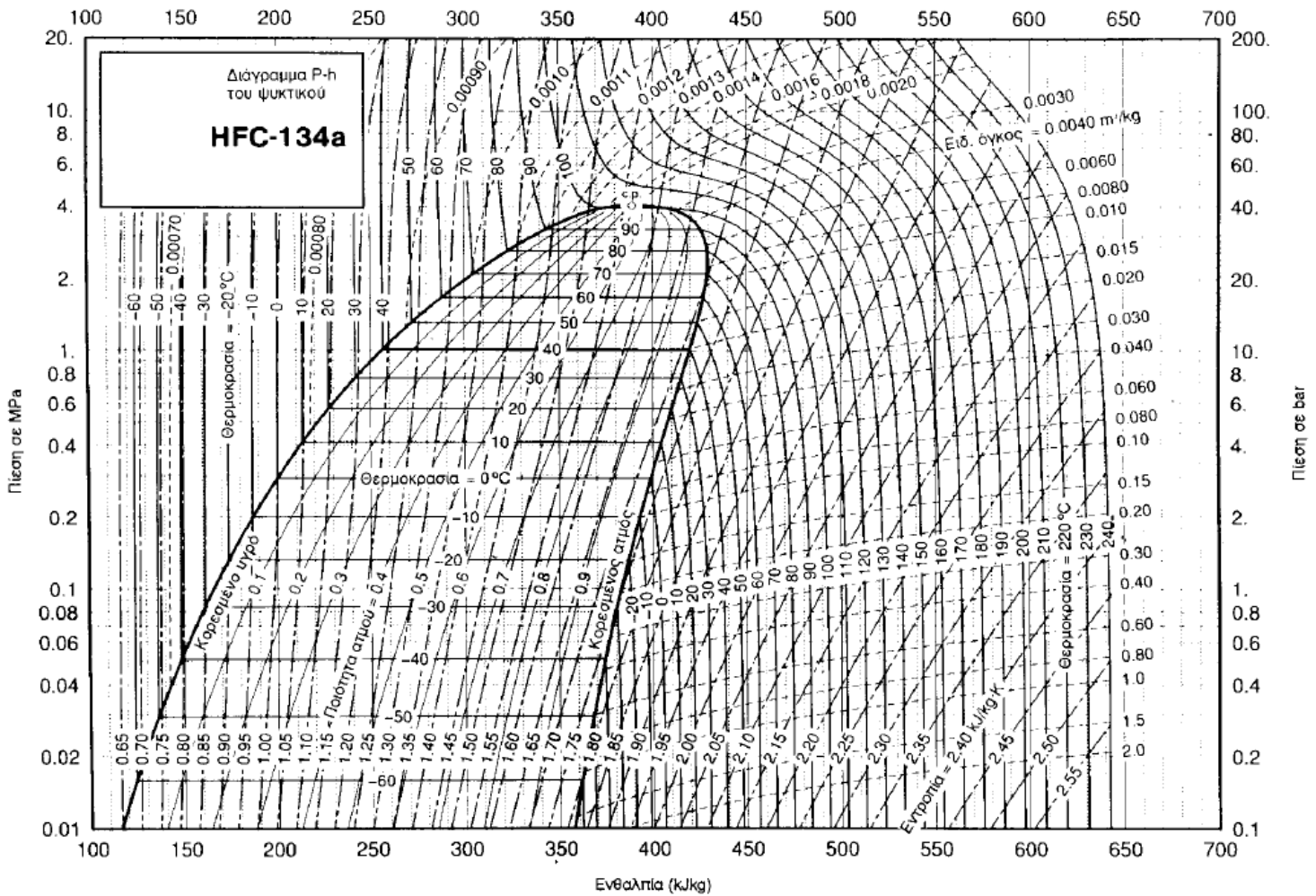


Και το συνολικό διάγραμμα:





ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Διάγραμμα p-h (πίεσης-ενθαλπίας) του ψυκτικού μέσου R22



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Διάγραμμα p-h (πίεσης-ενθαλπίας) του ψυκτικού μέσου R134a

(1 atm = 1 bar = 10MPa)



8.2 Οι 4 διεργασίες του ψυκτικού κύκλου στο διάγραμμα p-h.

