Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Σχολή Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Γ’ εξάμηνο

Μάθημα Εφαρμ. Θερμοδυναμική I/ 2^{η} Ενότητα μαθήματος: 1ος Θερμοδυναμικός νόμος

Διδάσκουσα **Δρ. Κατερίνα Βαβουράκη**

Google..search

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

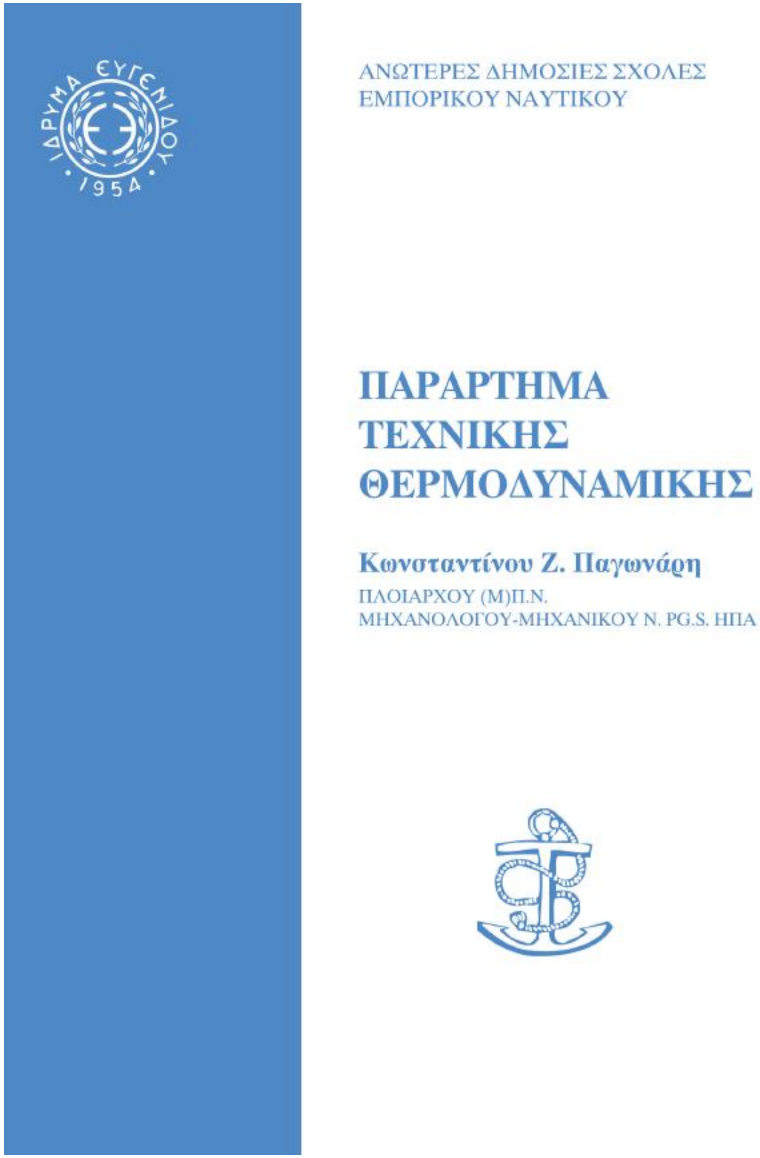
1) Εφαρμοσμένη θερμοδυναμική (γ' έκδοση)

&

2) Παράρτημα τεχνικής Θερμοδυναμικής

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**



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

Δομή του μαθήματος: **Εφαρμ. Θερμοδυναμική Ι**

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

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

Ύλη μαθήματος:

1. Θεμελίωση των βασικών ενεργειακών μεγεθών, ορισμοί. Η έννοια του πεπερασμένου συστήματος και οι νόμοι της θερμοδυναμικής, εισαγωγική περιγραφή
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. Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος, μετατροπή θερμότητας σε έργο
5. Θερμοδυναμικοί κύκλοι, Υπολογισμοί έργου και βαθμού απόδοσης
6. Η έννοια της Εντροπίας, Περιγραφή και ανάλυση θερμοδυναμικών κύκλων σε πεδία πίεσης – 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 πληροφορίας
10. Ενέργεια και πληροφορία, 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

Δομή του μαθήματος: **Εφαρμ. Θερμοδυναμική Ι**

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

2η Ενότητα μαθήματος: 1ος Θερμοδυναμικός νόμος

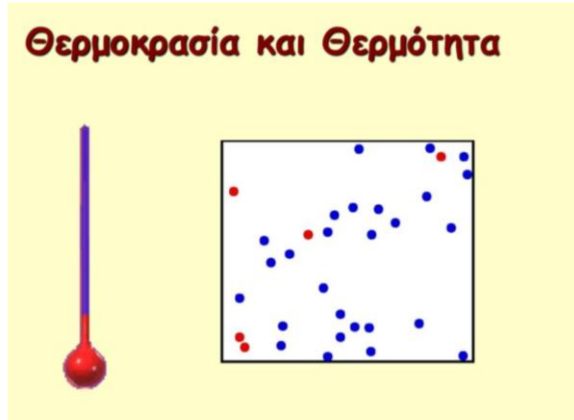
1ος Θερμοδυναμικός νόμος

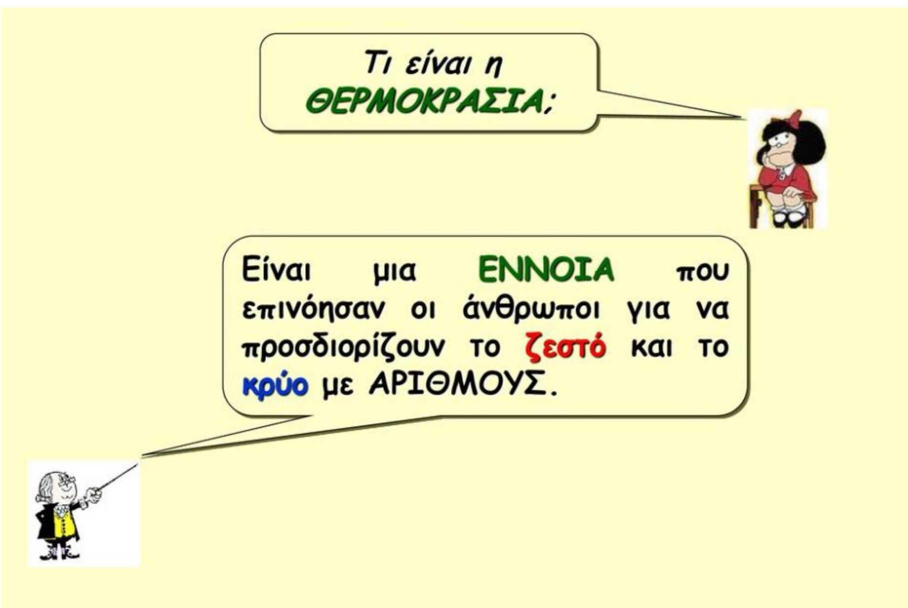
- Θερμοκρασία- Θερμότητα
- Εσωτερική Ενέργεια
- 1ος Θερμοδυναμικός νόμος – Αρχή Διατήρηση Ενέργειας
- Αρχή διατήρησης μάζας

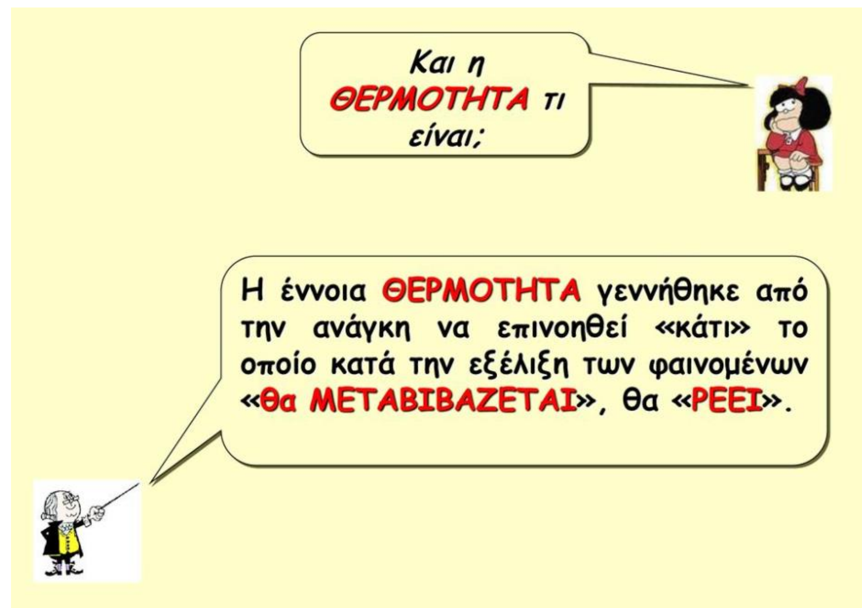
- 1ος Θερμοδυναμικός Νόμος σε κλειστά συστήματα & ανοιχτά συστήματα
- Στραγγαλισμός

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (1/24)

Θερμοκρασία VS Θερμότητα







1ος Θερμοδυναμικός νόμος (2/24)

Θερμότητα

Αιτία της ροής Θερμότητας είναι μόνο η διαφορά στις Θερμοκρασίες δύο σωμάτων.

Η ροή γίνεται πάντοτε από το σώμα με την υψηλή Θερμοκρασία προς το σώμα με τη χαμηλή Θερμοκρασία.

Η Θερμότητα (Q) εκφράζει την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο, λόγω διαφοράς Θερμοκρασίας των δύο σωμάτων.

Μονάδες Θερμότητας

1 Joule στο (SI) και 1 cal = 4,18 Joule

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (3α/24)

Εσωτερική ενέργεια

- Τα δομικά σωματίδια της ύλης (μόρια, άτομα, ιόντα) διαρκώς κινούνται και γι᾽ αυτό έχουν Κινητική ενέργεια.
- Ακόμη, έχουν και Δυναμική ενέργεια, επειδή αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
- Το σύνολο αυτών των ενεργειών το ονομάζουμε Εσωτερική ενέργεια (U).

1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος (3β/24)

Εσωτερική ενέργεια Ιδανικού αερίου

Η εσωτερική ενέργεια ενός ιδανικού αερίου.

Η εσωτερική ενέργεια ενός ιδανικού αερίου οφείλεται μόνο στη συνολική κινητική ενέργεια των μορίων του, γιατί αυτά δεν αλληλεπιδρούν και συνεπώς δεν έχουν δυναμική ενέργεια.

1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος (3γ/24)

Υπολογισμός Εσωτερικής ενέργειας

Υπολογισμός εσωτερικής ενέργειας ιδανικού αερίου.

