

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Μορφές ενέργειας: κινητική + δυναμική = μηχανική
θερμική
ηλεκτρική
μαγνητική
χημική
πυρηνική

Ολική ενέργεια, E

Ειδική ολική ενέργεια ενός συστήματος ανά μονάδα μάζας (ειδικό μέγεθος): $e = E/m$

Στη Θερμοδυναμική:

$$E = U + KE + PE = U + \frac{m\vec{V}^2}{2} + mgz \quad (\text{J})$$

ολική ενέργεια ανά μονάδα μάζας, e:

$$e = u + ke + pe = u + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz \quad (\text{J/kg})$$

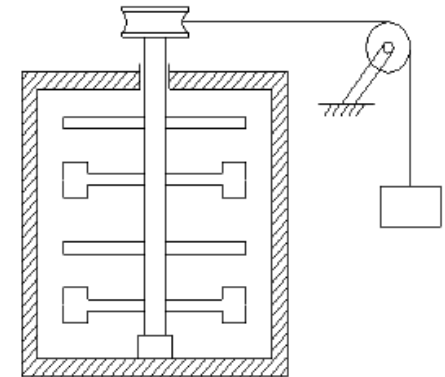
Γενικά: $u = u(T)$

Για **ιδανικά αέρια**: $u = c_v \cdot T$

όπου c_v είναι ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο

Πειράματα *Joule*:

διερεύνηση της φύσης της θερμότητας και του έργου



- απαιτούνταν κάθε φορά ένα συγκεκριμένο ποσό έργου ανά μονάδα μάζας νερού για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω της ανάδευσης) κατά ένα βαθμό
- το νερό θα μπορούσε να αποκτήσει ξανά την αρχική του θερμοκρασία, αν ερχόταν σε επαφή με ένα πιο ψυχρό σώμα.

Συμπέρασμα: Υπάρχει μια ποσοτική σχέση ανάμεσα στο έργο και τη θερμότητα και για το λόγο αυτό η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας.

Θερμότητα που αποθηκεύεται = Εσωτερική ενέργεια μιας ουσίας :

- δεν περιλαμβάνει την ενέργεια που μπορεί να προέρχεται από τη μακροσκοπική θέση της ή την κίνηση της, αλλά
- αναφέρεται στην ενέργεια των μορίων που αποτελούν την ουσία και τα οποία βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, κατέχοντας κινητική ενέργεια λόγω μετακίνησης, (μικροσκοπική ενέργεια)

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Η **θερμότητα** που προσδίδεται ή αφαιρείται από ένα σύστημα δίνεται από την **εξίσωση της θερμιδομετρίας**:

$$Q = n \cdot C \cdot \Delta T$$

n αριθμός *moles* του συστήματος,

C η **γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα** ή **γραμμομοριακή θερμότητα** (*molar heat capacity*)

μονάδες: J/(mol.K).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

m η **μάζα** του συστήματος

$c = C/M_B$ η **ειδική θερμοχωρητικότητα** ή **ειδική θερμότητα** (*specific heat capacity*)

μονάδες: J/(kg.K).

Η θερμότητα ανά μονάδα μάζας (ειδική θερμότητα) δίνεται από την σχέση:

$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{J/kg})$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Τρόποι Μετάδοσης της θερμότητας:

Αγωγή (*conduction*): Επαφή

$$\text{Νόμος Fourier: } \dot{Q}_{\text{cond}} = -k_t \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

όπου η σταθερά αναλογίας k_t παριστάνει τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και αποτελεί μέτρο της ικανότητας του υλικού να άγει τη θερμότητα.

Συναγωγή (*convection*) : Σχετική κίνηση και επαφή

$$\text{Νόμο ψύξης του Newton: } \dot{Q}_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad (\text{W})$$

όπου

h , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή,

A , το εμβαδόν της επιφάνειας διαμέσου της οποίας γίνεται η μεταφορά θερμότητας,

T_s η θερμοκρασία της επιφάνειας,

T_f η θερμοκρασία της κύριας μάζας του ρευστού.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Με ακτινοβολία (*radiation*)

Νόμος των Stefan-Boltzmann: $\dot{Q}_{\text{emit,max}} = \sigma \cdot A \cdot T_s^4$ (W)

T_s η απόλυτη θερμοκρασία επιφάνειας,

A το εμβαδόν της επιφανείας σ

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ η σταθερά *Stefan-Boltzmann*.