Ατμοποίηση (1-2):

Θεωρούμε ότι κατά την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσα στις σωληνώσεις του στοιχείου η πτώση πίεσης είναι αμελητέα. Η διαδικασία είναι υπό σταθερή πίεση.

1-a: Το ψυκτικό στην είσοδό του στον εξατμιστή είναι υπόψυκτο υγρό (1). Όσο αυτό προχωρά μέσα στις αρχικές σωληνώσεις του στοιχείου, η θερμοκρασία του αυξάνεται μέχρι αυτή του σημείου ατμοποίησης όπου γίνεται, από υπόψυκτο, κορεσμένο υγρό (σημείο a).

- Η θερμότητα που παίρνει το ψυκτικό υγρό στη μεταβολή 1-a είναι αισθητή καθώς η θερμοκρασία του αυξάνεται.

a-b: Το κορεσμένο υγρό μετατρέπεται σε ξηρό

κορεσμένο ατμό (σημείο b). Η διαδικασία αυτή γίνεται στο μεγαλύτερο μέρος του στοιχείου, και οι δυο φάσεις συνυπάρχουν μέχρι όλο το ψυκτικό να γίνει ατμός. Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

- Η θερμότητα που παίρνει το ψυκτικό στη μεταβολή a-b είναι λανθάνουσα καθώς αλλάζει μόνο η φάση με τη θερμοκρασία σταθερή.

b-2: Ο Το κορεσμένος ατμός μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό 9 (σημείο 2). Αυτό γίνεται στις τελευταίες σπείρες του εξατμιστή. Η θερμοκρασία του αυξάνεται. Είναι σημαντικό να μπει στο συμπιεστή υπέρθερμο αέριο και όχι μίγμα.

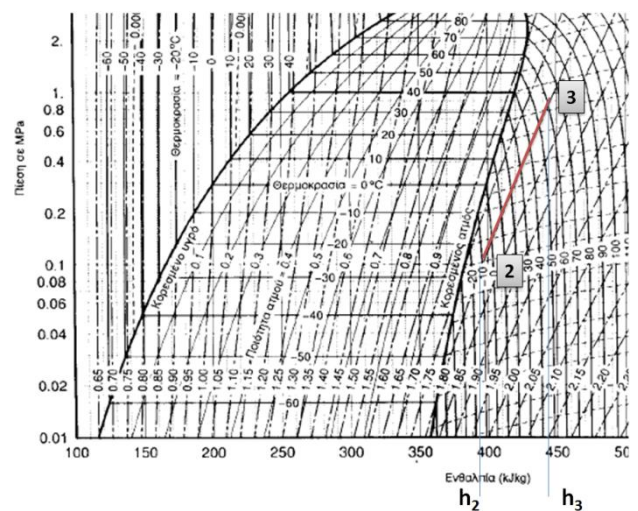
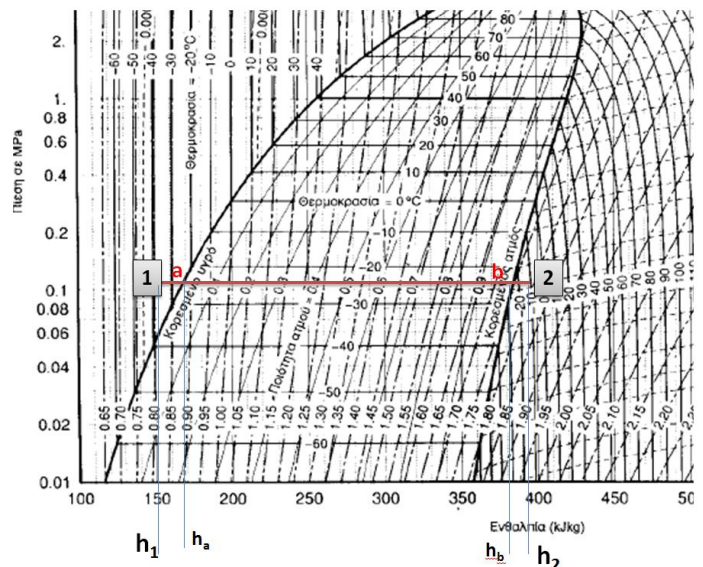
- Η θερμότητα που παίρνει το ψυκτικό αέριο στην 1-a είναι αισθητή καθώς η θερμοκρασία του αυξάνεται (με την αέρια φάση του αμετάβλητη).