(Μέση) Κινητική Ενέργεια ενός μορίου του αερίου:

$$\bar{K} = \frac{3}{2} kT$$

Εσωτερική ενέργεια του αερίου:

$$\boxed{U = N.\bar{K}}$$

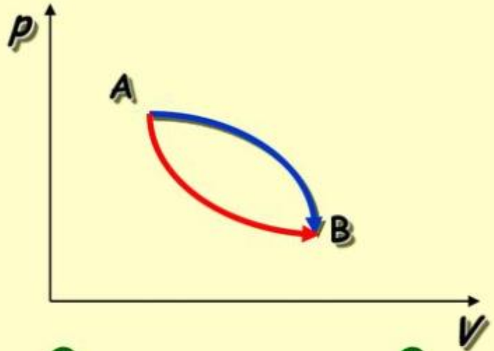
$$U = N.\frac{3}{2}.k.T \rightarrow U = \frac{3}{2} N.\frac{R}{N_A}.T$$

$$\boxed{U = \frac{3}{2} n.R.T}$$

Η **εσωτερική ενέργεια** ορισμένης ποσότητας αερίου **εξαρτάται μόνο από τη Θερμοκρασία**.

1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος (3δ/24)

Μεταβολή της Εσωτερικής ενέργειας



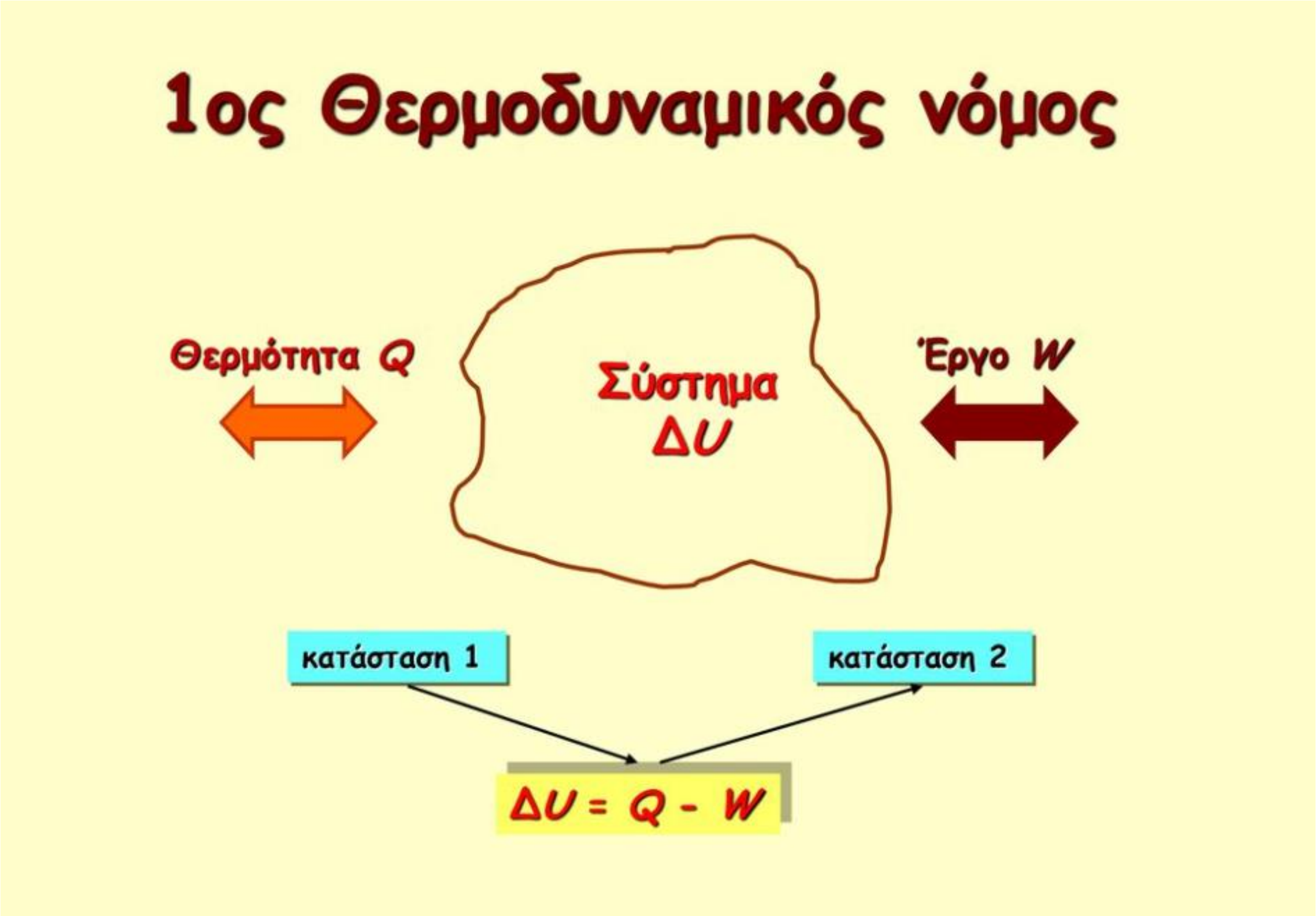
$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} n.R.\Delta T_{AB} = \frac{3}{2} n.R.(T_B - T_A)$$

Η μεταβολή ΔU_{AB} της εσωτερικής ενέργειας εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση και όχι από τον τρόπο που έγινε η μεταβολή.

Η εσωτερική ενέργεια λέμε ότι είναι καταστατική μεταβλητή, επειδή η μεταβολή της εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (4α/24)

1ος Θερμοδυναμικός νόμος



1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος (4β/24)

1^{ος} Θερμοδυναμικός νόμος

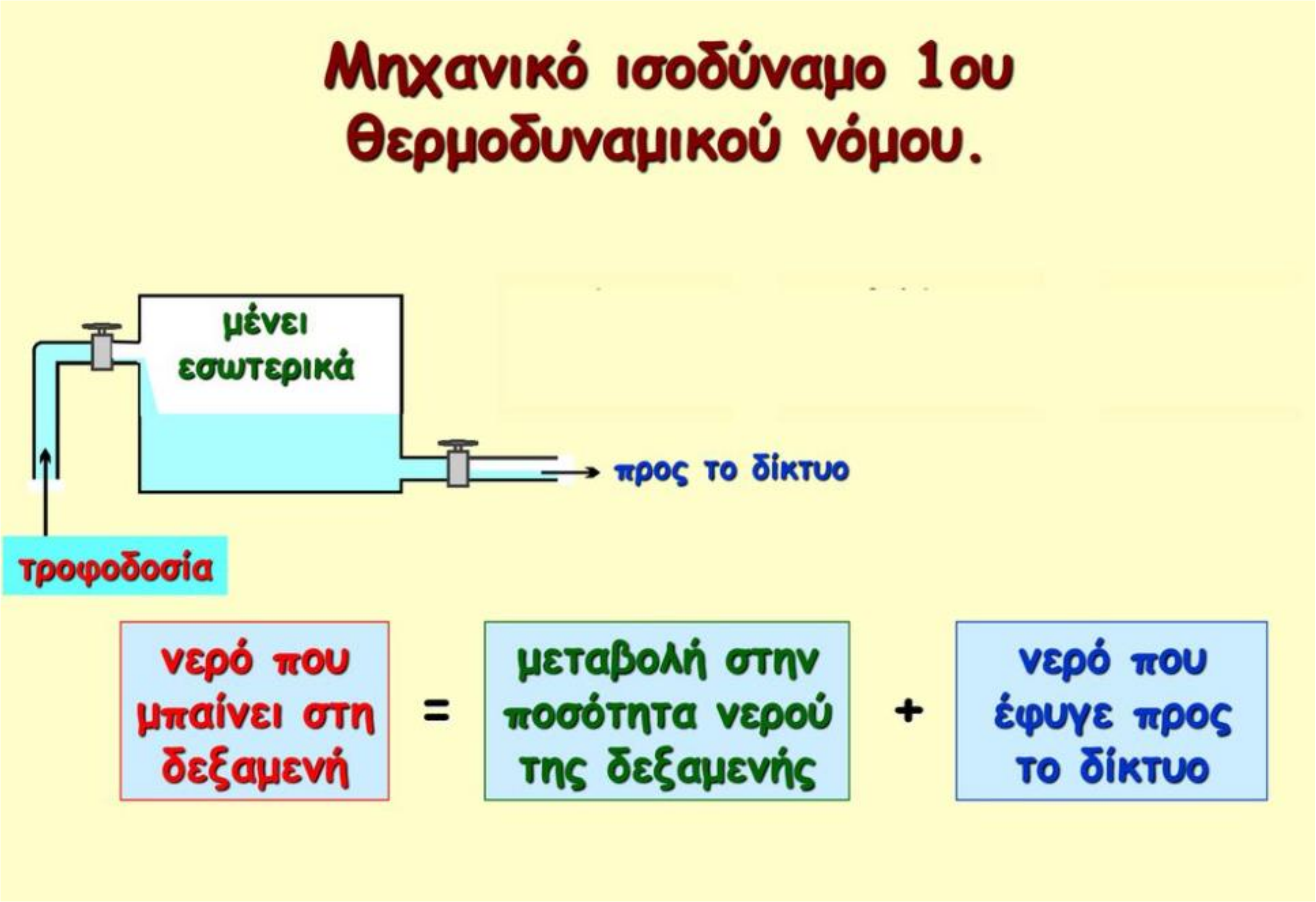
Όταν σε ένα σύστημα **προσφέρεται θερμότητα** Q, ένα μέρος αυτής παραμένει στο σύστημα και **αυξάνει την εσωτερική του ενέργεια κατά** ΔU και **το υπόλοιπο αποδίδεται στο περιβάλλον** μέσω μηχανικού έργου W που παράγεται από το σύστημα.

$$\boxed{Q = \Delta U + W}$$

Ο 1ος Θερμοδυναμικός νόμος αποτελεί εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη Θερμοδυναμική.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (5/24)

Μηχανικό ισοδύναμο



1ος Θερμοδυναμικός νόμος (6/24)

Διερεύνηση του 1ου Θερμοδυναμικού νόμου.

$Q > 0$	Το σύστημα απορροφά θερμότητα
$Q < 0$	Το σύστημα αποβάλλει θερμότητα

$\Delta U > 0$	Αύξηση θερμοκρασίας συστήματος
$\Delta U < 0$	Ελάττωση θερμοκρασίας συστήματος

$W > 0$	Το αέριο εκτονώνεται	Από το Σύστημα στο Περιβάλλον
$W < 0$	Το αέριο συμπιέζεται	Από το Περιβάλλον στο Σύστημα

ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΟ)

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (7α/24)

Παράδειγμα 1

Να βρεθεί το ποσό της θερμότητας σε J και kcal που ισοδυναμεί με έργο 200 J.

