



Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Σχολή Μηχανικών Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Γ' εξάμηνο

Μάθημα Εφαρμ. Θερμοδυναμική Ι/ 1^η Ενότητα μαθήματος: Βασικές έννοιες- Ορισμοί

Διδάσκουσα Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη

Google..search

Διδακτικά βιβλία για τους σπουδαστές της Ανώτατης Δημόσιας Σχολής Εμπορικού Ναυτικού (Α.Δ.Σ.Ε.Ν.):

1) Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική (γ' έκδοση)

&

2) Παράρτημα τεχνικής Θερμοδυναμικής

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Ζ. ΠΑΓΩΝΑΡΗ

γ' έκδοση

ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική (γ' έκδοση)
Το βιβλίο αυτό απευθύνεται στους Μηχανικούς του Εμπορικού Ναυτικού και περιλαμβάνει τα βασικά λειτουργικά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά μηχανών και μηχανημάτων όπως οι ΜΕΚ, οι στρόβιλοι, οι αεροσυμπιεστές, οι αεριοστρόβιλοι, οι ψυκτικές εγκαταστάσεις κ.ά.. Ο Μηχανικός του Εμπορικού Ναυτικού καλείται μέσω της Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής να εφαρμόσει στην πράξη τις αρχές και τους νόμους βάσει των οποίων λειτουργούν οι μηχανικές εγκαταστάσεις του πλοίου.

Βιβλίο: Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική, Κ.Ζ. ΠΑΓΩΝΑΡΗ ΑΘΗΝΑ 2020



ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΧΟΛΕΣ
ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Κωνσταντίνου Ζ. Παγωνάρη
ΠΛΟΙΑΡΧΟΥ (Μ)Π.Ν.
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ Ν. Ρ.Γ.Σ. ΗΠ.Α.



Παράρτημα τεχνικής Θερμοδυναμικής

Το τεύχος αυτό αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του βιβλίου «Τεχνική Θερμοδυναμική», διότι περιλαμβάνει τους πίνακες και τα διαγράμματα που είναι απαραίτητα για την επίλυση των ασκήσεων επί της ύλης του βιβλίου. Ο διαχωρισμός των πινάκων και διαγραμμάτων από το βιβλίο κρίθηκε απαραίτητος, προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σπουδαστές στις γραπτές εξετάσεις.

Βιβλίο: Παράρτημα Τεχνικής Θερμοδυναμικής, Κ.Ζ. ΠΑΓΩΝΑΡΗ ΑΘΗΝΑ 2002

<https://eclass.hmu.gr/>

στο μάθημα:

ΕΦΑΡΜ. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Ι Γ' εξαμ. (2021-22) (MECH215)

<https://eclass.hmu.gr/courses/MECH215/>

Password: thermodynamics1

➤ **15 βδομάδες, 4ώρες/ βδομάδα= 60ώρες συνολικά**

Σύμφωνα με το **Πρόγραμμα Σπουδών 2019** του Τμήματος **Μηχ/Μηχ/ΕΛΜΕΠΑ**

Υλη μαθήματος:

1. Θεμελίωση των βασικών ενεργειακών μεγεθών, ορισμοί. Η έννοια του ξερασμένου συστήματος και οι νόμοι της θερμοδυναμικής, εισαγωγική εριγραφή.
2. Καταστατικά μεγέθη και καταστατικές εξισώσεις. Οι καθαρές ουσίες, φάσεις της ύλης. Το ιδανικό αέριο, η έννοια της ισορροπίας, η σταθερά του ιδανικού αερίου και η καταστατική εξίσωσή του.
3. Οι μεταβολές ιδανικού αερίου.
4. Ο πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος, μετατροφή θερμότητας σε έργο.
5. Θερμοδυναμικοί κύκλοι, Υπολογισμοί έργου και βαθμού απόδοσης.
6. Η έννοια της Εντροπίας, Περιγραφή και ανάλυση θερμοδυναμικών κύκλων σε εδία ίσεως - όγκου και ενθαλπίας – εντροπίας.
7. Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος. Ανάλυση θερμοδυναμικών κύκλων κινητήριων μηχανών και αντλίας θερμότητας.
8. Αλλαγή φάσεων και εισαγωγή στην θερμοδυναμική των μιγμάτων.
9. Γενίκευση της έννοιας της εντροπίας, Αναφορές στην στατιστική μηχανική και στην θεωρία της ληροφορίας.
10. Ενέργεια και ληροφορία, σχεδιασμός θερμοδυναμικών συστημάτων.
11. Από την Στατιστική Μηχανική στην Κοσμολογία, το εύρος ισχύος των νόμων της Θερμοδυναμικής και οι εφαρμογές του μηχανικού σήμερα και αύριο.



Ενότητες μαθήματος:

Βασικές έννοιες- Ορισμοί

Πρώτος Νόμος Θερμοδυναμικής

Ιδιότητες καθαρής ουσίας

Ιδανικά αέρια- Διεργασίες- Κλειστό Θερμοδυναμικό σύστημα

Ανοιχτό Θερμοδυναμικό σύστημα- Διεργασίες

Δεύτερος Νόμος Θερμοδυναμικής, Αναστρεψιμότητα

Εντροπία

Θερμοδυναμικοί κύκλοι

1^η Ενότητα μαθήματος: Βασικές έννοιες- Ορισμοί, Έργο & Θερμότητα



Βασικές έννοιες- Ορισμοί (1/17)

- Θερμοδυναμική
- Θερμοδυναμικό σύστημα- Ύλη- σύστημα
- Κατηγορίες συστημάτων
- Καταστάσεις και Ιδιότητες της ύλης $f(P, V, T)$
- Διεργασία
- Θερμοδυναμικός κύκλος
- Πίεση- Θερμοκρασία

- Έργο & Θερμότητα
- Μετάδοση θερμότητας
- Αδιαβατική διεργασία

Βασικές έννοιες- Ορισμοί (1/17)

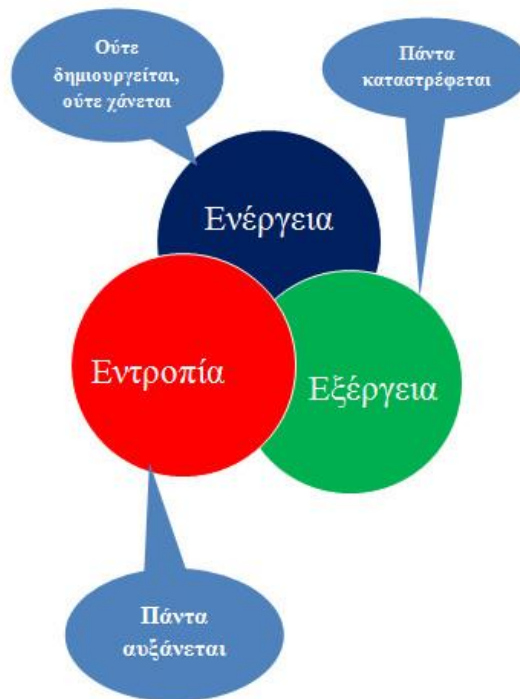
- Η Θερμοδυναμική μελετά τη μετατροπή της ενέργειας από μηχανική ενέργεια - έργο- σε θερμότητα και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη των θερμικών διεργασιών.
- Με τον όρο διεργασία εννοούμε την μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.
- Η Θερμοδυναμική ασχολείται μόνο με την μακροσκοπική απόκριση των συστημάτων που την αποτελούν, την οποία και μπορούμε να υπολογίσουμε πειραματικά.
- Η Θερμοδυναμική σήμερα αποτελεί έναν πολύ βασικό κλάδο της Φυσικής, με πολλές εφαρμογές σε άλλες επιστήμες, και διδάσκεται ως προπτυχιακό μάθημα σε επιστήμονες και μηχανικούς σε όλο τον κόσμο

Βασικές έννοιες- Ορισμοί (1/17)

- Η Θερμοδυναμική μελετά τη μετατροπή της ενέργειας από μηχανική ενέργεια - έργο- σε θερμότητα και αντίστροφα, μέσα από τη μελέτη των θερμικών διεργασιών.
- Με τον όρο διεργασία εννοούμε την μετάβαση από τη μια κατάσταση ενός συστήματος σε μια άλλη.
- Η Θερμοδυναμική ασχολείται μόνο με την μακροσκοπική απόκριση των συστημάτων που την αποτελούν, την οποία και μπορούμε να υπολογίσουμε πειραματικά.
- Η Θερμοδυναμική σήμερα αποτελεί έναν πολύ βασικό κλάδο της Φυσικής, με πολλές εφαρμογές σε άλλες επιστήμες, και διδάσκεται ως προπτυχιακό μάθημα σε επιστήμονες και μηχανικούς σε όλο τον κόσμο

Βασικές έννοιες- Ορισμοί (2/17)

Ο κλάδος της Θερμοδυναμικής που ενδιαφέρει περισσότερο τους μηχανικούς ονομάζεται συνήθως **Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική**. αυτή ασχολείται με βασικά λειτουργικά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά μηχανών και μηχανημάτων όπως: μηχανές εσωτερικής καύσης, στρόβιλοι, λέβητες, αεροσυμπιεστές, ψυκτικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις κ.λπ., στα οποία μετατρέπεται η ενέργεια για να επιτευχθεί κάποιος συγκεκριμένος σκοπός.