Η ιδανική επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με το μέγιστο αυτό ρυθμό ονομάζεται μαύρο (**μέλαν**) σώμα και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα τέτοιο σώμα ονομάζεται ακτινοβολία του μέλανος σώματος.

Πραγματική επιφάνεια (σώμα):

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad (\text{W})$$

όπου ο συντελεστής ε (0-1) ονομάζεται ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας.

Για το μέλαν σώμα $\varepsilon = 1$.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Έργο (μορφή ενέργειας): η ενέργεια που διασχίζει τα όρια ενός κλειστού συστήματος και δεν είναι θερμότητα είναι έργο

$$W_{12} \text{ ή απλώς } W \quad (\text{J})$$

Το έργο ανά μονάδα μάζας ή ειδικό έργο $w = \frac{W}{m}$ (J/kg)

Το έργο που παράγεται ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται **ισχύς** και συμβολίζεται με

$$\dot{W} \quad (\text{J/s}) \text{ ή (Watt)}$$

δQ και δW αντίστοιχα και όχι dQ ή dW γιατί η τιμή τους εξαρτάται από την διαδρομή
Επομένως:

$$\int_1^2 \delta W = W_{12} \quad (\text{όχι } \Delta W)$$

Έργο μετακίνησης οριακών επιφανειών (**έργο ογκομεταβολής**):

$$W_b = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

Προϋπόθεση: να είναι γνωστή η $P = f(V)$. Δηλαδή η εξίσωση της διαδρομής που ακολουθεί η διεργασία στο διάγραμμα P-V.

Έργο μετακίνησης οριακών επιφανειών (**έργο ογκομεταβολής**):

Κλειστά συστήματα:
$$W_b = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

Προϋπόθεση: να είναι γνωστή η $P = f(V)$. Δηλαδή η εξίσωση της διαδρομής που ακολουθεί η διεργασία στο διάγραμμα P-V.

Τεχνικό έργο ατράκτου (μηχανισμού):

Ανοικτά συστήματα:
$$w_{12}^t = - \int_1^2 v dP \quad (\text{J})$$

Έργο βαρύτητας

το έργο για την ανύψωση ενός σώματος από το επίπεδο z_1 στο επίπεδο z_2 :

$$W_g = \int_1^2 F dz = m \cdot g \int_1^2 dz = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \quad (\text{J})$$

όπου $z_2 - z_1$ είναι η κατακόρυφη απόσταση που διανύθηκε.

Το βαρυτικό έργο εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση δηλ. την διαφορά της δυναμικής ενέργειας και είναι ανεξάρτητο από τη διαδρομή

Έργο επιτάχυνσης

$$W_a = \int_1^2 F ds = \int_1^2 \left(m \frac{d\vec{V}}{dt} \right) (V dt) = m \cdot \int_1^2 \vec{V} d\vec{V} = \frac{1}{2} m \cdot (\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2) \quad (\text{J})$$

Το έργο που απαιτείται για την επιτάχυνση ενός σώματος είναι ανεξάρτητο από τη διαδρομή που ακολουθείται και ισούται με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του σώματος

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

1^{ος} νόμος της θερμοδυναμικής, ή 1^ο θερμοδυναμικό αξίωμα (**Ι.Θ.Α.**) ή **αρχή διατήρησης της ενέργειας**: η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να παραχθεί ούτε να καταστραφεί, αλλά μόνο να αλλάξει μορφή.

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out})$$

Μεταβολή της ολικής ενέργειας ενός συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας (όταν δεν υπάρχουν ηλεκτρικά, μαγνητικά φαινόμενα και φαινόμενα επιφανειακής τάσης δηλαδή για απλά, συμπιεστά συστήματα:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

όπου $\Delta U = m \cdot (u_2 - u_1)$, $\Delta KE = \frac{1}{2} m \cdot (\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2)$ και $\Delta PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$

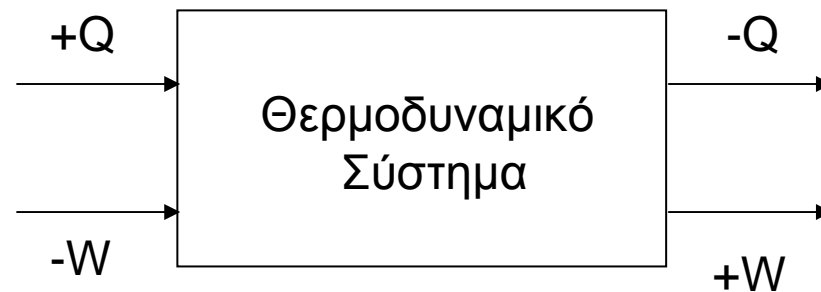
Για **στατικά** συστήματα (δεν περιλαμβάνουν αλλαγές ταχύτητας ή υψομετρικής διαφοράς, δηλαδή $\Delta KE = \Delta PE = 0$) προκύπτει:

$$\Delta E = \Delta U$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

για κλειστά συστήματα :