Λύση

Από την εξίσωση (4.1) έχουμε ότι:

$Q = \cancel{\Delta U} + W$ Ø

1cal = 4.186 J
ή
1 J = 0.239 cal

Q= W = 200 J

1kcal = 1000 cal

$Q = (200 \cdot 0.239)cal = 47.8\ cal =$ 0.0478 kcal = 0.048 kcal

$1^{ος}$ Θερμοδυναμικός νόμος (7β/24)

Παράδειγμα 2

Σε μία κυκλική διεργασία έγιναν οι εξής μεταφορές θερμότητας: +10 J, –24 J, –3 J και 31 J. Ποιο είναι το καθαρό έργο της κυκλικής διεργασίας;

Λύση

Εφαρμόζουμε τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο με τη μορφή της εξίσωσης (4.2). Στο παράδειγμά μας είναι:

Ø

$$Q = \cancel{\Delta U} + W$$

$$\Sigma Q = (10 - 24 - 3 + 31)\ \text{J}$$

ή $\Sigma Q = 14\ \text{J}$

οπότε

$$\Sigma W = 1 \times 14 = 14\ \text{J}$$

Καθαρό έργο: 14 J

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (8α/24)

Αρχή Διατήρησης μάζας

Διατήρηση της μάζας

Διατήρηση της μάζας: Η μάζα, όπως κι η ενέργεια, είναι διατηρούμενη ιδιότητα και δε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.

Κλειστά συστήματα: Η μάζα του συστήματος παραμένει συνεχώς σταθερή.

Όγκοι ελέγχου (ανοικτά συστήματα): Μπορεί να διέρχεται μάζα από τα όρια του συστήματος.

$$\begin{pmatrix}\text{Συνολική εισερχόμενη}\\ \text{μάζα στον ΟΕ}\\ \text{σε χρόνο } \Delta t\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}\text{Συνολική εξερχόμενη}\\ \text{μάζα από τον ΟΕ}\\ \text{σε χρόνο } \Delta t\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Συνολική μεταβολή}\\ \text{μάζας του ΟΕ}\\ \text{σε χρόνο } \Delta t\end{pmatrix}$$

Διατήρηση της μάζας σε έναν όγκο ελέγχου: Η μεταφορά μάζας προς ή από έναν όγκο ελέγχου σε ένα χρονικό διάστημα Δt είναι ίση με την μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της ολικής μάζας εντός του όγκου ελέγχου κατά το ίδιο χρονικό διάστημα Δt.

$$m_{\text{in}} - m_{\text{out}} = \Delta m_{\text{CV}} \qquad (\text{kg})$$

$$\Delta m_{\text{CV}} = m_{\text{final}} - m_{\text{initial}}$$

$$\dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} = dm_{\text{CV}}/dt \qquad (\text{kg/s})$$

Οι παραπάνω εξισώσεις συχνά αναφέρονται ως **ισοζύγιο μάζας**.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (8β/24)

Παροχές μάζας & όγκου σε αγωγό

Παροχή μάζας

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

$v \longrightarrow$ **Ειδικός όγκος**

Παροχή όγκου

(όπου Vavg η μέση ταχύτητα

και Ac η διατομή του αγωγού)

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n \, dA_c = V_{avg} A_c = V A_c \qquad (m^3/s)$$

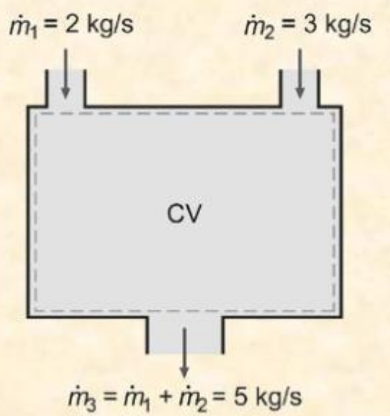
$$\boxed{\dot{m} = \rho V_{avg} A_c} \qquad (kg/s)$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (8γ/24)

Ισοζύγιο μάζας σε διεργασίες σταθεροποιημένης ροής

Σε μια διεργασία σταθεροποιημένης ροής, η ολική μάζα που περιέχεται σε έναν όγκο ελέγχου δε μεταβάλλεται με το χρόνο (m_{CV} = const.).

Έτσι, η αρχή διατήρησης της μάζας ορίζει πως η συνολική μάζα που εισέρχεται στον όγκο ελέγχου θα είναι ίση με εκείνη που εξέρχεται από αυτόν.



Εφαρμογή της διατήρησης της μάζας υπό σταθεροποιημένη ροή σε σύστημα με δύο εισόδους και μια έξοδο.

Σε διεργασίες σταθεροποιημένης ροής, μας ενδιαφέρει η ροή μάζας ανά μονάδα χρόνου, δηλαδή η *παροχή μάζας*.

$$\sum_{\text{in}} \dot{m} = \sum_{\text{out}} \dot{m} \qquad (\text{kg/s})$$ (πολλές είσοδοι κι έξοδοι)

(μία είσοδος και έξοδος έξοδοι)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad \rightarrow \quad \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Πολλές συσκευές (π.χ. ακροφύσια, διαχύτες, στρόβιλοι, συμπιεστές, αντλίες κ.λπ.) έχουν μία είσοδο και μία έξοδο.

$1^{ος}$ Θερμοδυναμικός νόμος (8δ/24)

Αρχή Διατήρησης μάζας

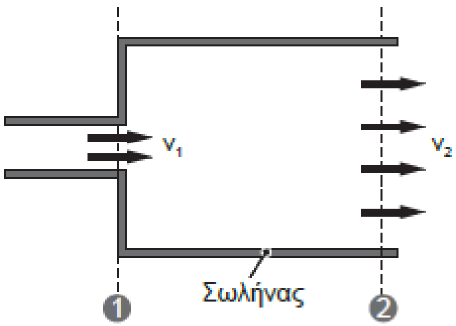
ή αλλιώς..
$$d_1 \cdot A_1 V_1 = d_2 \cdot A_2 V_2$$

Ο Νόμος της Διατήρησης της Μάζας έχει τη μορφή:

$$\dot{m} = \frac{A_1 v_1}{\upsilon_1} = \frac{A_2 v_2}{\upsilon_2}$$

και γενικά
$$\dot{m} = \frac{Av}{\upsilon} \quad \left(\frac{m^2 \cdot m/s}{m^3/kg} = \frac{kg}{s}\right)$$

όπου: $\dot{m}$ η ροή μάζας σε kg/s,
A η επιφάνεια διατομής σωλήνα σε m^2,
v η ταχύτητα υγρού m/s και
υ ο ειδικός όγκος υγρού m^3/kg.



Σχ. 4.1
Ροή ρευστού σε σωλήνα

υ=1/d(density)

$$\boxed{\text{Ειδικός όγκος} = \frac{1}{\pi\upsilon\kappa\nu\acute{o}\tau\eta\tau\alpha} \left(\frac{m^3}{kg}\right)}$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (9/24)

Επίλυση ασκήσεων :

1. Διάγραμμα .
2. Προσδιορίζουμε το σύστημα .
3. Προσδιορίζουμε αρχικές και τελικές καταστάσεις ενέργειας για τα αντικείμενα που μας ενδιαφέρουν .
4. Επιλέγουμε σύστημα αναφοράς .
5. Εφαρμόζουμε την αρχή διατήρησης της ενέργειας .
6. Λύνουμε .

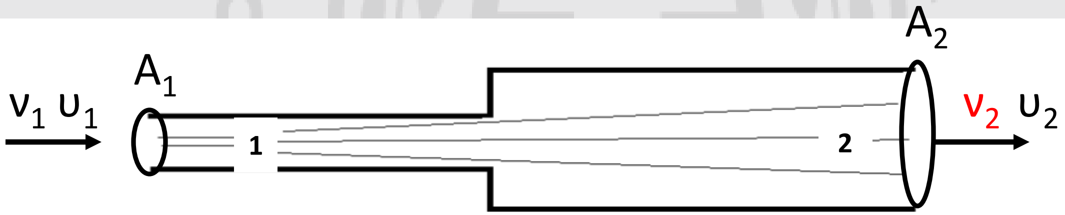
1ος Θερμοδυναμικός νόμος (10α/24)

Παράδειγμα 1

Νερό εισέρχεται με ταχύτητα 1,5 m/s σε σωλήνα με διάμετρο στην είσοδο 0,1 m και στην έξοδο 0,4 m. Να βρεθεί η ροή της μάζας του νερού στην είσοδο του σωλήνα και η ταχύτητά του στην έξοδο.

$$\dot{m} = \frac{A_1 v_1}{\upsilon_1} = \frac{A_2 v_2}{\upsilon_2} \qquad (4.3)$$

$$\dot{m} = \frac{Av}{\upsilon} \qquad (4.4)$$



Πυκνότητα νερού=1000kg/m³

$$\upsilon = \frac{1}{d(density)}\left(\frac{m^3}{kg}\right) = 1/1000\ m^3/kg$$

v_1= 1.5m/s
d_1= 0.1 m
d_2=0.4 m
$\dot{m}$?
$\upsilon_1 = \upsilon_2$

v: velocity

Λύση

Οι δύο διατομές του σωλήνα είναι:

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 0{,}1^2}{4} = 0{,}008\ m^2 \quad \text{και} \quad A_2 = \frac{3{,}14 \times 0{,}4^2}{4} = 0{,}126\ m^2$$

Από την εξίσωση (4.4) βρίσκουμε τη μάζα του νερού:

$$\dot{m} = \frac{0{,}008 \times 1{,}5}{0{,}001} = \boxed{12\ kg/s}$$

Από την Αρχή της Διατήρησης της Μάζας η ροή του νερού στην είσοδο και στην έξοδο του σωλήνα είναι η ίδια. Επομένως από την εξίσωση (4.3) έχουμε ότι:

$$v_2 = \frac{\upsilon_2}{A_2}\frac{A_1 v_1}{\upsilon_1} = \dot{m}\frac{\upsilon_2}{A_2}$$

Μετά την αντικατάσταση των αριθμητικών τιμών παίρνουμε:

$$v_2 = 12 \times \frac{0{,}001}{0{,}126} = \boxed{0{,}095\ m/s}$$

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (10β/24)

Ροή μάζας (kg/s)

Παράδειγμα 2

Ατμός μάζας 6000 kg/h εισέρχεται σε στρόβιλο, ο οποίος έχει επιφάνεια εισόδου 1,5 m^2 και εξόδου 0,55 m^2. Στην είσοδο του στροβίλου ο ειδικός όγκος είναι 0,30 m^3/kg και στην έξοδό του η ταχύτητα του ατμού 80 m/s. Να βρεθεί η ταχύτητα του ατμού στην είσοδο του στροβίλου.

$$\dot{m} = \frac{A_1 v_1}{u_1} = \frac{A_2 v_2}{u_2} \quad (4.3)$$

$$\dot{m} = \frac{Av}{u} \quad (4.4)$$

Λύση

Από την εξίσωση συνέχειας (4.3) έχουμε:

$$\frac{A_1 v_1}{u_1} = \frac{A_2 v_2}{u_2}$$

Άρα:

$$v_1 = \frac{A_2}{A_1}\frac{u_1}{u_2} v_2 \quad (1)$$

Σε αυτή την εξίσωση δεν γνωρίζουμε τον ειδικό όγκο u_2 στην έξοδο του στροβίλου. Από την εξίσωση όμως (4.4) βρίσκουμε ότι:

$$u_2 = \frac{A_2 v_2}{\dot{m}} = \frac{0{,}55 \times 80}{6000} \times 3600 = 26{,}4 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = 6000 \frac{kg}{h} = 6000 \frac{kg}{3600\ s}$$