Ύλη

Στη θερμοδυναμική την ύλη τη χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες: την *καθαρή ουσία* ή ύλη και το *μείγμα*. Για να πούμε ότι η ύλη είναι καθαρή, θα πρέπει:

α) Να είναι *ομογενής σε φυσική σύσταση*, δηλαδή να αποτελείται από τα ίδια χημικά στοιχεία και με την ίδια αναλογία.

β) Να είναι *ομογενής σε χημική σύσταση*, δηλαδή τα χημικά στοιχεία να συνδέονται χημικώς με τον ίδιο τρόπο σε όλη την ύλη.

γ) Να μην γίνονται *χημικές αντιδράσεις*.

Εφόσον δεν ικανοποιούνται τα παραπάνω κριτήρια, τότε λέμε ότι έχουμε μείγμα και όχι καθαρή ουσία. Στον Πίνακα 2.1 δίνονται μερικά παραδείγματα καθαρής ουσίας και μείγματος για την καλύτερη κατανόηση των κριτηρίων που αναφέραμε.

Σύστημα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1
Παραδείγματα καθαρής ουσίας και μείγματος

Υλη	Ομογενής σε φυσική σύσταση	Ομογενής σε χημική σύσταση	Απουσία χημικής αντίδρασης	Καθαρή ύλη
Ατμός	✓	✓	✓	✓
Ατμός Νερό	✓	✓	✓	✓
Αέρας (O ₂ + N ₂ αέριο)	✓	✓	✓	✓
Αέρας + ατμός καυσίμου	Χωρίς αντίδραση ✓	✓	✓	✓
Αέρας + ατμός καυσίμου Υγρό καύσιμο	Χωρίς αντίδραση ✗	✓	✓	✗
Αέρας + ατμός καυσίμου Καυσαέρια Φλόγα	✓	✗	✗	✗
Καυσαέρια	✓	✓	✓	✓

Θερμοδυναμικό σύστημα

σύνολο μακροσκοπικών αντικειμένων, (που περιλαμβάνει σώματα ή πεδία), συγκεκριμένου χώρου


→ Ανταλλάσσει ενέργεια, ή ύλη αμοιβαία με το περιβάλλον ή με όποιο εξωτερικό μέσον περιβάλλει αυτό σύμφωνα με τις αρχές ή Νόμους της Θερμοδυναμικής



Σύστημα - Περιβάλλον

Σύστημα είναι ένα τμήμα του φυσικού κόσμου που διαχωρίζεται από τον υπόλοιπο κόσμο με πραγματικά ή νοητά τοιχώματα.

Ο υπόλοιπος φυσικός κόσμος αποτελεί το **περιβάλλον του συστήματος**.



Κατηγορίες συστημάτων

- ❖ (Υλικώς) **Κλειστό σύστημα** : όρια αδιαπέραστα από την ύλη, ($dm/dt = 0$) δεν υπάρχει ανταλλαγή μάζας με το περιβάλλον, αλλά μπορεί να ανταλλάσσεται ενέργεια (θερμότητα ή έργο).
- ❖ **Ανοικτό σύστημα** : όρια διαπερατά από την ύλη, ανταλλάσσεται και μάζα και ενέργεια.
- ❖ **Μηχανικώς κλειστό σύστημα** : δεν υπάρχει ανταλλαγή μηχανικού έργου μέσω των ορίων του συστήματος.
- ❖ **Αδιαβατικό σύστημα** : δεν έχουμε συναλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον (θερμομονωτικά τοιχώματα – αδιαβατικά).
- ❖ Αποκλεισμένο ή **απομονωμένο σύστημα** : τα όρια του συστήματος είναι αδιαπέραστα από ύλη και ενέργεια (θερμότητα ή μηχανικό έργο). Π.χ. θερμική μηχανή

Παράδειγμα..

Θερμοδυναμικό σύστημα

Θερμοδυναμικό σύστημα

για την περιγραφή του χρησιμοποιούνται
θερμοδυναμικά μεγέθη,
όπως θερμότητα, θερμοκρασία, εσωτερική ενέργεια

Παράδειγμα:

Συστήματα με ιδανικά αέρια

Μια ποσότητα αερίου
μέσα σε ένα δοχείο
του οποίου το άνοιγμα
κλείνεται με έμβολο.

Με μετακίνηση του εμβόλου
το σύστημα
ανταλλάσσει ενέργεια (μηχανικό έργο)
με το περιβάλλον του





Βασικές έννοιες- Ορισμοί (7β/17)

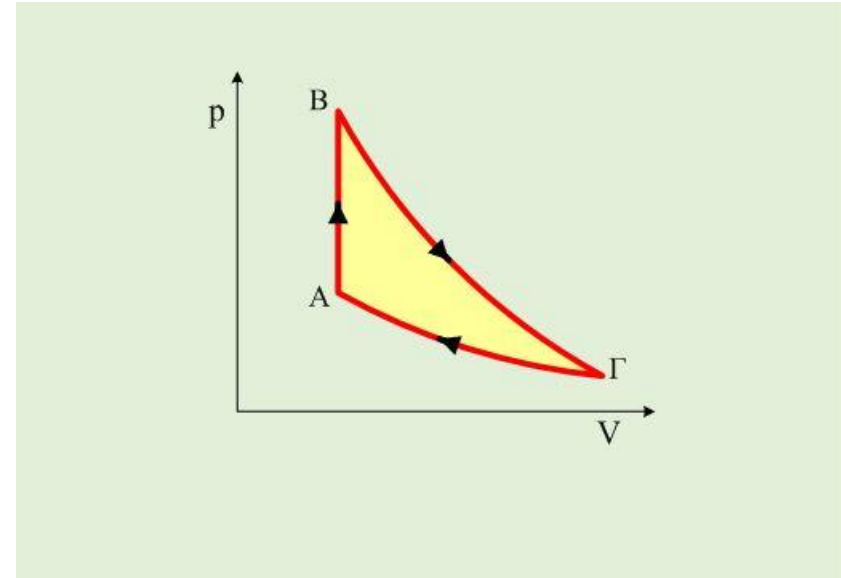
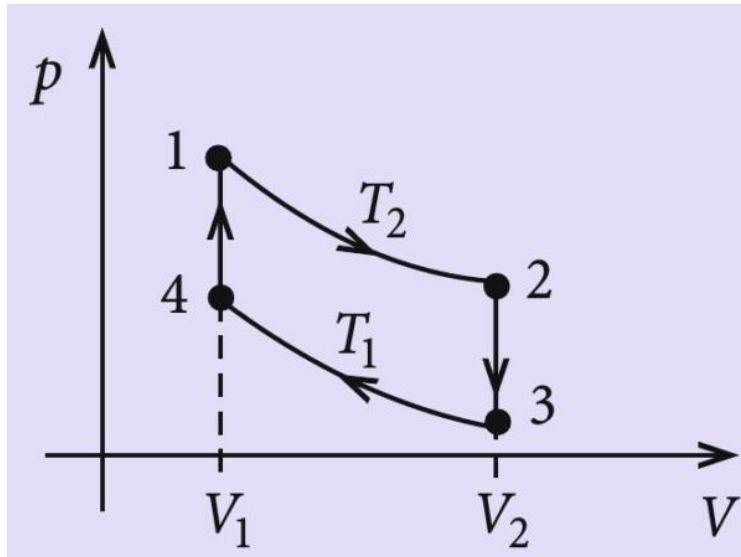
<https://www.youtube.com/watch?v=RV1xWCpBEr8>

Καταστάσεις και Ιδιότητες της ύλης f(P, V, T)



Διεργασία

Τρόπος που μεταβάλλουμε την κατάσταση του συστήματος



Θερμοδυναμικός κύκλος

Αποτελείται από 2 ή περισσότερες διεργασίες που διαδέχονται

Η μία την άλλη \rightarrow αρχική & τελική κατάσταση του συστήματος

Να παραμένουν οι ίδιες

Βασικές μονάδες Διεθνούς συστήματος (International Standard System, SI)