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12} \Rightarrow Q_{12} = \Delta U + W_{12}$$



Τα μεγέθη Q_{12} και W_{12} , **θα πρέπει να αναγράφονται με τα πρόσημά τους**

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ενέργεια πίεσης» (*pressure potential energy*, ppe) ή «**ενέργεια ροής»** (*flow-work*) :

$$\text{ppe} \propto P$$

Αποδεικνύεται πως η σταθερά αναλογίας είναι ο ειδικός όγκος v και έτσι:

$$\text{ppe} = P \cdot v = \frac{P}{\rho}$$

Για τα ιδανικά αέρια :

$$\text{ppe} = R \cdot T$$

Το **έργο ογκομεταβολής** σχετίζεται άμεσα με τη μεταβολή του όγκου, δηλαδή της μετακίνησης των οριακών επιφανειών όπως το έργο εκτόνωσης και συμπίεσης, ενώ το **τεχνικό έργο** με τη μεταβολή της πίεσης

$$w_{12}^t = - \int_1^2 v dP$$

όπου το μείον στην παραπάνω σχέση έχει να κάνει με τη σύμβαση ότι όταν το σύστημα (ρευστό) παράγει έργο όπως για παράδειγμα κατά την εκτόνωση, πρέπει το έργο να είναι θετικό

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Η **ενθαλπία** ορίζεται σαν η «**ολική θερμοδυναμική ενέργεια**» (*total thermodynamic energy, tte*), δηλαδή το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας και της ενέργειας πίεσης άρα είναι καταστατικό μέγεθος.

Η ενθαλπία (*enthalpy, H*), ορίζεται από τη σχέση: $H = U + P \cdot v$

ή ανά μονάδα μάζας : $h = tte = u + P \cdot v$

$$\begin{array}{l} P \cdot v = R \cdot T \\ h = u + P \cdot v \end{array} \quad \left| \quad \Rightarrow \quad h = u + R \cdot T \right.$$

$u \propto T \Rightarrow$ (ιδανικό αέριο) $u = u(T) \quad \left| \quad \Rightarrow \quad h = h(T) \right.$

Ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο:

$$c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$$

εκφράζει την ικανότητα της μονάδας της μάζας του αερίου να απορροφά ενέργεια υπό σταθερό όγκο

Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση: $c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad [\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$

ικανότητα της μονάδας της μάζας του αερίου να απορροφά ενέργεια υπό σταθερή πίεση

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Οι u και h για τα **ιδανικά αέρια** εξαρτώνται μόνο από τη θερμοκρασία, άρα και οι **ειδικές θερμότητες** c_v και c_p θα εξαρτώνται επίσης από τη θερμοκρασία. Επομένως:

$$\begin{aligned} \Delta u = u_2 - u_1 &= \int_1^2 c_v(T) dT \\ \Delta h = h_2 - h_1 &= \int_1^2 c_p(T) dT \\ h = u + R \cdot T &\Rightarrow dh = du + R \cdot dT \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} \Rightarrow c_p &= c_v + R \\ \gamma &= \frac{c_p}{c_v} \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{aligned} c_p &= \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \\ c_v &= \frac{R}{\gamma - 1} \end{aligned} \right.$$

Όμοια, για τις **γραμμομοριακές θερμοχωρητικότητες** $C = c \text{ MB}$ (kJ/(kmol·K))

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ασυμπίεστη ουσία: η ουσία της οποίας ο ειδικός όγκος (ή η πυκνότητα) δε μεταβάλλεται. (υγρά και στερεά).

Συνέπεια: Η παραδοχή του σταθερού όγκου έχει την έννοια ότι η ενέργεια που συνδέεται με τη μεταβολή του όγκου, όπως το έργο ογκομεταβολής, είναι αμελητέα συγκρινόμενη με τις άλλες μορφές ενέργειας.