Αντικαθιστούμε στην εξίσωση (1) και έχουμε ότι η ταχύτητα του ατμού στην είσοδο του στροβίλου είναι:

$$v_1 = \frac{0{,}55}{1{,}5} \times \frac{0{,}30}{26{,}4} \times 80 = \boxed{0{,}333 \text{ m/s}}$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (11α/24)

Νόμος Διατήρησης Ενέργειας

-

Διατήρηση της Ενέργειας

ΔΥΝΑΜΗ
ΕΡΓΟ
ΕΝΕΡΓΕΙΑ – μηχανική, χημική, θερμότητα, βαρυτική, ηλεκτρική, μαγνητική, πυρηνική, ραδιοενέργεια, τριβής, κινητική, δυναμική

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (11β/24)

Νόμος Διατήρησης Ενέργειας

Μη-συντηρητικές (διατηρητικές) «δυνάμεις»:

Τριβή
Θερμότητα

Πιθανές συντηρητικές (διατηρητικές) «δυνάμεις»:

Ηλεκτρική/Μαγνητική Δύναμη
Χημική (Ενέργεια) Δύναμη
Βαρυτική Δύναμη

Για ΜΟΝΩΜΕΝΑ συστήματα ισχύει πάντα η σχέση:

$$\Delta K + \Delta U + \{\text{οποιαδήποτε άλλη μορφή μεταβολή ενέργειας}\} = 0$$

∅

$$\cancel{Q} = \Delta U + W$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (11γ/24)

4.4 Ο Νόμος της Διατήρησης της Ενέργειας

Μία διαφορετική διατύπωση του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου είναι η εξής:

Η αύξηση της ενέργειας ενός συστήματος στη διάρκεια μίας αλλαγής της κατάστασής του είναι ίση με την καθαρή θερμότητα που δίνεται στο σύστημα μείον το καθαρό έργο που παράγεται απ' αυτό στη διάρκεια της αλλαγής.

Με σύμβολα, αυτός ο νόμος γράφεται:

$$E_f - E_i = Q - W \quad (4.5)$$

όπου: E_f, E_i η τελική και αρχική ενέργεια της μάζας του συστήματος, αντίστοιχα,
Q η καθαρή θερμότητα που δίνεται ***στο*** σύστημα (+Q) ή που αποδίδεται ***από*** το σύστημα (–Q) και
W το καθαρό έργο που δίνεται ***στο*** σύστημα (–W) ή που παράγεται *από* το σύστημα (+W).

Ειδική περίπτωση της πιο πάνω διατύπωσης του πρώτου νόμου είναι όταν δεν έχουμε μεταφορά θερμότητας και παραγωγή έργου, δηλαδή Q = 0 και W = 0. Τότε:

$$E_f - E_i = 0 \quad (4.5\alpha)$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί τον γνωστό ***Νόμο της Διατήρησης της Ενέργειας, σύμφωνα με τον οποίο η ενέργεια ενός συστήματος παραμένει σταθερή, εάν το σύστημα δεν παίρνει ούτε δίνει θερμότητα και έργο.***

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (12α/24)

1ος Θερμοδυναμικός Νόμος σε κλειστά συστήματα

$$E_f - E_i = Q - W \quad (4.5)$$

Μεταξύ της εσωτερικής ενέργειας (ολικής) και της ειδικής εσωτερικής ενέργειας, u, ισχύει η σχέση:

$$U = mu \qquad (4.6)$$

Η μονάδα μέτρησης της εσωτερικής ενέργειας U είναι το J και της ειδικής εσωτερικής ενέργειας u το J/kg.

Έτσι, λοιπόν, η ενέργεια του συστήματος E είναι το άθροισμα της εσωτερικής, κινητικής και δυναμικής ενέργειας και συνεπώς μπορούμε να γράψουμε:

$$E = U + E_\kappa + E_\delta \qquad (4.7)$$

όπου: $E_\kappa = \dfrac{mv^2}{2}$ σε J [βλ. εξίσωση (3.7)] και

$E_\delta = mgz$ σε J [βλ. εξίσωση (3.6)]

ή διαιρώντας με τη μάζα του συστήματος m:

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz \qquad (4.8)$$

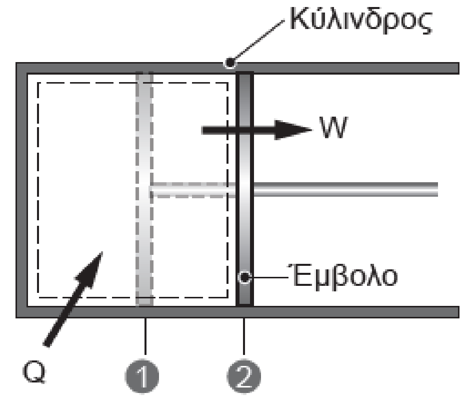
Η ενέργεια E εκφράζεται σε J, ενώ η ενέργεια ανά μονάδα μάζας e, σε J/kg. Σημειώνουμε ότι, στην επίλυση των προβλημάτων είναι ευκολότερο να βρίσκουμε τη λύση ανά μονάδα μάζας και στο τέλος να πολλαπλασιάζουμε επί τη μάζα του συστήματος.

Η εξίσωση (4.5) μπορεί να γραφεί και ως εξής:

$$E_i + Q = E_f + W \qquad (4.9)$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (12β/24)

Παράδειγμα Κλειστού συστήματος



Ένα σύστημα εμβόλου - κυλίνδρου παίρνει θερμότητα και παράγει έργο

Στα ΚΛΕΙΣΤΑ συστήματα→ $E_\kappa = E_\Delta =$ αμελητέες

$$E = U + E_\kappa + E_\delta \qquad (4.7)$$

$$U_i + Q = U_f + W \qquad (4.10)$$

$$\boxed{\Delta U = U_f - U_i = Q - W}$$

όπου: U_i, U_f η αρχική και τελική εσωτερική ενέργεια του συστήματος σε J.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (13/24)

https://www.youtube.com/watch?v=1OFlW8OXN64

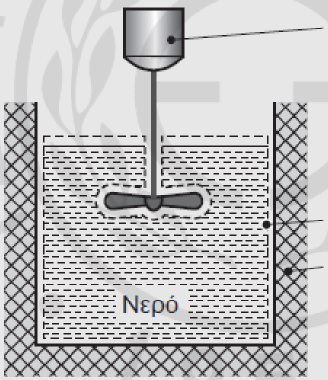
$1^{ος}$ Θερμοδυναμικός νόμος (14α/24)

Παράδειγμα 1

Ας πάρουμε ένα δοχείο που περιέχει 5 kg νερού και είναι καλά μονωμένο. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα στρέφουμε μία έλικα μέσα στο δοχείο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3, και ανακατεύουμε το νερό. Το έργο που μας δίνει η έλικα είναι 600 J. Κινητική και δυναμική ενέργεια αμελητέες.

α) Να υπολογιστεί η αλλαγή της ειδικής και ολικής εσωτερικής ενέργειας του συστήματος, εάν δεχθούμε ότι δεν υπάρχει καμία απώλεια θερμότητας.

β) Εάν διαπιστώσουμε απώλεια θερμότητας 20 J/kg, ποια είναι η αλλαγή της ολικής ενέργειας του συστήματος;



Σχ. 4.3
Δοχείο μονωμένο

Λύση

α) Το σύστημα είναι το δοχείο που είναι καλά μονωμένο, ώστε στο πρώτο ερώτημα θεωρούμε ότι Q = 0 (αδιαβατικό σύστημα).

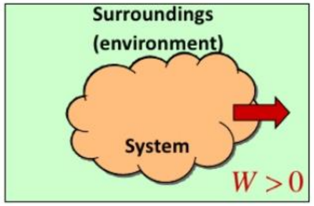
Δεδομένου ότι η κινητική $E_κ$ και η δυναμική $E_δ$ ενέργεια είναι αμελητέες, από την εξίσωση (4.9) έχουμε ότι:

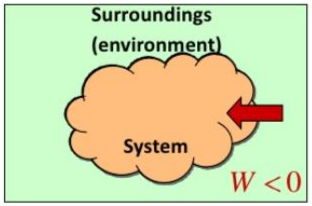
$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W \quad \text{ή } Q = \Delta U + W \qquad (1)$$

όπου: ΔU η αλλαγή εσωτερικής ενέργειας (με το γράμμα Δ συμβολίζουμε τη μεταβολή ενός μεγέθους).

Είπαμε ότι Q = 0 και επομένως q = Q/m = 0. Επίσης, ο κινητήρας δίνει έργο στο σύστημα, δηλαδή το έργο είναι αρνητικό, W = – 600 J. Αντικαθιστούμε στην εξίσωση (1) και έχουμε ότι η αλλαγή της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος είναι:

$$\Delta U = 0 - (-600) = 600 \text{ J}$$





W > 0	**Το αέριο εκτονώνεται**
W < 0	**Το αέριο συμπιέζεται**

Η μάζα του συστήματος είναι m = 5 kg, οπότε η αλλαγή της ειδικής εσωτερικής ενέργειας είναι:

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{m} = \frac{600}{5} = \boxed{120 \text{ J/kg}}$$

Παρατηρούμε ότι έχουμε αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος κατά 600 J ή 120 J/kg.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (14β/24)

Παράδειγμα 1

Ας πάρουμε ένα δοχείο που περιέχει 5 kg νερού και είναι καλά μονωμένο. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα στρέφουμε μία έλικα μέσα στο δοχείο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3, και ανακατεύουμε το νερό. Το έργο που μας δίνει η έλικα είναι 600 J. Κινητική και δυναμική ενέργεια αμελητέες.

α) Να υπολογιστεί η αλλαγή της ειδικής και ολικής εσωτερικής ενέργειας του συστήματος, εάν δεχθούμε ότι δεν υπάρχει καμία απώλεια θερμότητας.