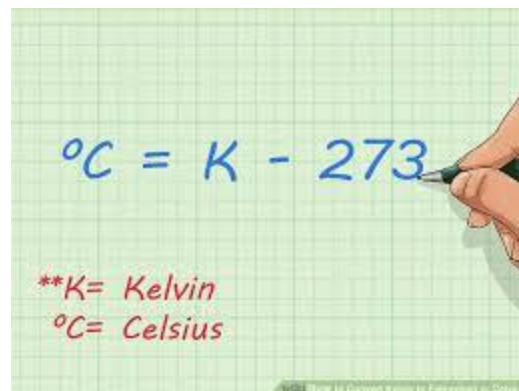
	Βασικά μεγέθη							Συμπληρωματικά μεγέθη	
μέγεθος	μήκος	μάζα	χρόνος	ηλ. ρεύμα	θερμο- δυναμική θερ/σία	ποσότητα ουσίας	φωτεινή ένταση	επίπεδη γωνία	στερεά γωνία
σύμβολο	ℓ	m	t	I	T, Θ	n	I_v	φ	Ω
μονάδα	μέτρο	χιλιό- γραμμα	δευτερό- λεπτο	Αμπέρ	Κέλβιν	όλ	καντέλα	ακτίνιο	στερα- κτίνιο
σύμβολο	m	kg	s	A	K	mol	cd	rad	Sr

$$d = m \text{ (kg)} / V \text{ (m}^3\text{)}$$

$$d = m \text{ (g)} / V \text{ (cm}^3\text{)} \text{ or } m \text{ (g)} / V \text{ (mL)}$$

$$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 1000\text{mL}$$

$$1\text{mL} = 1\text{cm}^3$$



$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

****K= Kelvin**
°C= Celsius



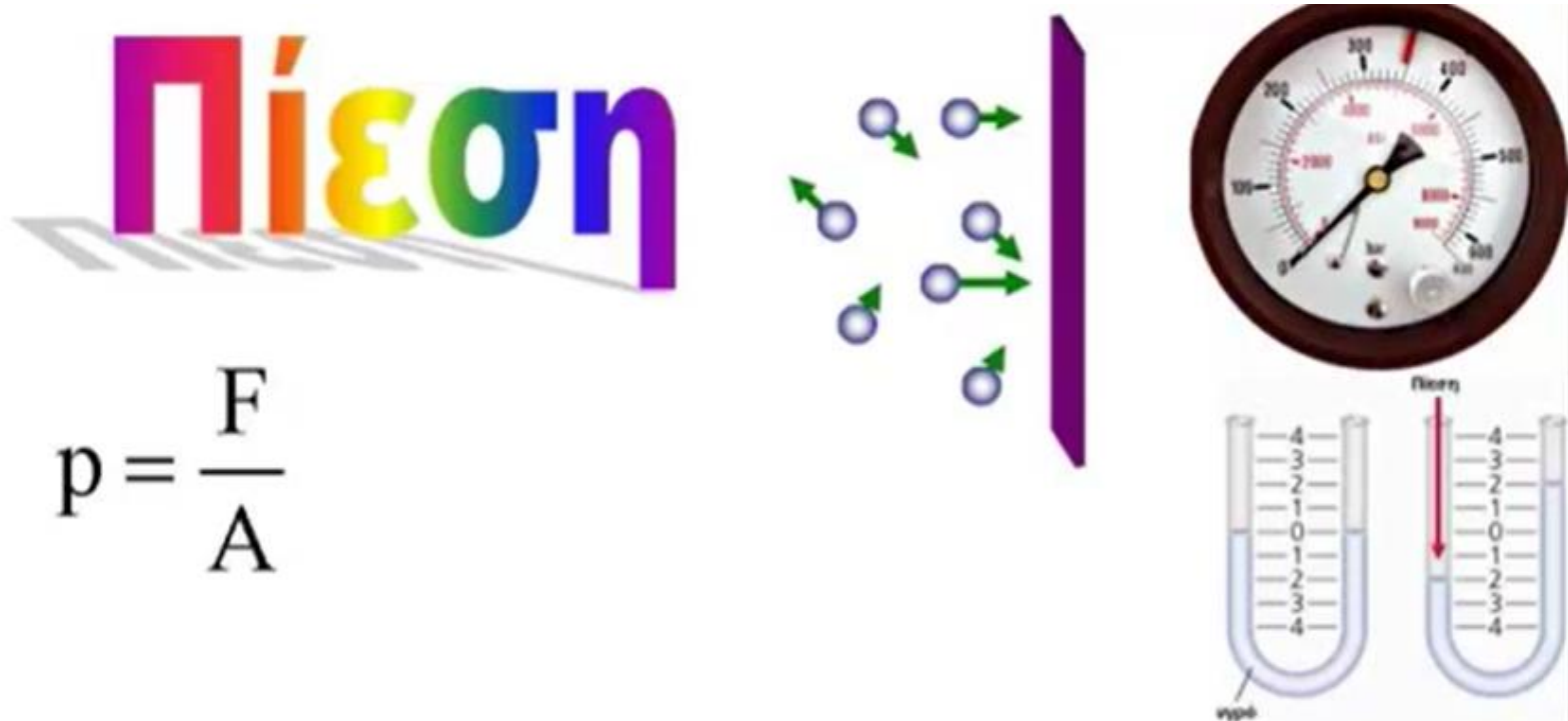
Πίεση (P)

- **Πίεση:** είναι η κάθετη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας,

$$P = \frac{F_{\perp}}{A}$$

- ↪ Μονάδα μέτρησης στο S.I. είναι το 1 N/m^2 .
Σε αυτή τη μονάδα δίνεται και το ειδικό όνομα Pascal, δηλαδή: $1\text{ Pascal} = 1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$.
- ↪ Η κανονική ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας είναι: $1\text{ atm} = 1,013 \times 10^5\text{ Pa} \approx 10^5\text{ Pa}$
- ✓ Η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της πίεσης ενός αερίου ονομάζεται *μανόμετρο*.

Βασικές έννοιες- Ορισμοί (11β/17)



$$p = \frac{F}{A}$$

Η μονάδα μέτρησης της πίεσης στο Διεθνές Σύστημα μονάδων είναι το Pascal:
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} \text{ και } 1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Μανόμετρο



Θερμοκρασία

Θερμοκρασία

Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Rankine

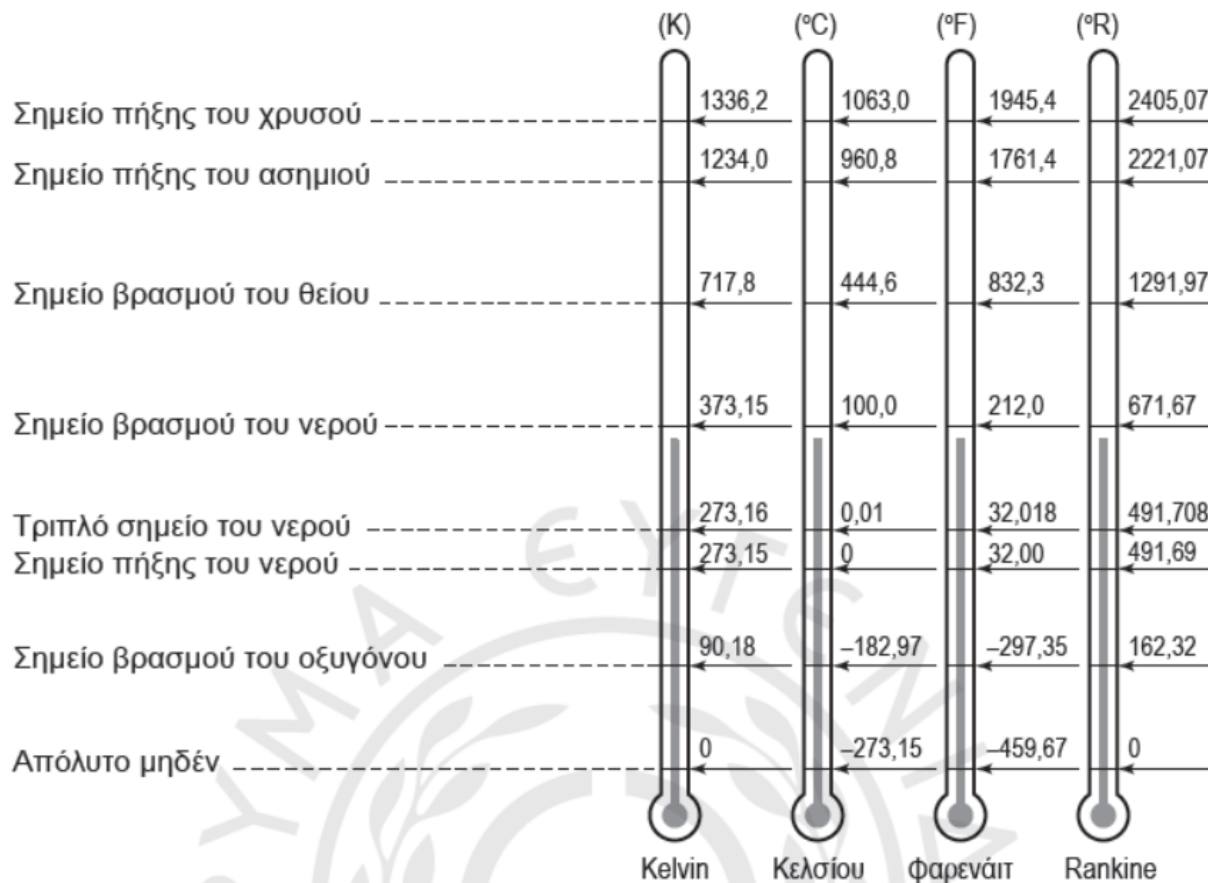


$$F = \frac{9}{5}C + 32$$

$$K = 273 + C$$

$$R = \frac{9}{5}[273 + C]$$

Θερμοκρασία



Σχ. 2.6

Σύγκριση της Θερμοκρασίας στις κλίμακες
Kelvin, Κελσίου, Φαρενάιτ και Rankine



Βασικές έννοιες- Ορισμοί (14α/17)

https://www.youtube.com/watch?v=gxrkLkJybnA&feature=emb_title

Μάρτιος 2023



Βασικές έννοιες- Ορισμοί (14β/17)