Ισχύει:

$$c_v = c_p = c$$

Οι ειδικές θερμότητες των ασυμπίεστων ουσιών (στερεά ή υγρά), όπως και αυτές των ιδανικών αερίων, εξαρτώνται μόνο από τη θερμοκρασία. Συνεπώς:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT = \int_1^2 c(T) dT$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

$$\Delta u = c_{av}(T_2 - T_1)$$

$$h = u + P \cdot v \Rightarrow dh = du + v \cdot dP + P dv \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow dh = du + v \cdot dP \\ \text{για ασυμπίεστες ουσίες } dv=0 \end{array} \right.$$

Για τα **στερεά** ισχύει $v \cdot dP \approx 0$, οπότε από προκύπτει:

$$dh = du \Rightarrow \text{ολοκλήρωση} \Rightarrow \Delta h = c_{av}(T_2 - T_1)$$

Για τα **υγρά** διακρίνουμε συνήθως δύο ειδικές περιπτώσεις:

Θερμαντήρες: διεργασίες σταθερής πίεσης ($dP = 0$): $\Delta h = \Delta u = c_{av}(T_2 - T_1)$

Αντλίες θερμότητας: διεργασίες σταθερής θερμοκρασίας ($\Delta T = 0$): $\Delta h = v \Delta P$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Κλειστά συστήματα: Η μάζα διατηρείται (εξ' ορισμού)

Ανοικτά συστήματα: η συνολική μάζα που μεταφέρεται προς ή από ένα σύστημα κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας είναι ίση με τη συνολική μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της ολικής μάζας του συστήματος κατά τη διεργασία αυτή:

Με την παραδοχή της μονοδιάστατης ροής η **αρχή διατήρησης της μάζας** γράφεται:

$$\dot{m} = \text{σταθερή}$$

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot \vec{V} = \text{σταθ}$$

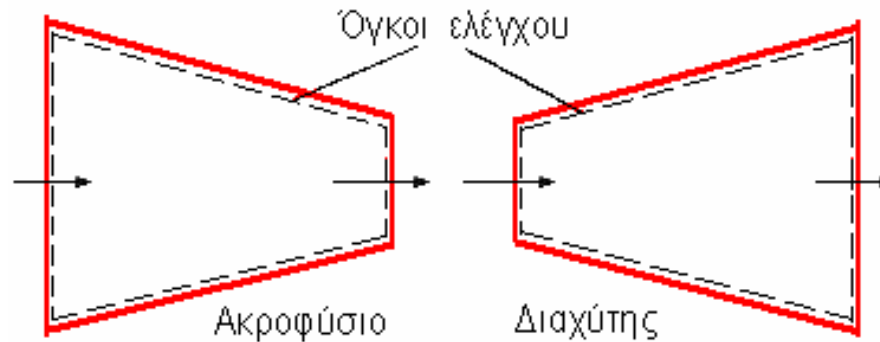
όπου \dot{m} είναι η παροχή μάζας, ρ είναι η πυκνότητα και \vec{V} είναι η μέση ταχύτητα του ρευστού κάθετα στη διατομή εμβαδού A .

Επομένως, **μόνιμη** (ή **σταθεροποιημένη**) **ροή** ονομάζεται η ροή της οποίας η παροχή μάζας παραμένει σταθερή: $\dot{m} = \text{σταθερή}$

Στη μόνιμη ροή τα καταστατικά μεγέθη παραμένουν χρονικά σταθερά, δηλαδή ανεξάρτητα από τη μεταβολή του χρόνου.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ανοικτά συστήματα (όγκοι ελέγχου)



γενική εξίσωση διατήρησης της ενέργειας:

$$\Delta E = Q_{12} + W_{12} + \Delta KE + \Delta PE + (E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}})$$

$$Q_{12} \cong 0 \quad W_{12} = 0 \quad \Delta KE \neq 0 \quad \Delta PE = 0 \quad (E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}}) = 0$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ολική θερμοδυναμική ενέργεια ενός ρέοντος ρευστού (*total thermodynamic energy, tte*):

$$\begin{array}{l} tte = u + ke + pe + P \cdot v \quad (\text{J/kg}) \\ h = u + P \cdot v \end{array} \quad \left| \quad \Rightarrow \quad tte = h + \frac{\vec{V}^2}{2} + g \cdot z$$

$$\begin{array}{l} h = u + P \cdot v \\ ppe = R \cdot T = P \cdot v \\ u = c_v T \end{array} \quad \left| \quad \Rightarrow \quad \begin{array}{l} h = c_v T + R \cdot T \\ c_p = c_v + R \end{array} \quad \left| \quad \Rightarrow \quad h = c_p T = tte$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Η ολική ενέργεια που περιέχεται σ' ένα όγκου ελέγχου κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας σταθεροποιημένης (μόνιμης) ροής παραμένει σταθερή ($E = \text{σταθερό}$):

$$\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \sum \dot{m}_{\text{in}} \left(h_{\text{in}} + \frac{\vec{V}_{\text{in}}^2}{2} + gz_{\text{in}} \right) = \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \sum \dot{m}_{\text{out}} \left(h_{\text{out}} + \frac{\vec{V}_{\text{out}}^2}{2} + gz_{\text{out}} \right)$$