Συμπύεση (2-3):

Στη συμπύεση ο – ήδη υπέρθερμος ατμός συμπιέζεται και αυξάνει και η πίεση και η θερμοκρασία του. Αυτό γίνεται μέχρι ο ατμός να αποκτήσει την πίεση κατάθλιψης (σημείο 2). Αυτό που πρέπει να θυμάστε είναι ότι η συμπύεση ‘βαδίζει’ στις καμπύλες σταθερής εντροπίας είναι δηλαδή μια **διαδικασία ισεντροπική**.

Συμπύκνωση (3-4):

3-a: Το ψυκτικό στην είσοδό του στον συμπυκνωτή είναι υπέρθερμο αέριο (3). Όσο αυτό προχωρά μέσα στις αρχικές σωληνώσεις του στοιχείου, η θερμοκρασία του μειώνεται τώρα μέχρι αυτή του σημείου συμπύκνωσης όπου γίνεται, από υπέρθερμος ατμός, ξηρός κορεσμένος ατμός (σημείο a).



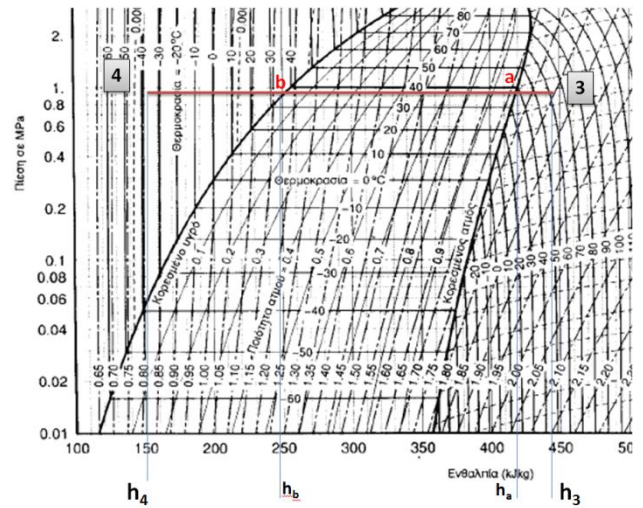
- Η θερμότητα που απορρίπτει το ψυκτικό στη μεταβολή 1-a είναι αισθητή καθώς η θερμοκρασία του αυξάνεται.

a-b: Ο ξηρός κορεσμένος ατμός μετατρέπεται σε κορεσμένο υγρό (σημείο b). Η διαδικασία αυτή γίνεται στο μεγαλύτερο μέρος του στοιχείου, και οι δυο φάσεις συνυπάρχουν μέχρι όλο το ψυκτικό να γίνει υγρό. Η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.

- Η θερμότητα που διώχνει το ψυκτικό στη μεταβολή a-b είναι λανθάνουσα καθώς αλλάζει μόνο η φάση με τη θερμοκρασία σταθερή.

b-4: Το κορεσμένο υγρό μετατρέπεται σε υπόψυκτο υγρό (σημείο 2). Αυτό γίνεται στις τελευταίες σπείρες του συμπυκνωτή. Η θερμοκρασία του μειώνεται. Είναι σημαντικό στην εκτονωτική βαλβίδα που ακολουθεί να εισάγεται υγρό και όχι μίγμα.