<https://www.youtube.com/watch?v=9SQ2FPHCZJk>

Είναι οι βασικές **ENNOIES**
με τις οποίες δημιουργείται η γλώσσα της Θερμοδυναμικής

ο ΟΓΚΟΣ που συμβολίζεται με **V** και έχει ως μονάδα μέτρησης το 1 m^3

η ΠΙΕΣΗ που συμβολίζεται με **p** και έχει ως μονάδα μέτρησης το 1 Pa

η ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ που συμβολίζεται με **T** και έχει ως μονάδα το 1 K

η ΜΑΖΑ που περιγράφεται ως «αριθμός των mole», συμβολίζεται με το γράμμα **n** και έχει ως μονάδα μέτρησης το 1 mole

η ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ που συμβολίζεται με **Q** και έχει ως μονάδα το 1 J

το ΕΡΓΟ που συμβολίζεται με **W** και έχει ως μονάδα το 1 J

η ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ που συμβολίζεται με **U**
και έχει ως μονάδα το 1 J

$$\text{Moles} = m(\text{g}) / A_w (\text{g/mol})$$

Παράδειγμα 1

Σε μία μηχανή Ντήζελ η διάμετρος του εμβόλου είναι 850 mm και η πίεση από τα αέρια της καύσης είναι 15 bar. Να υπολογιστεί η δύναμη που ασκείται στο έμβολο.

Λύση

Από τη Μηχανική γνωρίζουμε ότι η επιφάνεια του εμβόλου Α δίνεται από τη σχέση:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

όπου: d η διάμετρος του εμβόλου (0,850 m).

Η πίεση (p) είναι η δύναμη (F) ανά μονάδα επιφάνειας. Οπότε από την εξίσωση (2.1) έχουμε:

$$p = \frac{F}{A} \quad \text{ή} \quad F = pA$$

$$p = 15 \text{ bar} = 15 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \quad (1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2)$$

$$\text{οπότε } F = 15 \times 10^5 \times \frac{3,14 \times 0,850^2}{4} = 8,51 \times 10^5 \text{ N}$$

Παρατήρηση

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δείχνει ο σπουδαστής στις μονάδες που χρησιμοποιεί, ώστε να ανήκουν στο ίδιο σύστημα μετρήσεων. Γι' αυτό είναι χρήσιμο κάτω από την εξίσωση με τις αριθμητικές τιμές να γράφει την εξίσωση των διαστάσεων. Δηλαδή κάτω από την τελευταία εξίσωση θα έπρεπε να γράψουμε:

$$F = \text{N/m}^2 \times \text{m}^2 = \text{N}$$

$$1\text{m} = 10 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm}$$

$$1\text{m}^2 = 10^2 \text{ dm}^2 = 10^4 \text{ cm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$$

$$1\text{m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$$

$$A (\text{circle}) = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$d = 2 \cdot r \quad \text{ή} \quad r = \frac{d}{2}$$

A: επιφάνεια (εμβαδόν)

r: ακτίνα

d: διάμετρος κύκλου

Ασκήσεις..

Παράδειγμα 2

Στο μανόμετρο του σχήματος 2.5, η απόσταση z ισούται με 1 cm και η πίεση $p_2 = 10 \text{ N/m}^2$. Να βρεθεί η πίεση p_1 , εάν το υγρό είναι νερό ή υδράργυρος. Η πυκνότητα του νερού είναι 1000 kg/m^3 και του υδραργύρου 13.568 kg/m^3 .

Λύση

α) Για την περίπτωση του νερού η εξίσωση (2.3) μετά την αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών γίνεται:

$$p_1 - 10 = 1000 \times 0,01 \times 9,81 (g = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

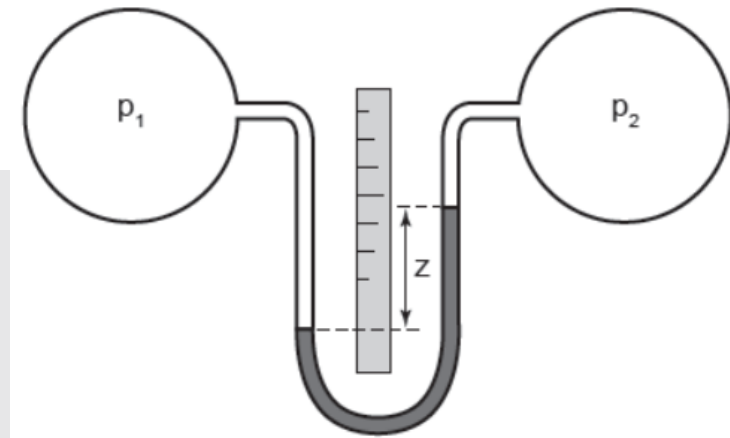
$$\text{μονάδες } (\text{kg/m}^3 \times \text{m} \times \text{m/s}^2 = \text{Nm/m}^3 = \text{N/m}^2) \quad (1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2)$$

$$p_1 = 108,1 \text{ N/m}^2$$

β) Εάν έχουμε υδράργυρο:

$$p_1 - 10 = 13.568 \times 0,01 \times 9,81$$

$$p_1 = 1341 \text{ N/m}^2$$



Σχ. 2.5

Παράσταση αρχής λειτουργίας μανομέτρου

$$|\Delta P| = d \cdot z \cdot g$$

$$\text{μονάδες: } \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m^3} \cdot m \cdot \frac{m}{s^2}$$

Ή

$$N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

$$1 \frac{g}{cm^3} = 1 \frac{0.001kg}{10^{-6}m^3} = 103 \frac{kg}{m^3}$$

$$1m^3 = 10^3 dm^3 = 10^6 cm^3 = 10^9 mm^3$$

Ασκήσεις..

$$p_g = p_{abs} - p_a \quad (2.2)$$

p_{abs} : η απόλυτη πίεση, δηλαδή η πραγματική πίεση που ασκεί το υγρό ή το αέριο,

p_a : η ατμοσφαιρική πίεση, δηλαδή η πίεση που ασκεί το βάρος του ατμοσφαιρικού αέρα, που είναι 760 mmHg ή 10,30 mΣΥ στην επιφάνεια της θάλασσας,

p_g : η μανομετρική πίεση, δηλαδή η πίεση που δείχνουν τα μανόμετρα,

Παράδειγμα 3

Το κενόμετρο στο ψυγείο ατμού ενός στροβίλου δείχνει 65 cm στήλης υδραργύρου και το βαρόμετρο μέσα στον χώρο όπου βρίσκεται ο στρόβιλος 76 cm στήλης υδραργύρου. Να υπολογιστεί η απόλυτη πίεση μέσα στο ψυγείο σε cmHg.

Λύση

Το κενό είναι αρνητική μανομετρική πίεση, οπότε η εξίσωση (2.2) μας δίνει:

$$p_{\text{απόλ.}} = p_{\text{κενό}} + p_{\text{ατμ}}$$

$$\text{ή } p_{\text{απόλ.}} = -65 + 76 = 11 \text{ cmHg}$$

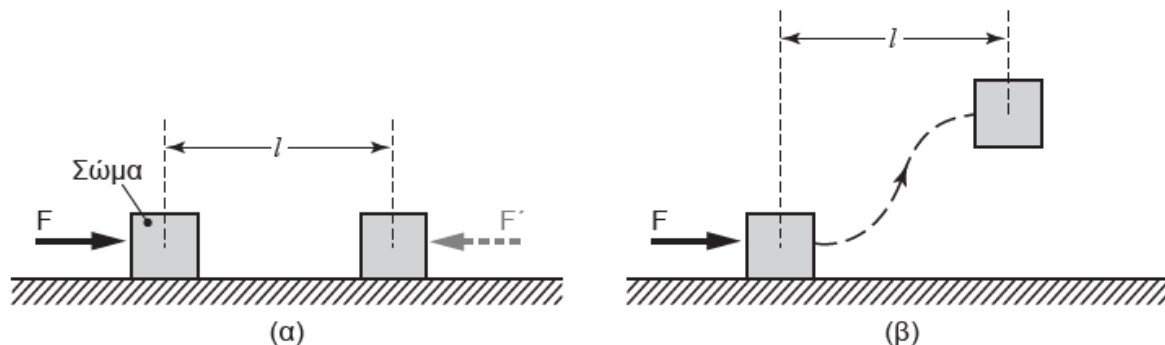
Έργο και Θερμότητα (1α/Χ)

- Το **έργο** είναι όρος της Φυσικής εκφράζει την ποσότητα της ενέργειας που παράγεται ή καταναλώνεται από ένα σώμα κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής στην κινητική του κατάσταση
- Είναι το γινόμενο μιας δύναμης επί τη μετατόπιση του σημείου εφαρμογής της
- Εναλλακτικά, είναι η ενέργεια που μια δύναμη μεταφέρει σε ένα κινούμενο σώμα
- Συμβολίζεται με το αγγλικό γράμμα W και μετριέται σε Joule

$$W = \int_C \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

$$W = Fl$$

όπου: W το παραγόμενο έργο,
 F η δύναμη και
 l η απόσταση ή μετατόπιση.