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας για συστήματα μιας εισόδου, μιας εξόδου και σταθεροποιημένης ροής παίρνει τη μορφή:

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος (αξίωμα) για ανοικτά συστήματα μόνιμης ροής ανά μονάδα μάζας:

$$q - w = \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ισόθερμη μεταβολή

Ο 1ος θερμοδυναμικός νόμος για **κλειστά συστήματα** : $Q_{12} = \Delta U + W_{12}$ | $\Rightarrow Q_{12} = W_{12}$

Στην ισόθερμη ισχύει $T = \text{σταθ.} \Rightarrow \Delta U = 0$ |

$$\text{Ορισμός: } W_{12} = W_b = \int_1^2 P dV \quad \text{Άρα } Q_{12} = W_{12} = nR_u T \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Το Ι.Θ.Α. για **ανοικτά συστήματα** και με χρήση ειδικών μεγεθών:

$$q_{12} - w_{12} = \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right] \quad \Bigg| \quad \Rightarrow$$

$$\text{Υποθέτοντας } \vec{V}_1 = \vec{V}_2 \quad \text{και } z_1 = z_2 \quad \Bigg|$$

$$\Rightarrow q_{12} - w_{12} = h_2 - h_1 \quad \Bigg| \quad \Rightarrow q_{12} = w_{12}$$

Στην ισόθερμη ισχύει $T = \text{σταθερό} \Rightarrow \Delta h = 0$ |

Ισοβαρής μεταβολή

Το Ι.Θ.Α. για **κλειστά συστήματα**: $Q_{12} = \Delta U + W_{12}$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $\Delta U = nC_v(T_2 - T_1)$

Το έργο είναι ουσιαστικά το έργο ογκομεταβολής και δίνεται από τη σχέση:

$$(W_{12} = W_b = \int_1^2 P dV \quad \Bigg| \quad \Rightarrow W_{12} = P(V_2 - V_1)$$

$$P_1 = P_2 = P$$

Επομένως το Ι.Θ.Α. γράφεται: $Q_{12} = \Delta U + P(V_2 - V_1) \Rightarrow Q_{12} = H_2 - H_1 \Rightarrow Q_{12} = nC_p(T_2 - T_1)$

Το Ι.Θ.Α. για **ανοικτά συστήματα** και με χρήση ειδικών μεγεθών: $q_{12} - w_{12} = h_2 - h_1$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $dh = c_p(T_2 - T_1)$

$$\text{Το τεχνικό έργο: } w_{12}^t = - \int_1^2 v dP \quad \Bigg| \quad \Rightarrow w_{12}^t = 0$$

$$P_1 = P_2 = P$$

Επομένως, στα ανοικτά συστήματα εάν δεν υπάρχει ογκομεταβολή (όπως στα συστήματα μόνιμης ροής)

$$q_{12} = c_p(T_2 - T_1)$$

Ισόχωρη μεταβολή

Το Ι.Θ.Α. για **κλειστά συστήματα**: $Q_{12} = \Delta U + W_{12}$

Το έργο είναι ουσιαστικά το έργο ογκομεταβολής και δίνεται από τη σχέση:

$$W_{12} = W_b = \int_1^2 P dV \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow W_{12} = 0 \\ V_1 = V_2 = V = \text{σταθερό} \end{array} \right.$$

Επομένως το Ι.Θ.Α. γράφεται: $Q_{12} = \Delta U \quad \left| \Rightarrow Q_{12} = nC_v(T_2 - T_1) \right.$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $\Delta U = nC_v(T_2 - T_1)$