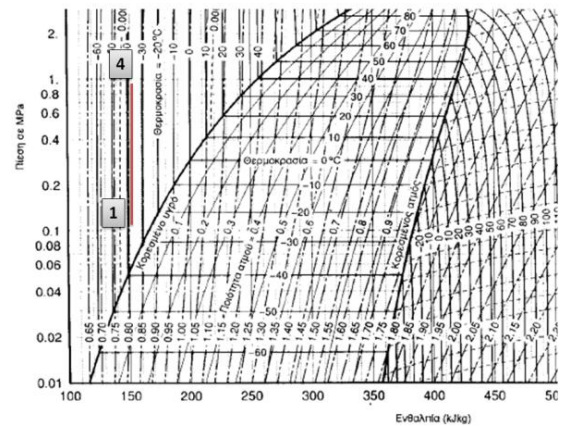
- Η θερμότητα που παίρνει το ψυκτικό στην 1-a είναι αισθητή καθώς η θερμοκρασία του μειώνεται, με τη υγρή φάση σταθερή.



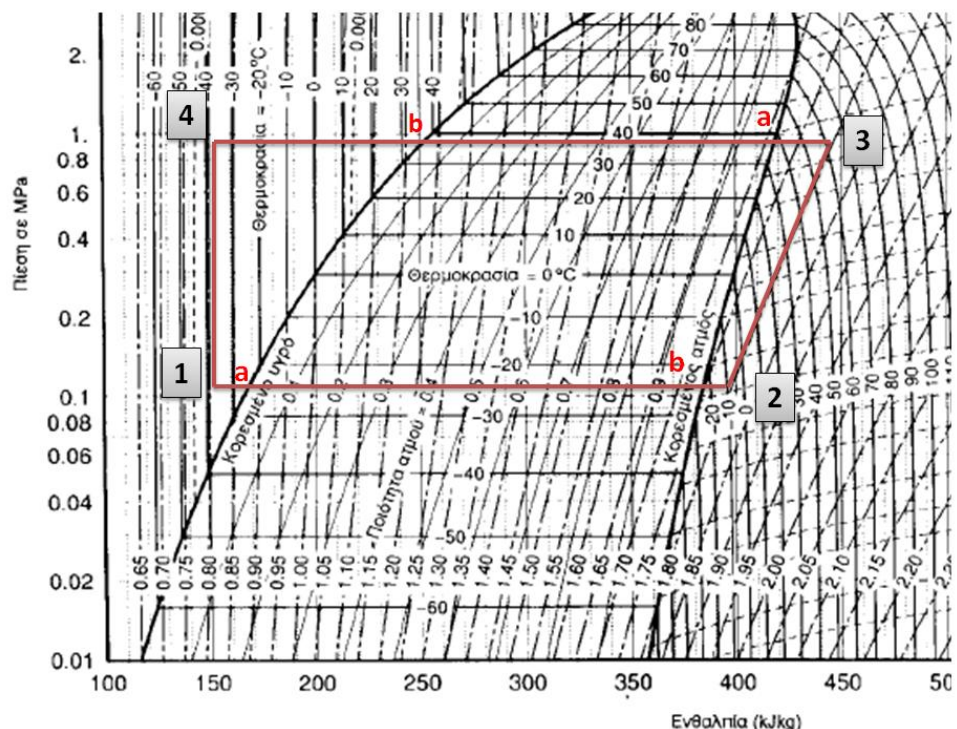
Εκτόνωση (4-1)

Το υπόψυκτο υγρό ψυκτικό τώρα μπαίνει στο ακροφύσιο (λεπτή στένωση). Η όλη διαδικασία γίνεται αυθόρμητα και χωρίς ενεργειακή μεταβολή (δεν δίνουμε ούτε παίρνουμε έργο ούτε υπάρχει θερμική συναλλαγή μεταξύ ψυκτικού – περιβάλλοντος). Συνεπώς **η διαδικασία είναι ισηθαλπική** (‘βαδίζει’ την κατακόρυφη καμπύλη σταθερής ενθαλπίας) Το μόνο που μειώνεται είναι η πίεση από υψηλή σε χαμηλή. Η θερμοκρασία είναι σταθερή μέχρι το σημείο κορεσμού.