Σχ. 3.1

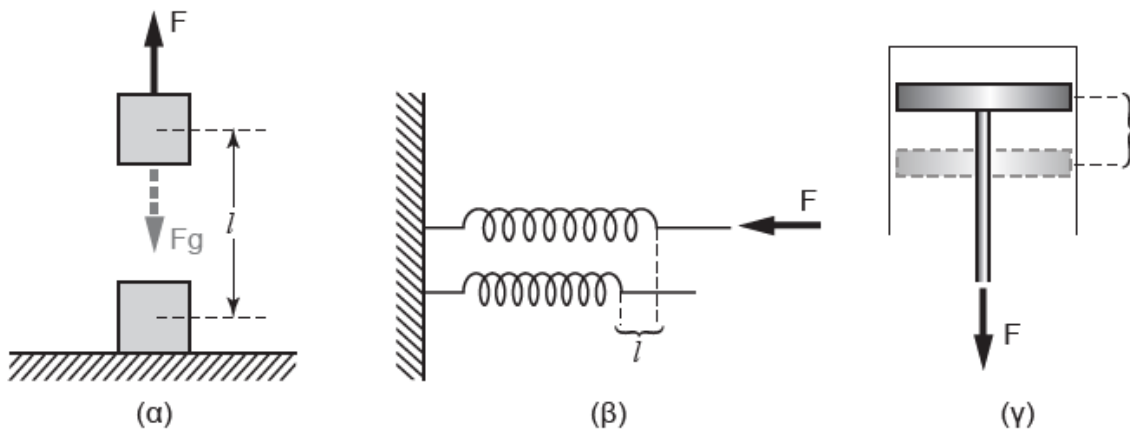
Περιγραφή του ορισμού του έργου στη Μηχανική

Εάν η μετατόπιση l του σώματος έχει τη φορά της δύναμης F , τότε το έργο θεωρείται **θετικό**. Εάν είναι αντίθετη, τότε το έργο θεωρείται **αρνητικό**. Εάν πάλι η μετατόπιση είναι κάθετη προς τη διεύθυνση της δύναμης, τότε το έργο είναι **μηδέν**.

Έργο και Θερμότητα (1β/Χ)

Σύμφωνα με τον ορισμό του θετικού και αρνητικού έργου, μπορούμε να πούμε ότι παράγεται θετικό έργο όταν ανυψώνεται ένα σώμα, όταν με μία δύναμη συμπιέζεται ένα ελατήριο ή όταν ένα αέριο μέσα σ' έναν κύλινδρο εκτονώνεται κ.λπ., όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2.

Αντίθετα, στην ανύψωση ενός σώματος το έργο της δύναμης της βαρύτητας F_g (βάρος του σώματος) είναι αρνητικό, γιατί η μετατόπιση έχει φορά αντίθετη από τη φορά της δύναμης [σχ. 3.2(α)].



Σχ. 3.2

Περιγραφή μηχανικού έργου

Έργο και Θερμότητα (2/10)

Στις μηχανές όμως που θα εξετάσουμε παρακάτω μάς ενδιαφέρει σε πόσο χρόνο παράγεται αυτό το έργο. Το πηλίκο του έργου προς τον χρόνο μέσα στον οποίο έχει παραχθεί ονομάζεται **ισχύς** της μηχανής. Την ισχύ τη συμβολίζουμε με το γράμμα P και είναι:

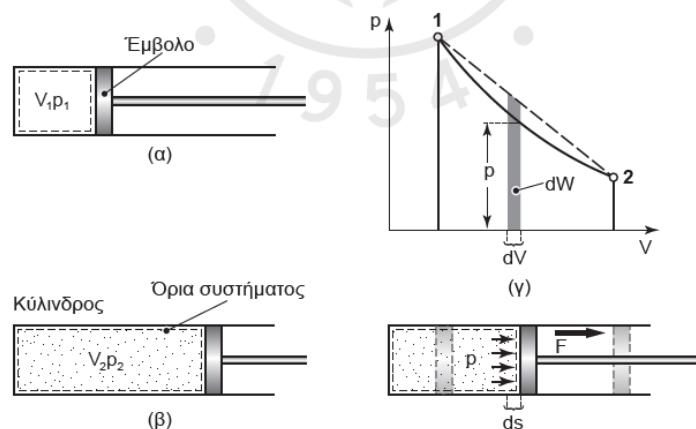
$$P = \frac{W}{t} \quad (3.2)$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύος είναι το Watt (W), που ισούται με 1 J/s. Συνήθως όμως χρησιμοποιούμε μία μεγαλύτερη μονάδα, το kilowatt (kW), που αντιστοιχεί σε 1000 W. Άλλες μονάδες ισχύος που συναντάμε στην πράξη είναι ο ίππος PS ή HP, το ft – 1bf/s κ.λπ. Οι σχέσεις μεταξύ αυτών των μονάδων φαίνονται στον Πίνακα B12 του Παραρτήματος Β.

3.2.1 Έργο κλειστού συστήματος

το έργο που παράγεται από ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα, ένα σύστημα δηλαδή όπου δεν έχουμε ροή μάζας και το οποίο θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στα επόμενα κεφάλαια. Ένα τέτοιο σύστημα είναι ο κύλινδρος με το έμβολο που φαίνεται στο σχήμα 3.5. Με διακεκομμένη γραμμή καθορίζονται τα όρια του συστήματος, τα οποία περικλείουν το αέριο που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο. Κάθε τι έξω απ' αυτά είναι το περιβάλλον του συστήματος. Το αέριο του κυλίνδρου έχει αρχικά πίεση p_1 και όγκο V_1 [σχ. 3.5(α)]. Η πίεση αυτή ωθεί το έμβολο μέχρι κάποια άλλη θέση, όπου έχουμε πίεση p_2 και όγκο V_2 [σχ. 3.5(β)]. Είχαμε έτσι την εκτέλεση μιας διεργασίας από το σύστημα, κατά την οποία η πίεση του αερίου μειώθηκε, $p_1 > p_2$, και ο όγκος αυξήθηκε, $V_2 > V_1$, καθώς και την παραγωγή

μηχανικού έργου, το οποίο πήραμε με τη μετακίνηση του εμβόλου. Το έργο αυτό είναι θετικό, γιατί έγινε **από** το σύστημα προς το περιβάλλον, δηλαδή από τη μάζα του αερίου προς το έμβολο.



$$P_1 V_1 = nRT$$

$$P_2 V_2 = nRT$$

Σχ. 3.5
Περιγραφή μηχανικού έργου

Έργο και Θερμότητα (3β/10)

$$dW = Fds \quad (3.3)$$

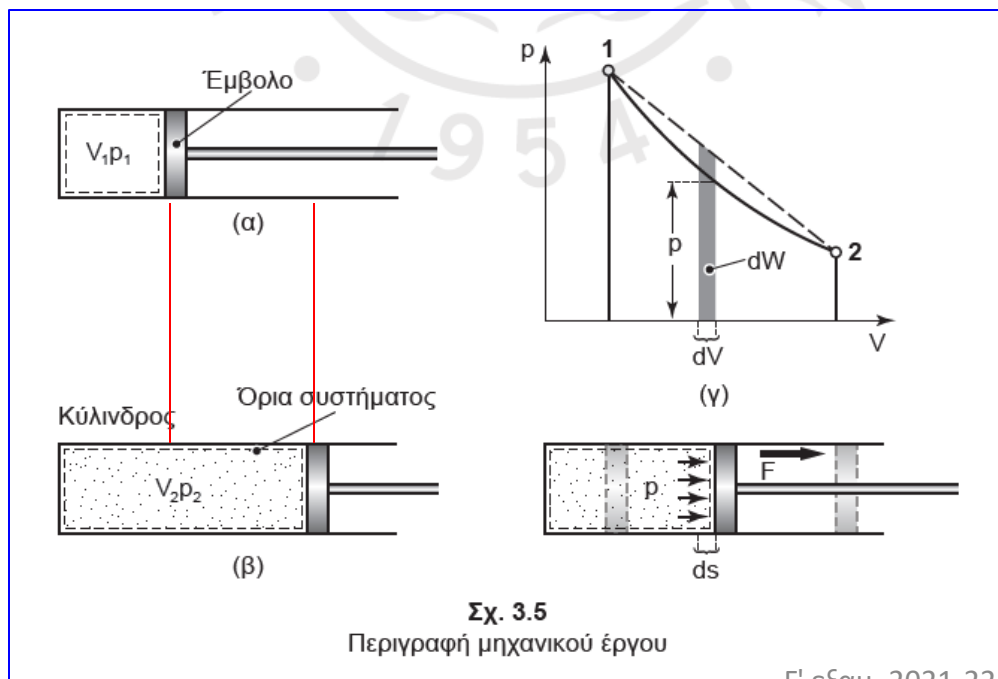
Για να βρούμε το συνολικό έργο του συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, ολοκληρώνουμε την εξίσωση (3.3) μεταξύ του αρχικού σημείου (1) και του τελικού σημείου (2) της διεργασίας [σχ. 3.5(γ)], οπότε έχουμε:

$$W = \int_1^2 Fds = \int_1^2 pAds \quad (3.4)$$

Επειδή το Ads είναι ένας πολύ μικρός όγκος του κυλίνδρου dV , η εξίσωση (3.4) μπορεί να γραφεί:

$$W = \int_1^2 pdV \quad (3.5)$$

Τη διεργασία 1 - 2 μπορούμε να την παραστήσουμε στο διάγραμμα $p - V$ από τη γραμμή που ενώνει τα δύο σημεία 1 και 2 [σχ. 3.5(γ)]. Από το διάγραμμα αυτό είναι φανερό ότι η διεργασία αυτή είναι μία συνάρτηση της πίεσης και του όγκου της