Το Ι.Θ.Α. για **ανοικτά συστήματα** και με χρήση ειδικών μεγεθών: $q_{12} - w_{12} = h_2 - h_1$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $dh = c_p(T_2 - T_1)$

$$\text{Το τεχνικό έργο} \quad w_{12}^t = - \int_1^2 v dP \quad \left| \begin{array}{l} \Rightarrow w_{12}^t = -v(P_2 - P_1) \\ v_1 = v_2 = v \end{array} \right.$$

$$q_{12} = h_2 - h_1 + w_{12} \Rightarrow q_{12} = h_2 - h_1 - v(P_2 - P_1) \Rightarrow q_{12} = h_2 - vP_2 - (h_1 - vP_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q_{12} = h_2 - vP_2 - (h_1 - vP_1) \quad q_{12} = u_2 - u_1 \Rightarrow q_{12} = c_v(T_2 - T_1)$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Αδιαβατική μεταβολή

Το Ι.Θ.Α. για κλειστά συστήματα: $Q_{12} = \Delta U + W_{12} \quad \left| \begin{array}{l} Q_{12} = 0 \\ \Rightarrow \Delta U = -W_{12} \end{array} \right. \Rightarrow W_{12} = -nc_v \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{nR_u}$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $\Delta U = nC_v(T_2 - T_1)$

$$\begin{array}{l} P_1 \cdot V_1 = nR_u T_1 \\ P_2 \cdot V_2 = nR_u T_2 \end{array} \Rightarrow T_2 - T_1 = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{nR_u} \quad \left| \right. \quad c_v = \frac{-R_u}{\gamma + 1}$$

$\Rightarrow W_{12} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - \gamma}$ Το έργο αυτό είναι ουσιαστικά το έργο ογκομεταβολής

Το Ι.Θ.Α. για ανοικτά συστήματα και με χρήση ειδικών μεγεθών:

Στην αδιαβατική ισχύει: $q_{12} = 0 \quad \left| \begin{array}{l} q_{12} - w_{12} = h_2 - h_1 \\ \Rightarrow h_2 - h_1 = -w_{12} \end{array} \right. \Rightarrow w_{12}^t = -c_p \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{R} \quad \Rightarrow$

$$\begin{array}{l} P_1 \cdot v_1 = RT_1 \\ P_2 \cdot v_2 = RT_2 \end{array} \left| \Rightarrow T_2 - T_1 = \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{R} \quad \left| \right. \quad c_p = \frac{\gamma R}{\gamma - 1} \Rightarrow \frac{c_p}{R} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \right|$$

Γενικά για κάθε μεταβολή ισχύει: $dh = c_p(T_2 - T_1)$

$$\Rightarrow w_{12}^t = \gamma \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1 - \gamma}$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ακροφύσια (nozzles) και διαχύτες (diffusers):

$$q_{12} - w_{12} = \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right] \quad \left| \quad \Rightarrow \quad h_1 + \frac{\vec{V}_1^2}{2} = h_2 + \frac{\vec{V}_2^2}{2} \right.$$

$$q_{12} = 0, w_{12} = 0 \text{ και } z_1 = z_2$$

Ακροφύσια: $\vec{V}_1 < \vec{V}_2 \Rightarrow h_1 > h_2$ Διαχύτες: $\vec{V}_1 > \vec{V}_2 \Rightarrow h_1 < h_2$

Συμπιεστές (compressors) και στρόβιλοι (turbines):

$$\Delta E = Q_{12} + W_{12} + \Delta KE + \Delta PE + (E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}})$$

$$Q_{12} \cong 0$$

$$W_{12} \neq 0$$

$$\Delta KE = 0$$

$$\Delta PE = 0$$

$$(E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}}) = 0$$

$$q_{12} - w_{12} = \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right] \quad \left| \quad \Rightarrow \quad w_{12} = h_2 - h_1 \right.$$

$$q_{12} = 0, \vec{V}_1 = \vec{V}_2 \text{ και } z_1 = z_2$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Βαλβίδες στραγγαλισμού (*throttling valves*):

$$\Delta E = Q_{12} + W_{12} + \Delta KE + \Delta PE + (E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}})$$

$$Q_{12} \cong 0$$

$$W_{12} = 0$$

$$\Delta KE = 0$$

$$\Delta PE = 0$$

$$(E_{\text{mass,in}} - E_{\text{mass,out}}) = 0$$

$$q_{12} - w_{12} = \left[h_2 - h_1 + \frac{\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right] \quad \Bigg| \quad \Rightarrow \quad h_2 = h_1$$

$$q_{12} = 0, w_{12} = 0, \quad \vec{V}_1 = \vec{V}_2 \text{ και } z_1 = z_2$$

Θάλαμοι ανάμιξης (*mixing chamber*):