β) Εάν διαπιστώσουμε απώλεια θερμότητας 20 J/kg, ποια είναι η αλλαγή της ολικής ενέργειας του συστήματος;

$$\boxed{\Delta U = U_f - U_i = Q - W}$$

ή

$$\boxed{\Delta u = \frac{\Delta U}{m} = \frac{U_f - U_i}{m}_{f\,i} = \frac{Q}{m} - \frac{W}{m}}$$

β) Εάν το σύστημα έχει απώλεια θερμότητας, τότε q = – 20 J/kg, οπότε έχουμε ότι η αλλαγή της ειδικής εσωτερικής ενέργειας είναι:

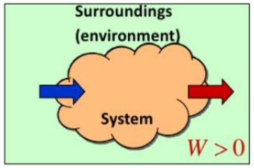
ή Q=ΔU + W

$$\Delta u = q - \frac{W}{m} = -20 + \frac{600}{5} = 100 \text{ J/kg}$$

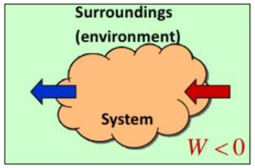
και της ολικής εσωτερικής ενέργειας:

$$\Delta U = 100 \times 5 = 500 \text{ J}$$

Q = positive value
W = positive value



Q = negative value
W = negative value



Βλέπουμε ότι η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας που παρατηρήθηκε στην πρώτη περίπτωση μειώθηκε κατά το ποσό της θερμότητας που έχασε το σύστημα. Στην πράξη έχουμε πάντα απώλειες από κάθε σύστημα, όσο μικρές και αν είναι. Το μέγεθος των απωλειών εξαρτάται από τη διαμόρφωση του συστήματος αλλά και από την ποιότητα της μόνωσης. Σε επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε εκτενέστερα στο θέμα των απωλειών.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (15/24)

Παράδειγμα 2

Δύο χιλιόγραμμα αερίου συμπιέζονται μέσα σε μία συσκευή από όγκο 0,5 m^3 σε όγκο 0,3 m^3. Στη διάρκεια αυτής της συμπίεσης του αερίου η πίεση παρέμεινε σταθερή και ίση με 2 bar και από άλλους υπολογισμούς βρέθηκε ότι η εσωτερική ενέργεια αυξήθηκε κατά 20 kJ. Να βρεθεί το ποσό της θερμότητας που μεταφέρθηκε στο ή από το αέριο, στη διάρκεια αυτής της διεργασίας. Η κινητική και δυναμική ενέργεια είναι αμελητέες ποσότητες.

V_1= 0.5m^3
V_2= 0.3m^3
p=σταθερή=2bar= 2.10^5 Pa=(N/m^2)
ΔU=+20 kJ
$E_κ+E_Δ=\emptyset$
Q=?

Λύση

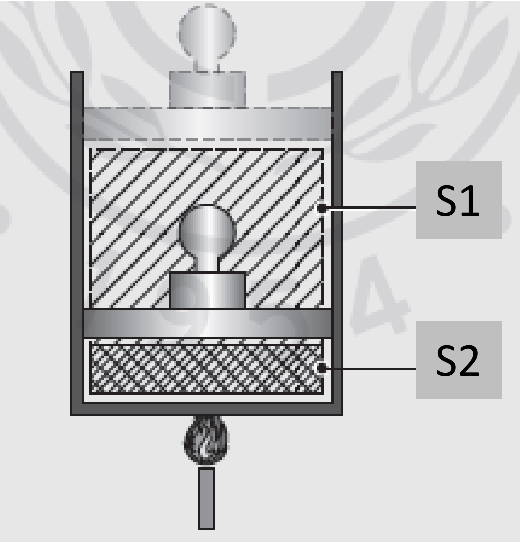
Η συσκευή αυτή μπορεί να είναι όπως το σύστημα που φαίνεται στο σχήμα 4.4. Αποτελείται δηλαδή από έναν κύλινδρο και ένα έμβολο. Το αρχικό σύστημα είναι το S_1 και το τελικό το S_2. Ένα βάρος βρίσκεται επάνω στο έμβολο και ρυθμίζει τη θέση του ώστε η πίεση να παραμένει σταθερή, σύμφωνα με τις αρχές της υδροστατικής.

Σύμφωνα με την εξίσωση (4.5) και ότι $E_κ = 0$ και $E_δ = 0$, έχουμε:

$$\Delta U = Q - W \qquad \text{ή } Q=\Delta U + W \qquad (1)$$

Από την εκφώνηση του προβλήματος γνωρίζουμε ότι ΔU = 20 kJ. Το έργο W δεν είναι γνωστό, αλλά μπορούμε να το υπολογίσουμε από την εξίσωση (3.5), δεδομένου ότι εδώ έχουμε ένα κλειστό σύστημα, όπου το έργο γίνεται στο σύστημα και γνωρίζουμε ότι η πίεση είναι σταθερή, p=2bar. Οπότε:

$$W = \int_1^2 p dV = p(V_2 - V_1) = 2 \times 10^5 \times (0{,}3 - 0{,}5) = -40 \text{ kNm ή } -40\text{kJ}$$



Σχ. 4.4
Μεταβολή όγκου με σταθερή πίεση

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1) έχουμε:

$$Q = 20 - 40 = \boxed{-20 \text{ kJ}}$$

Το αρνητικό σημείο σημαίνει ότι το ποσό της θερμότητας Q = 20 kJ αφαιρέθηκε από το αέριο. Το αποτέλεσμα αυτό έχει φυσική έννοια, γιατί αφού ο όγκος ελαττώθηκε, σημαίνει ότι το αέριο ψύχθηκε, του αφαιρέθηκε δηλαδή θερμότητα. Φυσικά το ίδιο αποτέλεσμα θα είχαμε και με την εξίσωση (4.10).

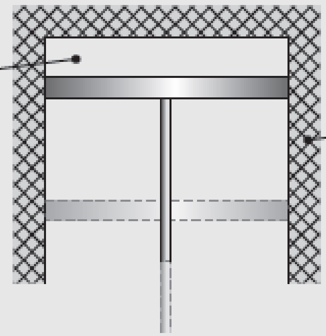
1ος Θερμοδυναμικός νόμος (16α/24)

Παράδειγμα 3

Σε μία υποθετική μηχανή προσδίνεται καύσιμο, το οποίο, κατά την αντίδρασή του με τον αέρα προκαλεί μείωση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος κατά 44.000 kJ ανά kg καυσίμου. Το σύστημα θεωρείται αδιαβατικά μονωμένο. Ζητείται

ανά ώρα

να βρεθεί: α) Το παραγομενο έργο ανά kg καυσίμου και β) η κατανάλωση καυσίμου στη μονάδα του έργου. Δυναμική και μηχανική ενέργεια να παραλειφθούν.



Σχ. 4.5
Υποθετική μηχανή

Λύση

α) Η υποθετική μηχανή μπορεί να είναι μία μηχανή Diesel καλά μονωμένη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Αφού το σύστημα είναι αδιαβατικά μονωμένο, τότε $Q = 0$. Επίσης, κατά την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου, η αρχική ενέργεια μειώθηκε. Η κινητική και δυναμική ενέργεια θεωρούνται αμελητέες. Οπότε η εξίσωση (4.5) γράφεται ως εξής:

$$\Delta U = Q - W$$

$\Delta u = -44000 kJ/kg$
$Q = \emptyset$

ή $Q = \Delta U + W$

ή $q = \Delta u + w$ (ειδικές Ενέργειες)

Αντικαθιστώντας τις τιμές, έχουμε ότι το έργο για κάθε kg καυσίμου είναι:

$$-44.000 = 0 - W \quad \text{ή} \quad \boxed{W = 44.000 \text{ kJ/kg καυσίμου}}$$

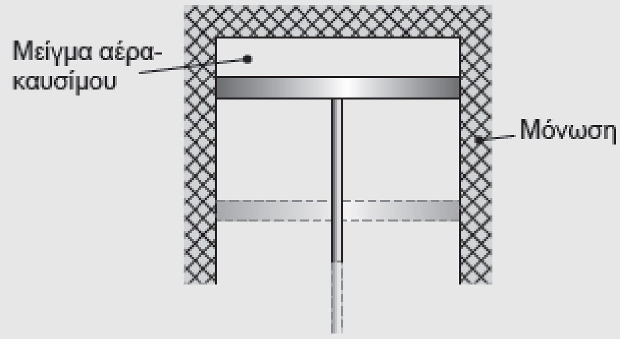
1ος Θερμοδυναμικός νόμος (16β/24)

Παράδειγμα 3

Σε μία υποθετική μηχανή προσδίνεται καύσιμο, το οποίο, κατά την αντίδρασή του με τον αέρα προκαλεί μείωση της εσωτερικής ενέργειας του συστήματος κατά 44.000 kJ ανά kg καυσίμου. Το σύστημα θεωρείται αδιαβατικά μονωμένο. Ζητείται

ανά ώρα

να βρεθεί: α) Το παραγόμενο έργο ανά kg καυσίμου και β) η κατανάλωση καυσίμου στη μονάδα του έργου. Δυναμική και μηχανική ενέργεια να παραλειφθούν.



Σχ. 4.5
Υποθετική μηχανή

$\Delta U = -44000 kJ/kg$
$Q = \emptyset$

Αντικαθιστώντας τις τιμές, έχουμε ότι το έργο για κάθε kg καυσίμου είναι:

$$-44.000 = 0 - W \quad ή \quad W = 44.000 \text{ kJ/kg καυσίμου}$$

Επειδή 1 kW = 1 $\frac{kJ}{s}$, μπορούμε να γράψουμε ότι:

$$W = \frac{44.000}{3600} = 12{,}22 \text{ kWh/kg καυσίμου}$$

1Watt = 0.001kWh
10Watt = 0.01kWh
100Watt = 0.1kWh
1000Watt = 1kWh
1kW = 1kWh

β) Το προηγούμενο αποτέλεσμα μας λέει ότι ανά kg καυσίμου παράγεται έργο 12,22 kWh. Άρα η κατανάλωση καυσίμου ανά μονάδα έργου είναι ακριβώς το αντίστροφο, δηλαδή:

$$\frac{1}{12{,}22} = \boxed{0{,}0818 \text{ kg/kWh}}$$

Η κατανάλωση που βρήκαμε λέγεται ***ειδική κατανάλωση καυσίμου*** και εκφράζεται σε kg/kWh ή kg/PSh. Στις πραγματικές μηχανές, βενζινομηχανές ή Diesel, η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι τρεις ή τέσσερεις φορές μεγαλύτερη από όση βρήκαμε εδώ. Ένας λόγος είναι ότι έχουμε πάντα απώλεια θερμότητας και συνεπώς ποτέ δεν έχουμε Q = 0. Τις διαφορές αυτές θα τις εξετάσουμε αργότερα.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (17α/24)

Παράδειγμα Ανοιχτού συστήματος

$\boxed{Q = \Delta U + W} \rightarrow \dot{Q} = \Delta\dot{U} + \dot{W}$

$\Delta U = U_f - U_i = U_0 - U_i$

$\dot{m} = \frac{m}{t}\ (\frac{kg}{s})$

τα συστήματα όπου έχουμε ροή μάζας μέσα σε σταθερό όγκο, δηλαδή τα ανοικτά συστήματα. Και σε αυτά έχουμε ανταλλαγή και μεταφορά θερμότητας για παραγωγή έργου.

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος εκφράζεται από την Αρχή της Διατήρησης της Ενέργειας και παίρνει τη μορφή*:

ενέργεια ***προς*** το σύστημα = ενέργεια ***από*** το σύστημα

$$\dot{Q} + (e+pu)_i\ \dot{m}_i = (e+pu)_0\ \dot{m}_0 + \dot{W} \qquad (4.11)$$

Ο δείκτης i χαρακτηρίζει την κατάσταση στην είσοδο του ανοικτού συστήματος και ο δείκτης 0 στην έξοδο.