Σχ. 3.5
Περιγραφή μηχανικού έργου

$$p = \frac{F}{A} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

$$V(\text{cylinder}) = A \cdot h = (\pi r^2) \cdot h = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot h$$

Έργο και Θερμότητα (4/10)

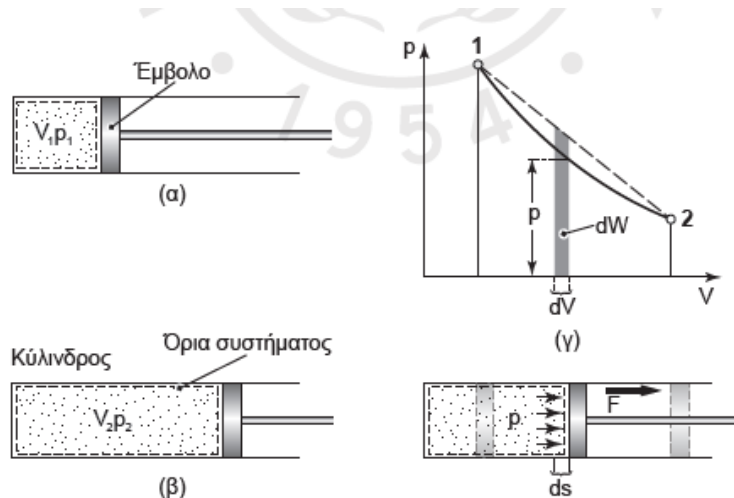
Παράδειγμα 1

Έστω ότι στο σχήμα 3.5(γ) η σχέση που συνδέει την πίεση p και τον όγκο V είναι $p = C/V$, όπου C = σταθερός αριθμός. Εάν η αρχική πίεση είναι 3 bar, ο αρχικός όγκος 10 cm^3 και ο τελικός όγκος 30 cm^3 , να βρεθεί το έργο που παράγεται σε J. Το έργο είναι θετικό ή αρνητικό;

$$p_1 = 3 \text{ bar} = 3 \times 10^5 \text{ Pa (or N/m}^2\text{)}$$

$$V_1 = 10 \text{ cm}^3 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_2 = 30 \text{ cm}^3$$



Λύση

Από την εξίσωση (3.5) έχουμε ότι:

$$W = \int_1^2 p dV$$

αλλά $p = \frac{C}{V}$ οπότε $W = C \int_1^2 \frac{dV}{V} = C \ln \frac{V_2}{V_1}$ (1)

Ο σταθερός αριθμός C μάς είναι άγνωστος· μπορούμε όμως να τον προσδιορίσουμε ως εξής:

Γνωρίζουμε ότι $p = C/V$ ισχύει για όλη τη διαδρομή από το σημείο 1 στο σημείο 2. Επομένως θα είναι:

$$C = p_1 V_1 \quad \text{αλλά και} \quad C = p_2 V_2$$

Επειδή τα p και V είναι γνωστά, τα αντικαθιστούμε στην εξίσωση (1) και έχουμε:

$$W = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = \left(3 \times 10^5 \times 10^{-5} \right) \ln \frac{30}{10} = 3,296 \text{ J} \quad (2)$$

όπου: $p_1 = 3 \text{ bar} = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ και $V_1 = 10 \text{ cm}^3 = 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.

$$= (3 \cdot 10^5) \cdot (10^{-5}) \cdot \ln(30/10) =$$

Το αποτέλεσμα της εξίσωσης (2) ($W = + 3,296 \text{ J}$) μας δείχνει ότι το έργο είναι θετικό, γιατί πήραμε έργο **από** το σύστημα με τη μετακίνηση του εμβόλου.

Ξανατονίζουμε εδώ ότι θα πρέπει να χρησιμοποιούμε μονάδες του ίδιου συστήματος μετρήσεων, όπως δείξαμε κάτω από την εξίσωση (2).

$$\ln V_2 - \ln V_1 = \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$$

ΑΟΡΙΣΤΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΑΤΑ ΑΠΛΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

Για τον υπολογισμό των αορίστων ολοκληρωμάτων μπορούμε να θεωρούμε ως γνωστά τα παρακάτω στοιχειώδη αόριστα ολοκληρώματα.

Πρόταση. Ισχύουν τα εξής:

$$1. \int x^\lambda dx = \frac{x^{\lambda+1}}{\lambda+1} + c \quad (\lambda \neq -1 \text{ με } x > 0 \text{ ή } \lambda \in \mathbb{N})$$

$$2. \int \frac{1}{x} dx = \ln|x| + c, \quad (x < 0 \text{ ή } x > 0)$$

$$3. \int e^x dx = e^x + c.$$

$$4. \int \sin x dx = -\cos x + c.$$

$$5. \int \cos x dx = \sin x + c.$$

$$6. \int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx = \sin^{-1} x + c, \quad (-1 < x < 1).$$

$$7. \int \frac{1}{1+x^2} dx = \tan^{-1} x + c.$$

Έργο και Θερμότητα (5/10)

Παραδείγματα..

Παράδειγμα 2

Η πίεση στον κύλινδρο του σχήματος 3.5 μεταβάλλεται με τον όγκο σύμφωνα με τη σχέση $p = C/V^2$. Εάν η αρχική πίεση είναι 500 kPa, ο αρχικός όγκος 0,05 m³ και

$$P_1 = 500 \text{ kPa} = 500 \cdot 10^3 \text{ Pa} = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

η τελική πίεση 200 kPa, να βρεθεί το έργο του συστήματος σε kJ. Εάν το έργο αυτό έγινε μέσα σε 30 s, να βρεθεί η ισχύς του συστήματος.

Λύση

Από την εξίσωση (3.5) και τη σχέση $p = C/V^2$ έχουμε ότι:

$$W = \int_1^2 p dV = C \int_1^2 \frac{dV}{V^2} = C \left[\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right] \quad (1)$$

Στην εξίσωση (1) μας είναι άγνωστα τα C και V₂. Αλλά, όπως και στο παράδειγμα 1:

$$C = p_1 V_1^2 = p_2 V_2^2$$

Εδώ έχουμε δύο εξισώσεις με άγνωστους τα C και V₂. Μπορούμε να τα προσδιορίσουμε:

$$C = p_1 V_1^2 = 500 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \cdot 0.052 ((\text{m}^3)^2) = 1.25 \text{ kN} \cdot \text{m}^4$$

$$V_2^2 = \frac{p_1 V_1^2}{p_2} = \frac{1.25}{200} = 0.00625 \text{ m}^6 \quad \text{ή} \quad V_2 = \sqrt[3]{0.00625} = 0.079 \text{ m}^3$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1) παίρνουμε:

$$W = 1.25 \left[\frac{1}{0.05} - \frac{1}{0.079} \right] = 9.18 \text{ kN/m}^2 \text{ or } 9.18 \text{ kJ} = 9.18 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Όπως είπαμε, η ισχύς είναι το έργο στη μονάδα του χρόνου. Σύμφωνα με την εκφώνηση της άσκησης, το έργο W έγινε μέσα σε 30 s, οπότε η ισχύς είναι:

$$P = \frac{9180}{30} = 306 \text{ W}$$

Παρ.1

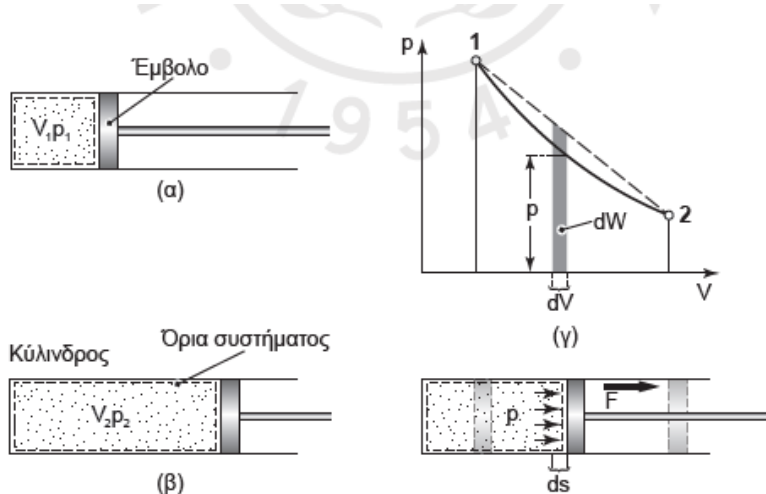
$$P = \frac{C}{V}$$

$$\int_1^2 \frac{1}{V} dV = \ln V_2 - \ln V_1$$

Παρ.2

$$P = \frac{C}{V^2}$$

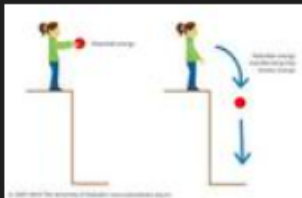
$$\int_1^2 \frac{1}{V^2} dV = - \left(\frac{1}{V_2} - \frac{1}{V_1} \right)$$



Δυναμική & Κινητική ενέργεια

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Δυναμική ενέργεια είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα, λόγω θέσης ή κατάστασης.