$$\dot{m}_{\text{ex}} = \dot{m}_{\text{in1}} + \dot{m}_{\text{in2}} + \dot{m}_{\text{in3}} \dots$$

$$Q_{12} \cong 0$$

$$W_{12} = 0$$

$$\Delta KE = 0$$

$$\Delta PE = 0$$

$$dh=0 \Rightarrow h_{\text{ex}} = h_{\text{in1}} + h_{\text{in2}} + h_{\text{in3}} + \dots$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Εναλλάκτες θερμότητας (*heat exchangers*):

$$\dot{m}_{in1} + \dot{m}_{in2} + \dot{m}_{in3} + \dots = \dot{m}_{ex1} + \dot{m}_{ex2} + \dot{m}_{ex3} \dots$$

όπου $\dot{m}_{in1} = \dot{m}_{ex1}$ $\dot{m}_{in2} = \dot{m}_{ex2}$ $\dot{m}_{in3} = \dot{m}_{ex3}$ αφού οι ροές δεν αναμιγνύονται

$Q_{12} \neq 0$ ή $Q_{12} \cong 0$ Εξαρτάται από την επιλογή του όγκου ελέγχου

$$W_{12} = 0 \quad \Delta KE = 0 \quad \Delta PE = 0$$

Σωλήνες και αγωγοί (*tubes και ducts*):

$Q_{12} \neq 0$ ή $Q_{12} \cong 0$ Εξαρτάται από το εάν είναι ή όχι μονωμένοι

$$W_{12} = 0$$

$\Delta KE = 0$ ή $\Delta KE \neq 0$ Εάν, οι αγωγοί ή οι σωλήνες έχουν με μεταβλητή διατομή

$\Delta PE = 0$ ή $\Delta PE \neq 0$ Εάν, υπάρχει υψομετρική διαφορά

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Μη-σταθεροποιημένη ή ασταθής ή μεταβατική ροή, (*unsteady* ή *transient flow*):

Η αρχή διατήρησης της μάζας για όγκο ελέγχου :

$$\sum m_{\text{in}} - \sum m_{\text{out}} = m_2 - m_1$$

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας για μεταβατική ροή:

$$(Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}) - (W_{\text{out}} - W_{\text{in}}) = \sum m_{\text{out}} h_{\text{out}} - \sum m_{\text{in}} h_{\text{in}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)$$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Σύστημα	Έργο ογκομεταβολής	Τεχνικό έργο	Ολικό έργο
Κλειστό	$w_{12}^b = \int_1^2 P dv$	$w_{12}^t = 0$	$w_{12} = w_{12}^b$
Ανοικτό (Μόνιμης ή σταθεροποιημένης ροής)	$w_{12}^b = 0$	$w_{12}^t = -\int_1^2 v dP$	$w_{12} = w_{12}^t$
Ανοικτό (Μεταβατικής ή μη σταθεροποιημένης ροής)	$w_{12}^b = \int_1^2 P dv$	$w_{12}^t = -\int_1^2 v dP$	$w_{12} = w_{12}^b + w_{12}^t$

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Θερμιδομετρία: είναι η μελέτη των ανταλλαγών θερμότητας κατά τη διάρκεια φυσικοχημικών διεργασιών

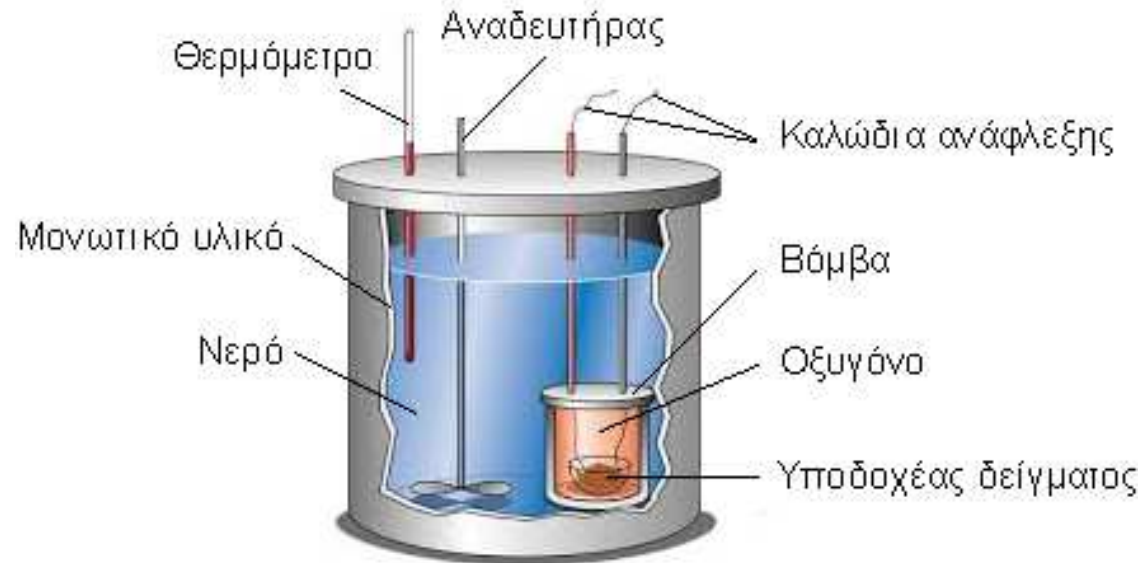
Θερμιδόμετρο: η συσκευή με την οποία γίνεται ο πειραματικός προσδιορισμός της ενέργειας που μεταφέρεται (εκλύεται ή απορροφάται)