Για σταθερή ροή μάζας $\dot{m}_i = \dot{m}_0 = m$, οπότε

$$\dot{Q} + (e+pu)_i\ \dot{m} = (e+pu)_0\ \dot{m} + W \qquad (4.12)$$

όπου: $p_{i,0}$ η πίεση της μάζας στην είσοδο-έξοδο του συστήματος και
$u_{i,0}$ ο ειδικός όγκος της μάζας στην είσοδο-έξοδο του συστήματος.

e: ειδικές ολικές ενέργειες
υ=1/density

$1^{ος}$ Θερμοδυναμικός νόμος (17β/24)

Παράδειγμα Ανοιχτού συστήματος

$P=F/A$ (N/m^2)
$W= F.x$ $(N.m=J)$

Για σταθερή ροή μάζας $\dot{m}_i = \dot{m}_0 = m$, οπότε

Έξοδο, 0

$$\dot{Q} + (e+pu)_i\ \dot{m} = (e+pu)_0\ \dot{m} + W \qquad (4.12)$$

Είσοδο, i

$$e + pu = \boxed{u + pu} + \frac{v^2}{2} + gz \qquad (4.13)$$

Ειδική εσωτερική ενέργεια (J/kg)

Ειδικός όγκος (m^3/kg)

Το άθροισμα u + pu το ονομάζουμε ***ενθαλπία*** h της μάζας.

$$\boxed{h = u + pu} \text{ σε J/kg} \qquad (4.14)$$

$$h = \left(\frac{J}{kg}\right) + \left(\frac{N}{m^2}\right).\left(\frac{m^3}{kg}\right)$$
$$= \left(\frac{J}{kg}\right) + N.\left(\frac{m}{kg}\right)$$
$$=\left(\frac{J}{kg}\right) + \left(\frac{J}{kg}\right) = \left(\frac{J}{kg}\right)$$

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_0 + \dot{W} \qquad (4.15)$$

ο πρώτος νόμος για ένα ανοικτό σύστημα, εξίσωση (4.15), μπορεί να γραφεί:

$\Delta\dot{H} = \dot{H}_0 - \dot{H}_i = \dot{Q} - \dot{W}$

$$\dot{H}_0 - \dot{H}_i = \dot{Q} - \dot{W} \qquad (4.15\beta)$$

Ή **$\dot{Q} = \Delta\dot{H} + \dot{W}$ για E_κ, E_Δ αμελητέες**

$$\dot{Q} = \Delta\dot{H} + \dot{m}(\Delta E_\kappa + \Delta E_\Delta)/m + \dot{W}$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (18α/24)

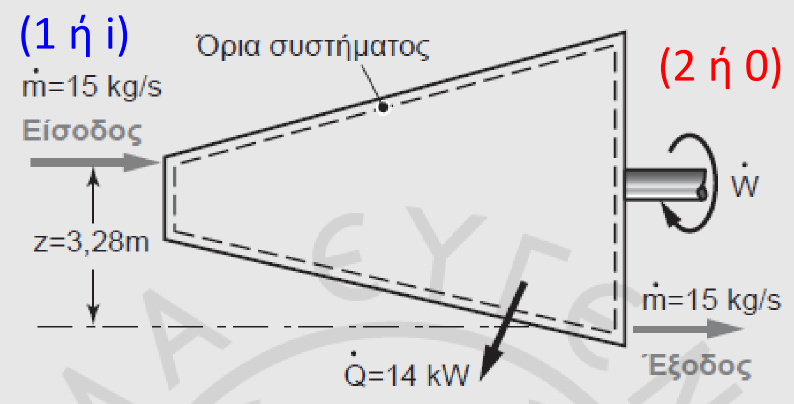
Παράδειγμα 1

Στον ατμοστρόβιλο ενός πλοίου (σχ. 4.6) ο ατμός εισέρχεται με πίεση 6205 kN/m^2 και ταχύτητα 30,48 m/s. Στην έξοδο του στροβίλου ο ατμός έχει πίεση 9,86 kN/m^2 και ταχύτητα 274,30 m/s. Η είσοδος του στροβίλου είναι 3,28 m υψηλότερα από το επίπεδο της εξόδου του. Να βρεθεί το έργο που παράγει ο στρόβιλος, αν η ροή της μάζας είναι 15 kg/s και οι απώλειες της θερμότητας $\dot{Q}$ = 14 kW. Ο ατμός έχει τις εξής ιδιότητες:

	Είσοδος	*Έξοδος*
Ειδική εσωτερική ενέργεια, u	3150,3 kJ/kg	2211,8 kJ/kg
Ειδικός όγκος, υ	0,05789 m^3/kg	13,36 m^3/kg

p_i= 6205 kN/m2
v_i= 30.48 m/s
p_0= 9.86 kN/m2
v_0= 274.30 m/s
$\dot{m}$ =15 kg/s
$\dot{Q} = -14kW$

$\dot{Q} = \Delta\dot{H} + \dot{m}(\Delta E_\kappa + \Delta E_\Delta)/m + \dot{W}$



Σχ. 4.6
Ο στρόβιλος ως ανοικτό σύστημα

Λύση

Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος για ένα ανοικτό σύστημα, όπως είναι ο ατμοστρόβιλος, δίνεται από την εξίσωση (4.15).

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_0 + \dot{W}$$

Για την εξίσωση αυτή έχουμε ότι:

$\boxed{h_i = u_i + p_i\,\upsilon_i}$ = 3150 + (6205 × 0,05789) = 3509,50 kJ/kg

$h_0 = u_0 + p_0\,\upsilon_0$ = 2211,8 + (9,86 × 13,36) = 2343,53 kJ/kg

$$\frac{1}{2}v_i^2 = \frac{1}{2} \times 30{,}48^2 = 464{,}52 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\frac{1}{2}v_0^2 = \frac{1}{2} \times 274{,}30^2 = 37.620 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Η δυναμική ενέργεια δίνεται από την εξίσωση (3.6), όπου z η απόσταση από κάποιο επίπεδο που το ορίζουμε αυθαίρετα. Αν θεωρήσουμε ότι αυτό το επίπεδο είναι το επίπεδο της εξόδου του στροβίλου, τότε έχουμε ότι:

$$gz = 9{,}81 \times 3{,}28 = 32{,}18 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$(g \cdot z)_0 = (g \cdot z)_2 = \emptyset$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (18β/24)

Επίσης, λόγω απωλειών από το κέλυφος του στροβίλου, $\dot{Q} = -14$ kW. Τις πιο πάνω αριθμητικές τιμές, όταν τις αντικαταστήσουμε στην εξίσωση (1), θα έχουμε:

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_0 + \dot{W}$$

$$-14 + 15\,(3509{,}50 + 464{,}52 + 32{,}18) = 15 \times (2343{,}53 + 37.620 + 0) + \dot{W} \qquad (2)$$

Λύνουμε την εξίσωση (2) ως προς $\dot{W}$ και συγχρόνως θέτουμε τις μονάδες για να ελέγξουμε ότι είναι ίδιες:

$$\dot{W} = -14 + 15 \times \left[(3509{,}50 - 2343{,}53) + \frac{464{,}52 - 37.620}{1000} + \frac{32{,}18}{1000}\right]$$

Εκτελούμε τις πράξεις και το αποτέλεσμα είναι:

$$\dot{W} = -14 + 15 \times (1165{,}97 - 37{,}16 + 0{,}0322) = \boxed{16.919 \text{ kW}} \qquad (3)$$

Μονάδες:

$$\left[\text{kW} + \boxed{\boxed{\frac{\text{kg}}{\text{s}}\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right.} + \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} + \left.\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)\right]$$

Οι μονάδες είναι ίδιες γιατί:

$$\boxed{\frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \text{kW}$$

$$\boxed{\frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{1}{s} \cdot \frac{kg.m}{s^2}.m = \frac{1}{s} \cdot N \cdot m = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{J}{s} = W = \frac{kW}{1000}$$

$$F = m \cdot g \ (\mu o \nu \alpha \delta \varepsilon \varsigma\!: \ kg \cdot m/s^2 = N)$$

$$W = F \cdot d \ (\mu o \nu \alpha \delta \varepsilon \varsigma\!: N \cdot m = kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = J$$

$$P = \frac{W}{t} \ \left(\frac{J}{s} = Watt\right)$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (18γ/24)

Εκτελούμε τις πράξεις και το αποτέλεσμα είναι:

$$\dot{W} = -14 + 15 \times (1165{,}97 - 37{,}16 + 0{,}0322) = 16.919 \text{ kW} \qquad (3)$$

Στην εξίσωση (3) παρατηρούμε ότι οι ποσότητες της κινητικής και δυναμικής ενέργειας, δηλαδή 37,16 και 0,0322, είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με το μέγεθος της ενθαλπίας 1165,97. Έτσι μπορούμε να παραλείψουμε τους όρους της κινητικής και δυναμικής ενέργειας και από τα δύο μέλη της εξίσωσης (1) χωρίς να έχουμε σοβαρό λάθος σε πρακτικούς υπολογισμούς. Ας δούμε ποιο θα είναι το αποτέλεσμα αν παραλείψουμε τους όρους αυτούς από την εξίσωση (3):

$$\dot{W} = -14 + (15 \times 1165{,}97) = 17.476 \text{ kW}$$

Έχουμε δηλαδή σφάλμα κατά 3% που πολλές φορές στην πράξη είναι ασήμαντο.

Αν τώρα θεωρήσουμε και τις θερμικές απώλειες αμελητέες, τότε: $\boxed{\dot{Q} = \emptyset}$

$$\dot{W} = 15 \times 1165{,}97 = 17.490 \text{ kW},$$

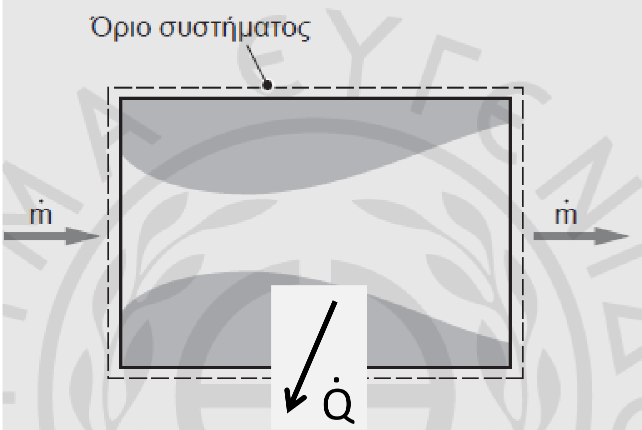
οπότε το σφάλμα γίνεται 3,2%, επίσης ασήμαντο για πρακτικούς σκοπούς.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (19α/24)

Παράδειγμα 2

Το προφύσιο είναι μία μονάδα με την οποία μετατρέπουμε την ενθαλπία σε κινητική ενέργεια. Η κινητική αυτή ενέργεια χρησιμοποιείται για να κινήσει έναν μηχανισμό ή ένα μηχάνημα, όπως είναι ο ατμοστρόβιλος. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται μία τυπική μορφή προφυσίου. Έστω ότι έχουμε αέρα που εισέρχεται στο προφύσιο με πίεση 27,2 bar, ταχύτητα 32,8 m/s και ενθαλπία 559 kJ/kg. Στην έξοδο του προφυσίου η πίεση είναι 6,80 bar και η ενθαλπία 378 kJ/kg. Η ροή της μάζας είναι 273 kg/h και οι θερμικές απώλειες 5 kJ/kg.