(λόγω θέσης)



(λόγω κατάστασης)

$$E(\text{δυναμική}) = m \cdot g \cdot h$$

m: μάζα (kg)

g: 9.81 m/s^2

h: υψομετρική διαφορά (m)

$$E_{\Delta} \left(kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = kg \frac{m^2}{s^2} = J \right)$$

ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Κινητική ενέργεια είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα το οποίο κινείται.



$$\text{ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ} = \frac{1}{2} \text{ΜΑΖΑ}(\text{ΤΑΧΥΤΗΤΑ})^2$$

$$K = \frac{1}{2} m u^2$$

K = Κινητική ενέργεια, m = μάζα, u = ταχύτητα

$$E_K \left(kg \cdot \left(\frac{m}{s} \right)^2 = kg \frac{m^2}{s^2} = J \right)$$

Έργο και Θερμότητα (6β/11)



Έργο και Θερμότητα (7/11)

Παράδειγμα

Ατμός υψηλής πίεσης και μάζας 8.000 kg εισέρχεται στον σωλήνα του δικτύου ατμού μιας ατμοκίνητης εγκατάστασης με ταχύτητα 90 m/s. Στην έξοδό του η ταχύτητα έχει μειωθεί σε 80 m/s. Να βρεθεί η κινητική ενέργεια του ατμού στην είσοδο και στην έξοδο του σωλήνα. Ποια είναι η μεταβολή της κινητικής ενέργειας;

Λύση

Σύμφωνα με την εξίσωση (3.7), η κινητική ενέργεια του ατμού στην είσοδο του σωλήνα είναι:

$$E_{κ_1} = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} \times 8000 \times 90^2 = 32,4 \times 10^6 \text{ kgm}^2/\text{s}^2 \text{ ή } 32.400 \text{ kJ}$$

Στην έξοδο είναι:

$$E_{κ_2} = \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} \times 8000 \times 80^2 = 25.600 \text{ kJ}$$

Αρα έχουμε **μείωση** της κινητικής ενέργειας κατά

$$32.400 - 25.600 = 6800 \text{ kJ}$$

$$\Delta E_{κ} = E_{κ,2} - E_{κ,1} = (25600 - 32400) \text{ kJ} = -6800 \text{ kJ} \text{ μείωση της κινητικής Ενέργειας}$$

$$1\text{kg} = 10^3 \text{ g}$$

$$E_{κ} (\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2)$$

$$1\text{kJ} = 10^3 \text{ J}$$

Θερμότητα

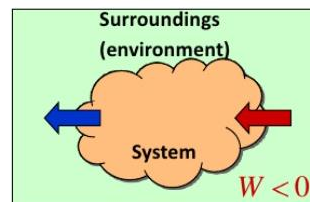
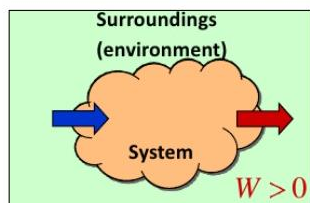
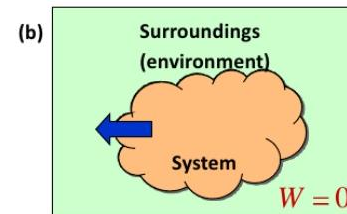
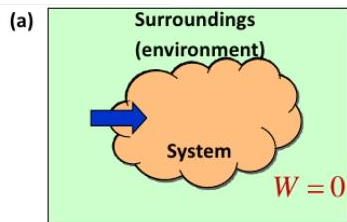
Sign convention for heat, Q :

Q = **positive** value

➡ Heat flow into the system

Q = **negative** value

⬅ Heat flow out of the system



Q = **positive** value

W = **positive** value

Q = **negative** value

W = **negative** value

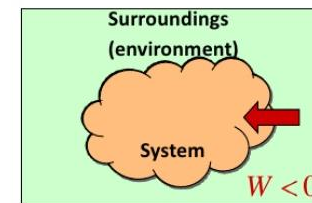
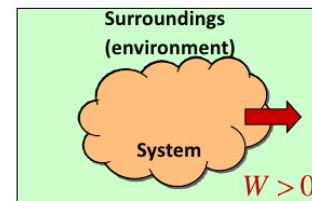
Sign convention for work, W :

W = **positive** value

➡ Work done by the system

W = **negative** value

➡ Work done on the system



Θερμοκρασία: (kelvin, celcius)

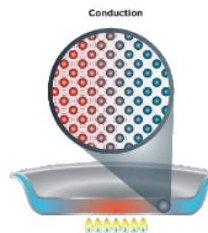
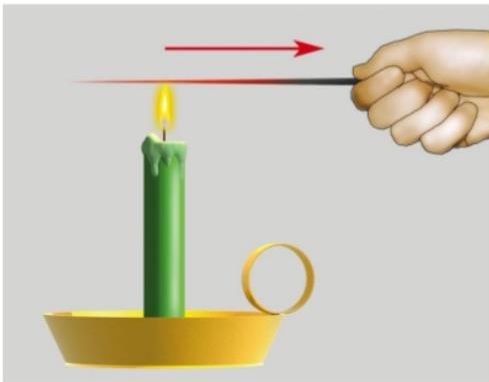
Θερμότητα: ενέργεια (J)

Θερμότητα



Μετάδοση Θερμότητας

1^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (ΑΓΩΓΗ)



1^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (ΑΓΩΓΗ)

Η θερμότητα μεταδίδεται από το ένα μόριο στο άλλο μόριο του υλικού, μέσα σε ένα στερεό σώμα.

Επίσης από ένα στερεό σώμα προς ένα άλλο που βρίσκεται σε επικοινωνία με το πρώτο, όπως επίσης και στα ακίνητα ρευστά (υγρά ή αέρια).

1^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (ΑΓΩΓΗ)

Υπάρχουν:

- Υλικά που είναι **καλοί** αγωγοί της θερμότητας (= **θερμικοί αγωγοί**) π.χ. μέταλλα

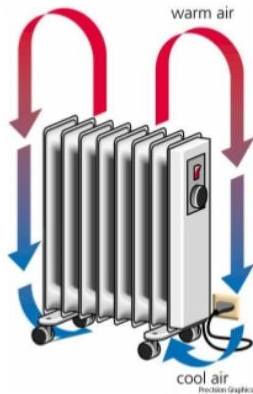
και

- Υλικά που είναι **κακοί** αγωγοί της θερμότητας (= **θερμικοί μονωτές**) π.χ. ξύλο, πλαστικό, γυαλί, φελλός, αέρας....



Μετάδοση Θερμότητας

2^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)



2^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

- Στα υγρά και στα αέρια η θερμότητα διαδίδεται κυρίως με ρεύματα μεταφοράς.
- Όταν η θερμότητα διαδίδεται με αγωγή, τα μόρια του υλικού δε μετακινούνται από τη μια περιοχή στην άλλη. (στερεά και ακίνητα ρευστά).
- Αντιθέτως, όταν δημιουργούνται ρεύματα μεταφοράς, ύλη, δηλαδή μόρια, μετακινούνται από μία περιοχή που έχει υψηλή θερμοκρασία προς μια ψυχρότερη.

Αυτό συνεχίζεται μέχρι όλο το υγρό ή το αέριο να αποκτήσει την ίδια θερμοκρασία.

2^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)



2^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΑ (ΡΕΥΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ)

Η θερμότητα μεταδίδεται από ένα θερμό στερεό σώμα, προς ένα κινούμενο ρευστό (υγρό ή αέριο), ή και αντίστροφα από το κινούμενο ρευστό προς το στερεό σώμα.