Σημείωση: αν κατά την εκτόνωση, το ψυκτικό ‘μπει μέσα στην καμπύλη’ η θερμοκρασία του μειώνεται, και στην είσοδο του εξαμιστή εισέρχεται μίγμα. Αυτό δε δείχνεται στο σχήμα και κατασκευαστικά πρέπει να αποφεύγεται ώστε στην είσοδο του εξαμιστή να μπαίνει το πολύ κορεσμένο υγρό)



Συνολικά ο ψυκτικός κύκλος έχει ως εξής:



8.3. Ενεργειακή θεώρηση και τυπολόγιο

Ατμοποιητής:

- ✓ ψυκτικό αποτέλεσμα = Θερμότητα που απορροφάται από το χώρο ψύξης ανά μονάδα μάζας

$$q_{\psi} = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/Kg})$$

- ✓ Συνολικό ψυκτικό αποτέλεσμα = Θερμότητα που απορροφάται από το χώρο ψύξης

$$Q_{\psi} = m (h_2 - h_1) \quad (\text{kJ}) \quad m = \text{μάζα του ψυκτικού σε Kg}$$

- ✓ ψυκτική ικανότητα εξατμιστή = Η ψυκτική ισχύς του εξατμιστή

$$\bar{Q}_{\psi} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{kJ/sec} = \text{kW}) \quad \dot{m} = \text{παροχή του ψυκτικού (Kg / sec)}$$

Πολλές φορές η ψυκτική ικανότητα στον εξατμιστή εκφράζεται και σε Kcal/h με χρήση της σχέσης:

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ Kcal/h}$$

Συμπιεστής

- ✓ Θερμότητα συμπίεσης: $q_c = h_3 - h_2$ (kJ/Kg)

- ✓ Έργο συμπίεσης: $w_c = m (h_3 - h_2)$ (kJ) $m = \text{μάζα του ψυκτικού σε Kg}$

- ✓ Ισχύς συμπίεσης: $\dot{W}_c = \dot{m} (h_3 - h_2)$ (kJ/sec = kW) $\dot{m} = \text{παροχή του ψυκτικού (Kg / sec)}$

Συμπυκνωτής

- ✓ Θερμότητα συμπύκνωσης: $q_{\Sigma} = h_4 - h_3$ (kJ/Kg)

- ✓ Ισχύς συμπύκνωσης: $\bar{Q}_{\Sigma} = \dot{m} (h_4 - h_3)$ (kJ/sec = kW) $\dot{m} = \text{παροχή του ψυκτικού (Kg / sec)}$

Ισχύει:

$$q_{\Sigma} = w_c + q_{\psi}$$

$$\bar{Q}_{\Sigma} = \dot{W}_c + \bar{Q}_{\psi}$$

Συντελεστής συμπεριφοράς (COP):

$$\text{COP} = \bar{Q}_{\psi} / \dot{W}_c$$

(COP > 1)

Ο COP είναι πολύ σημαντικός σε μια ψυκτική εγκατάσταση. Αριθμητικά και πρακτικά, μας δείχνει *πόσο πολλαπλάσια* είναι η ψυκτική ισχύς (ικανότητα) από την ισχύ του συμπιεστή. Ουσιαστικά μας δείχνει πόσο αποτελεσματική είναι η ψυκτική μας μονάδα, πόσο δηλαδή εκμεταλλευόμαστε την ισχύ του συμπιεστή ώστε να παράγουμε ψυκτική ισχύ.