Να υπολογιστεί η ταχύτητα του αέρα στην έξοδο του προφυσίου: α) με τις συνθήκες που περιγράψαμε παραπάνω και β) αν το προφύσιο είναι καλά μονωμένο.



Σχ. 4.7
Προφύσιο ως ανοικτό σύστημα

$$1\ bar \cong 1atm = 105\ Pa\ (= N/m^2)$$

p_i= 27.2 bar
v_i= 32.8 m/s
h_i= 559 kJ/kg
p_0= 6.8 bar
h_0= 378 kJ/kg
$\dot{m}$=273 kg/h
q= 5 kJ/kg

Λύση

Όπως είναι φανερό, το προφύσιο είναι ένα ανοικτό σύστημα όπου έχουμε ροή μάζας. Με σταθερές συνθήκες λειτουργίας, ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος δίνεται από την εξίσωση:

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2}\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2}\right)_0$$

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + \cancel{gz}\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + \cancel{gz}\right)_0 + \cancel{\dot{W}}$$

Ø Ø Ø

$\dot{W}$, γιατί το προφύσιο ούτε παίρνει ούτε δίνει έργο,
g z, γιατί από τη διαμόρφωση του προφυσίου η είσοδος και η έξοδος βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, δηλαδή z = 0.

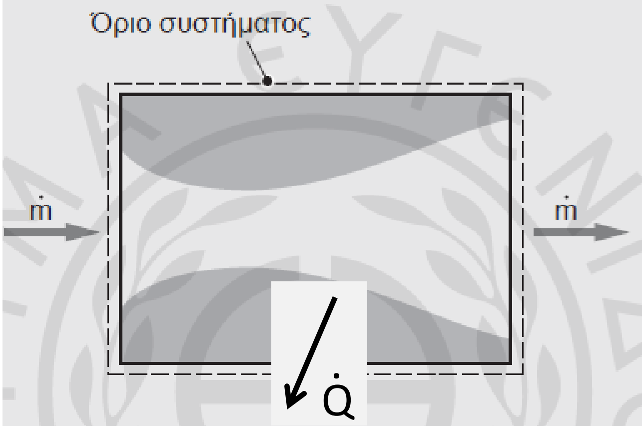
$$\left(\frac{kJ}{kg} \cdot \frac{kg}{s}\right) = kJ/s = kW$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (19β/24)

Παράδειγμα 2

Το προφύσιο είναι μία μονάδα με την οποία μετατρέπουμε την ενθαλπία σε κινητική ενέργεια. Η κινητική αυτή ενέργεια χρησιμοποιείται για να κινήσει έναν μηχανισμό ή ένα μηχάνημα, όπως είναι ο ατμοστρόβιλος. Στο σχήμα 4.7 φαίνεται μία τυπική μορφή προφυσίου. Έστω ότι έχουμε αέρα που εισέρχεται στο προφύσιο με πίεση 27,2 bar, ταχύτητα 32,8 m/s και ενθαλπία 559 kJ/kg. Στην έξοδο του προφυσίου η πίεση είναι 6,80 bar και η ενθαλπία 378 kJ/kg. Η ροή της μάζας είναι 273 kg/h και οι θερμικές απώλειες 5 kJ/kg.

Να υπολογιστεί η ταχύτητα του αέρα στην έξοδο του προφυσίου: α) με τις συνθήκες που περιγράψαμε παραπάνω και β) αν το προφύσιο είναι καλά μονωμένο.



Σχ. 4.7
Προφύσιο ως ανοικτό σύστημα

$$\dot{Q}+\dot{m}\left(h+\frac{v^2}{2}\right)_i=\dot{m}\left(h+\frac{v^2}{2}\right)_0$$

$$\dot{Q}=-\dot{q}m=-5\times 0{,}076=-0{,}380 \quad kJ/s$$

$$\dot{m}=\frac{273}{3600}=0{,}076 \text{ kg/s},$$

$$h_i=559 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{1}{2}v_i^2=\frac{1}{2}\times 32{,}8^2=538 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$h_0=378 \text{ kJ/kg}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (1) έχουμε

$$-0{,}380+0{,}076\times\left(559+\frac{538}{1000}\right)=0{,}076\times\left(378+\frac{1}{2}\,\frac{v_0^2}{1000}\right)$$

Λύνουμε ως προς v_0:

α) $$\frac{1}{2}\,\frac{v_0^2}{1000}=\frac{-0{,}380+0{,}076\,(559+0{,}538)}{0{,}076}-378=176{,}54$$

$$v_0=\sqrt{2000\times 176{,}54}=\boxed{594{,}2 \text{ m/s}}$$

β) Για αδιαβατικές συνθήκες, έχουμε ότι $\dot{Q}=0$, οπότε:

$$\frac{1}{2}\,\frac{v_0^2}{1000}=559{,}54-378=181{,}54$$

$$v_0=\sqrt{2000\times 181{,}54}=\boxed{602{,}56 \text{ m/s}}$$

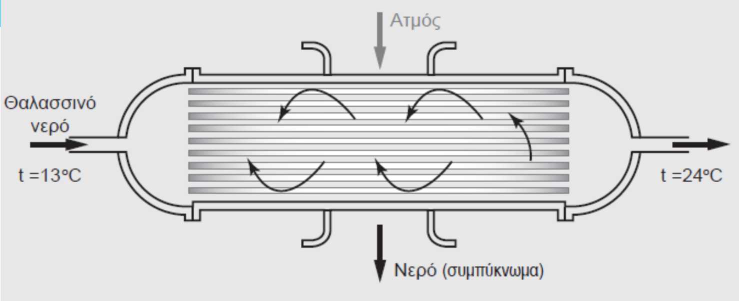
1ος Θερμοδυναμικός νόμος (20α/24)

Παράδειγμα 3

Το ψυγείο ατμού μιας εγκατάστασης ατμοστροβίλου δέχεται 34.100 kg ατμού την ώρα, ο οποίος έχει ενθαλπία 2565 kJ/kg. Ο ατμός συμπυκνώνεται στο ψυγείο και μεταβάλλεται σε νερό με ενθαλπία 160 kJ/kg.

α) Να βρεθεί το ποσό της θερμότητας που αφαιρέθηκε από τον ατμό για να σχηματιστεί το νερό.

β) Το ψυγείο ψύχεται με το νερό της θάλασσας, που καθώς περνά μέσα από τους αυλούς, η θερμοκρασία του αυξάνεται από 13°C σε 24°C. Ζητείται το ποσό του θαλασσινού νερού που περνά μέσα από τους αυλούς, αν λάβουμε υπόψη μας ότι 1 kg νερού απορροφά θερμότητα 4,19 kJ για άνοδο της θερμοκρασίας του κατά έναν βαθμό.



Σχ. 4.8
Ψυγείο ατμού

$$\dot{Q}+\dot{m}\left(h+\frac{\cancel{v^2}}{\cancel{2}}+\cancel{gz}\right)_i=\dot{m}\left(h+\frac{\cancel{v^2}}{\cancel{2}}+\cancel{gz}\right)_0+\cancel{\dot{W}}$$

Ø Ø Ø Ø Ø

$\dot{m}$= 34100 kg/h
h_i= 2565 kJ/kg
h_0= 160 kJ/kg

Λύση

Το ψυγείο ατμού μιας προωστήριας εγκατάστασης ατμοστροβίλου φαίνεται στο σχήμα 4.8.

Ο ατμός εισέρχεται από το άνω μέρος, ψύχεται, και από το κάτω μέρος εξέρχεται το νερό (συμπύκνωμα). Το θαλασσινό νερό κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς και ψύχει τον ατμό που τους περιβάλλει.

α) Το ψυγείο είναι προφανές ότι δεν παράγει έργο, W = 0. Επίσης, η εκφώνηση του προβλήματος δεν μας λέει τίποτε για δυναμική και κινητική ενέργεια. Τις παραλείπουμε λοιπόν, αφού έτσι κι αλλιώς είναι αμελητέες ποσότητες. Οπότε η εξίσωση (4.15) γίνεται:

$$\dot{Q}+\dot{m}_a\,h_i=\dot{m}_a\,h_0$$

όπου: $\dot{m}_a$ η μάζα του ατμού σε kg/s.

Λύνουμε την εξίσωση (1) ως προς $\dot{Q}$:

$$\dot{Q}=\dot{m}_a\,(h_0-h_i)$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (20β/24)

$\dot{Q} = \dot{m}_a (h_0 - h_i)$

$\dot{m}$= 34100 kg/h
h_i= 2565 kJ/kg
h_0= 160 kJ/kg

$$\dot{Q} = \frac{34.100}{3600} \times (160 - 2565) = -22.781 \text{ kJ/s} \quad \text{ή} \quad -22.781 \text{ kW}$$

Το αρνητικό σημείο στο αποτέλεσμα μας δείχνει ότι η ποσότητα της θερμότητας 22.781 kW αφαιρέθηκε από τον ατμό. Αλλά και η φυσική έννοια του ψυγείου είναι η αφαίρεση θερμότητας, ώστε ο ατμός να γίνει νερό.