Μετάδοση Θερμότητας

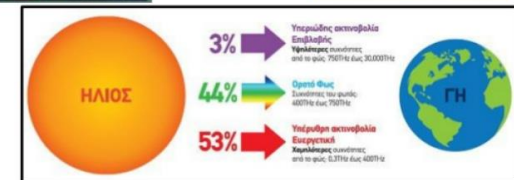
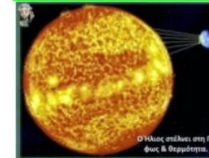
3^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



3^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



3^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΝΟΒΟΛΙΑ



3^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Όλα τα σώματα ακτινοβολούν:

- Ο ήλιος, η φλόγα και ο λαμπτήρας εκπέμπουν διαρκώς ακτινοβολία, **ένα μέρος της οποίας είναι ορατό ενώ ένα άλλο είναι αόρατο.**
 - Αλλά και η σόμπα, η πλάκα του αναμμένου σίδηρου σιδερώματος, το σώμα του καλοριφέρ, ακόμα και το ανθρώπινο σώμα ακτινοβολούν.
Από τα σώματα αυτά η διάδοση της θερμότητας γίνεται με ακτινοβολία, η οποία όμως δεν είναι ορατή.
- ✓ **Γενικά, μια ακτινοβολία μπορεί να είναι ορατή ή αόρατη.**

Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από περίπου 500°C η ενέργεια ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα σώματα συμπεριλαμβάνει και φωτεινή ενέργεια.

3^{ος} τρόπος: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η θερμότητα που ακτινοβολείται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (=ενέργεια) από ένα θερμό σώμα, απορροφάται από ένα άλλο σώμα, λιγότερο θερμό.

Τα δυο σώματα βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους, ενώ η θερμότητα μπορεί να μεταδοθεί ακόμα και όταν υπάρχει ανάμεσά τους απόλυτο κενό.

Αδιαβατική διεργασία

Αδιαβατική διεργασία

μεταξύ όλων των σωμάτων ή συστημάτων στη φύση υπάρχει ροή θερμότητας. Με τη χρησιμοποίηση των μονωτικών υλικών η μεταφορά θερμότητας από ένα ζεστό σύστημα σε ένα ψυχρό εξακολουθεί βέβαια να υπάρχει, αλλά για πρακτικούς πολλές φορές λόγους τη θεωρούμε αμελητέα. Εξιδικεύοντας την κατάσταση αυτή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι $Q = 0$, οπότε καμία μεταφορά θερμότητας δεν γίνεται από ή προς ένα σύστημα.

Στη μελέτη των θερμοδυναμικών συστημάτων μία τέτοια κατάσταση την ονομάζουμε *αδιαβατική διεργασία*. Όμοια, ένα σύστημα μονωμένο από το περιβάλλον του το ονομάζουμε *αδιαβατικά μονωμένο* σύστημα.

Υλικό	Ειδική θερμότητα	
	kcal/(kg·°C)	J/(kg·°C)
Αλουμίνιο	0,22	900
Χαλκός	0,093	390
Γυαλί	0,20	840
Ανθρώπινο σώμα (μέση θερμοκρασία 37 °C)	0,83	3.500
Πάγος (−5 °C)	0,50	2.100
Σίδηρος ή ατσάλι	0,11	450
Υδράργυρος	0,033	140
Άργυρος	0,056	240
Ατμός (110 °C)	0,48	2.010
Νερό	1,00	4.186
Ξύλο	0,4	1.700

4186 J/kg.°C
ή
4.18 kJ/kg.°C

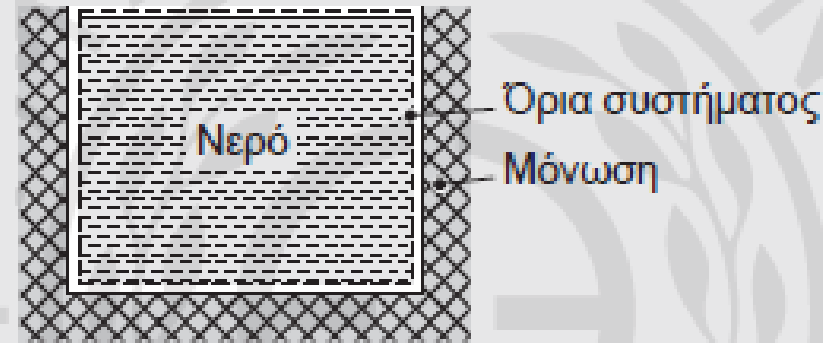
❑ Υλικά με υψηλότερη ειδική θερμότητα απαιτούν περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα μάζας για την αύξηση της θερμοκρασίας τους και αποδίδουν περισσότερη θερμότητα ανά μονάδα μάζας όταν μειώνεται η θερμοκρασία τους.

❑ Η ειδική θερμότητα του νερού είναι μια από τις υψηλότερες όλων των υλικών, γεγονός που το καθιστά πολύτιμη πηγή θερμότητας π.χ. σε θερμοσίφωνες αλλά και στο σώμα μας.

Έργο και Θερμότητα (11/11)

Παράδειγμα

Νερό μάζας 2 kg και θερμοκρασίας 18°C χύνεται μέσα σε ένα καλά μονωμένο δοχείο που βρίσκεται σε θερμοκρασία 15°C. Οι θερμοκρασίες του νερού και του δοχείου ισορρόπησαν στους 17,4°C. Να προσδιοριστεί το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται και η συμβατική φορά της, όταν ως σύστημα θεωρούμε: α) το δοχείο με τη μόνωση, β) το νερό, γ) το δοχείο με τη μόνωση και το νερό. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι 1 kcal/kg.°C (=4.18kJ/kg.°C).



Λύση

Όπως είπαμε προηγουμένως, για να έχουμε μεταφορά θερμότητας, πρέπει να υπάρχουν δύο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες, που να βρίσκονται σε επικοινωνία. Στο παράδειγμά μας τα δύο σώματα είναι το νερό και το δοχείο με τη μόνωση, που βρίσκονται σε επαφή και έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες $t = 18^\circ\text{C}$ και $t = 15^\circ\text{C}$. Άρα έχουμε μεταφορά θερμότητας μέχρι να ισορροπήσουν οι θερμοκρασίες, δηλαδή σε $t = 17,4^\circ\text{C}$.

$$Q = mc (t_2 - t_1) \quad (3.8)$$

όπου: c η ειδική θερμότητα του σώματος σε J/kgK, που εξαρτάται από το είδος του σώματος, και συνήθως δίνεται σε πίνακες.

Σύμφωνα με την εξίσωση (3.8), το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται είναι:

$$Q = 2 \times 1 \times (18 - 17,4) = 1.2 \text{ kcal} = (1.2 \cdot 4.186) \text{ kJ} = 5.02 \text{ kJ}$$

α) Η μεταφορά της θερμότητας είναι θετική, γιατί δίνεται **προς** το σύστημα (δοχείο), αφού το νερό είναι ζεστότερο από το δοχείο.

β) Εάν θεωρήσουμε το νερό ως σύστημα, η θερμότητα που μεταφέρεται είναι η ίδια αλλά αρνητική, γιατί δίνεται **από** το σύστημα, $Q = -5,02 \text{ kJ}$.

γ) Όταν θεωρήσουμε ως σύστημα το δοχείο και το νερό, τότε δεν έχουμε μεταφορά θερμότητας, γιατί η θερμότητα δεν διέρχεται τα όρια του συστήματος. Όλα γίνονται μέσα σ' αυτό και συνεπώς δεν ενδιαφέρει ποιος έδωσε και ποιος πήρε τη θερμότητα.

$$1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$$

ή

$$1 \text{ J} = 0.239 \text{ cal}$$

298K= 25oC

TABLE 5.2 Specific Heats of Some Substances at 298 K

Elements		Compounds	
Substance	Specific Heat (J/g·K)	Substance	Specific Heat (J/g·K)
N ₂ (g)	1.04	H ₂ O(l)	4.18
Al(s)	0.90	CH ₄ (g)	2.20
Fe(s)	0.45	CO ₂ (g)	0.84
Hg(l)	0.14	CaCO ₃ (s)	0.82

Specific Heat Capacity Table			
Substance	Specific Heat Capacity at 25°C in J/g·°C	Substance	Specific Heat Capacity at 25°C in J/g·°C
H ₂ gas	14.267	potassium	0.750
He gas	5.300	sulphur	0.730
H ₂ O(l)	4.186	calcium	0.650
lithium	3.560	iron	0.444
ethyl alcohol	2.460	nickel	0.440
ethylene glycol	2.200	zinc	0.390
ice @ 0°C	2.010	copper	0.385
steam @ 100°C	2.010	brass	0.380
vegetable oil	2.000	sand	0.290
sodium	1.230	silver	0.240
air	1.020	tin	0.210
magnesium	1.020	lead	0.160
aluminum	0.900	mercury	0.140
Concrete	0.880	gold	0.129
glass	0.840		

Water Specific Heat Capacity			
Temp	Phase	Mass	Molar
		$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	$\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
100°C	gas (steam)	2.08	37.47
25°C	liquid	4.1813	75.327
-10°C	solid (ice)	2.05	38.09