β) Στο ερώτημα αυτό δεν εφαρμόζεται η εξίσωση (4.15). Αφού όμως για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας 1 kg του θαλασσινού νερού κατά 1°C απορροφάται από τον ατμό θερμότητα 4,19 kJ, τότε βέβαια για άνοδο της θερμοκρασίας κατά 24 – 13 = 11°C η θερμότητα που απορροφάται από το 1 kg θαλασσινού νερού είναι:

$$q = 11 \times 4{,}19 = 46{,}09 \text{ kJ/kg}$$

Αλλά για να απορροφήσει το νερό αυτό τη θερμότητα των 22.781 kJ/s που βρήκαμε προηγουμένως, θα πρέπει να κυκλοφορεί θαλασσινό νερό μάζας $\dot{m}_\theta$:

$$\dot{m}_\theta = \frac{\dot{Q}}{q} = \frac{22.781}{46{,}09} = 494.27 \text{ kg/s}$$

ΟΧΙ σταθερή ροή

4.19kJ/kg/°C

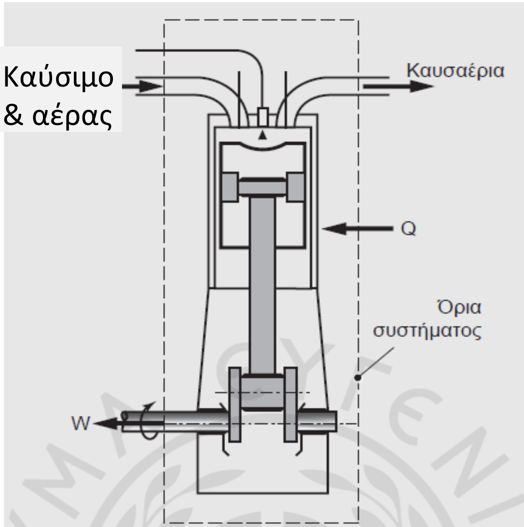
Για σταθερή ροή μάζας $\dot{m}_i = \dot{m}_0 = m$

$$\dot{Q} + \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_i = \dot{m}\left(h + \frac{v^2}{2} + gz\right)_0 + \dot{W}$$

$1^{ος}$ Θερμοδυναμικός νόμος (21/24)

Παράδειγμα 4

Η βενζινομηχανή ενός μηχανήματος (σχ. 4.9) επάνω σε ένα πλοίο έχει ισχύ 50 kW. Στον θάλαμο καύσης εισέρχονται 15 kg/h καύσιμο και 215 kg/h αέρας. Το νερό που ψύχει τη μηχανή απορροφά θερμότητα 42 kJ/s, ενώ λόγω ακτινοβολίας έχουμε απώλεια θερμότητας 15 kJ/s προς το περιβάλλον. Ζητείται να προσδιοριστεί η μεταβολή της ενθαλπίας ανά μονάδα μάζας του μείγματος αέρα-καυσίμου καθώς περνά μέσα από τη μηχανή, αν η κινητική και δυναμική ενέργεια είναι αμελητέες.



Σχ. 4.9
Βενζινομηχανή

Λύση

σύστημα είναι ανοικτό →

$$\dot{Q}+\dot{m}\left(h+\cancelto{\emptyset}{\frac{v^2}{2}}+\cancelto{\emptyset}{gz}\right)_i=\dot{m}\left(h+\cancelto{\emptyset}{\frac{v^2}{2}}+\cancelto{\emptyset}{gz}\right)_0+\dot{W}$$

$$\dot{Q}=q=\frac{Q}{t}$$

$$\dot{W}=Wm=\frac{W}{t}=P(\iota\sigma\chi\acute{\upsilon}\varsigma)$$

$q + h_i = h_0 + W_m$ → $\Delta h=h_0-h_i=q-W_m$

Η μάζα του μείγματος είναι: $\dot{m} = \dot{m}_a + \dot{m}_\kappa = \dfrac{215+15}{3600} = 63{,}9 \times 10^{-3}$ kg/s

Το έργο ανά μονάδα μάζας είναι:

$$W_m=\frac{\dot{W}}{\dot{m}}=\frac{50}{63{,}9\times10^{-3}}=782\ \text{kJ/kg}$$

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας του συστήματος είναι:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_a = -(42+15) = -57\ \text{kJ/s}$$

Το αρνητικό σημείο δείχνει ότι η θερμότητα αποβάλλεται από το σύστημα.

Οι απώλειες ανά μονάδα μάζας: $q=\dfrac{\dot{Q}}{\dot{m}}=\dfrac{-57}{63{,}9\times10^{-3}}=-892\ \text{kJ/kg}$

Η μεταβολή της ενθαλπίας είναι $\Delta h = h_0 - h_i$, οπότε η εξίσωση (1) γίνεται:

$$\Delta h = q - W_m = -892 - 782 = \boxed{-1674\ \text{kJ/kg}}$$

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι η ενθαλπία του μείγματος μειώθηκε κατά την αλλαγή του σε προϊόντα καύσης (καυσαέρια), όπως φαίνεται από το αρνητικό σημείο.

Νερό απορροφά Q→ Μηχανή χάνει Q (Σ→Π)

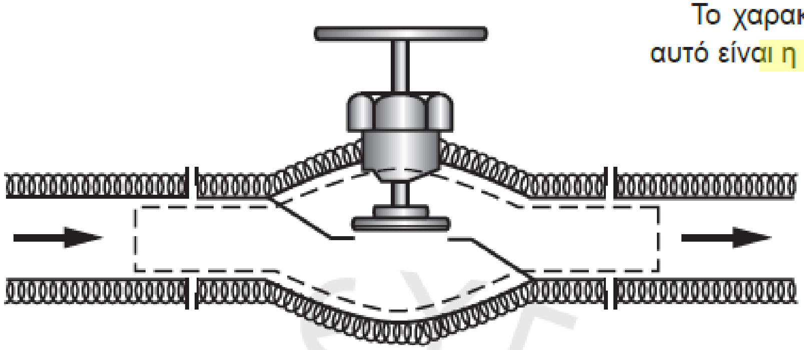
1ος Θερμοδυναμικός νόμος (22/24)

Στραγγαλισμός

ανοικτό σύστημα

σωλήνας ενός δικτύου, ο οποίος φέρει μία βαλβίδα (σχ. 4.10). Στη ροή ενός υγρού ή αερίου μέσω ενός τέτοιου συστήματος, όπου όμως η βαλβίδα είναι σχεδόν κλειστή, παρουσιάζεται το φαινόμενο του ***στραγγαλισμού.***

Το χαρακτηριστικό στοιχείο που μπορούμε να παρατηρήσουμε στο φαινόμενο αυτό είναι η πτώση της πίεσης του υγρού καθώς περνά μέσα από τη βαλβίδα.



Σχ. 4.10
Στραγγαλισμός: μία μερικώς ανοιγμένη βαλβίδα δικτύου

Στη διεργασία του στραγγαλισμού θεωρούμε ότι στο σύστημα δεν δίνεται ούτε αφαιρείται θερμότητα. Ακόμα είναι προφανές ότι δεν έχουμε παραγωγή μηχανικού έργου. Έτσι, ο πρώτος νόμος για ένα ανοικτό σύστημα γίνεται:

$$0 = h_2 + \frac{v_2^2}{2} - h_1 - \frac{v_1^2}{2} \tag{4.16}$$

όπου η δυναμική ενέργεια θεωρήθηκε αμελητέα.

Συχνά οι ταχύτητες μέσα στους σωλήνες των δικτύων είναι τόσο μικρές, που η κινητική ενέργεια είναι επίσης αμελητέα. Τότε η εξίσωση (4.16) γράφεται ως:

$$h_1 = h_2 \tag{4.17}$$

που σημαίνει ότι η ενθαλπία του υγρού παραμένει η ίδια.

Ως στραγγαλισμό μπορούμε επίσης να θεωρήσουμε τη ροή ενός υγρού η αερίου μέσα σε έναν σωλήνα, έστω και χωρίς στενή δίοδο, όπου έχουμε πτώση της πίεσης λόγω των τριβών.

Όμως στην περίπτωση αυτή δεν πρέπει να αγνοήσουμε την αλλαγή της κινητικής ενέργειας, γιατί η μειωμένη πίεση προκαλεί αύξηση του ειδικού όγκου του υγρού. Η αύξηση αυτή μπορεί να είναι τόσο μεγάλη, ιδίως στον ατμό και τα αέρια, ώστε το υγρό να ρέει με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα.

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (23/24)

$d = 60mm = 60.10^{-3}$ m
$p_1 = 20bar$
$p_2 = 2bar$
$h_1 = 2770$ kJ/kg
$\dot{m} = 0.03 kg/s$

$\upsilon_1 = 0.0980\ m^3/kg$
$\upsilon_2 = 0.9602\ m^3/kg$
v_1 ?, v_2 ?

Παράδειγμα

Μία βαλβίδα τοποθετείται σε έναν σωλήνα διαμέτρου 60 mm, όπου βαλβίδα και σωλήνας είναι καλά μονωμένα. Η βαλβίδα, που είναι σχεδόν κλειστή, στραγγαλίζει τον ατμό από πίεση 20 bar πριν από τη βαλβίδα σε 2 bar μετά από αυτή. Η ενθαλπία του ατμού πριν από τη βαλβίδα είναι 2770 kJ/kg και η παροχή του ατμού 0,03 kg/s. Ζητείται: α) η ενθαλπία του ατμού μετά τη βαλβίδα, αν η κινητική ενέργεια είναι αμελητέα και β) η ταχύτητα του ατμού πριν και μετά από τη βαλβίδα, αν ο ειδικός όγκος του ατμού είναι 0,0980 m³/kg και 0,9602 m³/kg αντίστοιχα.

$h_1 = h_2$

Λύση

α) Αφού η κινητική ενέργεια είναι αμελητέα, τότε η ενθαλπία παραμένει η ίδια. Άρα η ενθαλπία του ατμού μετά τη βαλβίδα είναι 2770 kJ/kg.

β) Η ταχύτητα του ατμού υπολογίζεται από την εξίσωση (4.4), οπότε:

$$v_1 = \frac{\dot{m} \cdot \upsilon}{A}$$

$$\dot{m} = \frac{A_1 v_1}{\upsilon_1} = \frac{A_2 v_2}{\upsilon_2} \qquad (4.3)$$

$$\dot{m} = \frac{Av}{\upsilon} \qquad (4.4)$$

όπου: $A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 0{,}060^2}{4} = 0{,}00283\ m^2$

Άρα: $v_1 = \frac{0{,}03 \times 0{,}0980}{0{,}00283} = \boxed{1{,}04\ m/s}$

$$v_2 = \frac{0{,}03 \times 0{,}09602}{0{,}00283} = \boxed{10{,}18\ m/s}$$

1ος Θερμοδυναμικός νόμος (24/24)

Παρατήρηση

Με τα προηγούμενα παραδείγματα δείξαμε τον τρόπο εφαρμογής του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου σε ανοικτά συστήματα. Δώσαμε μία σχηματική παράσταση του φυσικού συστήματος και καθορίσαμε την κατεύθυνση της θερμότητας και του έργου, σύμφωνα με τους ορισμούς του θετικού και αρνητικού σημείου, που είπαμε στο κείμενο. Και τα δύο αυτά συστήματα, κλειστά και ανοικτά, αν και διαφορετικά, τα αντιμετωπίσαμε με την ίδια μεθοδολογία. Συνοπτικά η μέθοδος επίλυσης τέτοιων προβλημάτων έχει τα εξής διαδοχικά βήματα:

α) Σχηματίζουμε παραστατικά το φυσικό σύστημα.

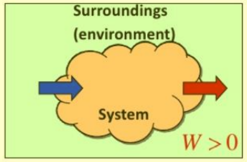
β) Καθορίζουμε αν πρόκειται για κλειστό ή ανοικτό σύστημα.

γ) Σημειώνουμε στο σχήμα την ***κατεύθυνση*** του έργου και της θερμότητας.

δ) Γράφουμε με σύμβολα την εξίσωση του Πρώτου Νόμου της Θερμοδυναμικής και αντικαθιστούμε τα σύμβολα με αριθμούς, αφού βεβαιωθούμε ότι όλοι οι όροι της εξίσωσης έχουν τις ίδιες μονάδες.

ε) Λύνουμε την εξίσωση ως προς τον άγνωστο όρο.

Q = positive value
W = positive value



Q = negative value
W = negative value