Προϋποθέσεις για την επιτυχή θερμιδομετρική μελέτη μιας διεργασίας (συνήθως χημικής αντίδρασης) είναι οι εξής:

- η αντίδραση θα πρέπει να είναι γρήγορη, να δίνει ορισμένα μόνο προϊόντα χωρίς ανεπιθύμητα παραπροϊόντα
- η απόδοσή της να είναι 100%.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Το **θερμιδόμετρο βόμβας** (ή **οβίδας** ή **έκρηξης**) είναι μία συσκευή μέτρησης της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας (ΔU) ορισμένης ποσότητας ουσίας



Θερμόμετρο $\rightarrow \Delta T \rightarrow Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

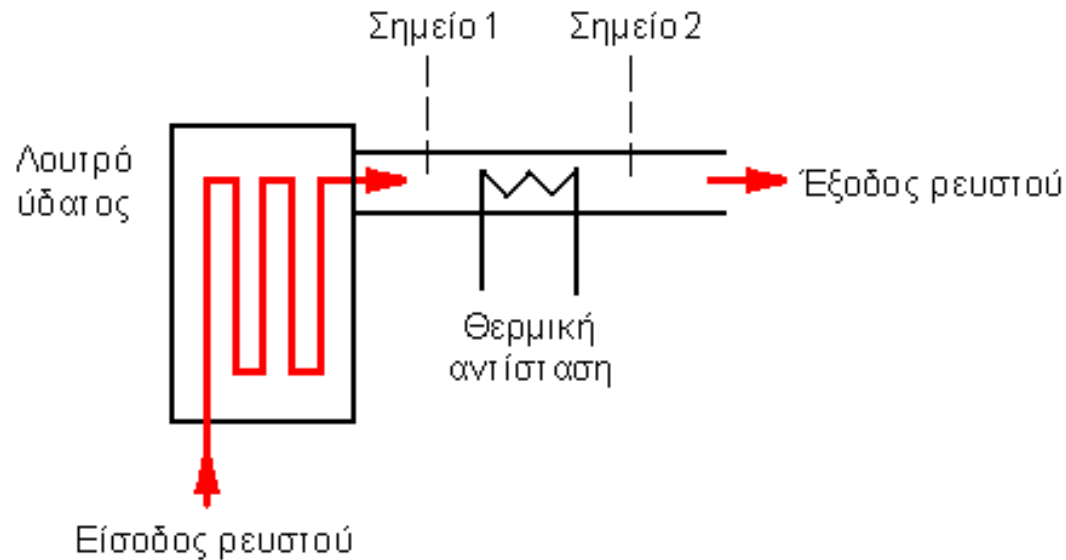
Μηχανική ενέργεια αναδευτήρα $\rightarrow W_{12} \rightarrow$

$$\begin{array}{l} \Delta U = Q_{12} - W_{12} \\ \text{αδιαβατικό} \Rightarrow Q_{12} = 0 \end{array} \quad \left| \Rightarrow \Delta U = -W_{12} \right.$$

Σύγκριση ΔU και Q

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Ισοβαρές θερμιδόμετρο ή θερμιδόμετρο ροής είναι μία συσκευή μέτρησης της μεταβολής της εσωτερικής ενθαλπίας (ΔH) μιας φυσικοχημικής μεταβολής που συμβαίνει υπό σταθερή πίεση



Ηλεκτρική ενέργεια $\rightarrow W_{12} \rightarrow$

$$\Delta H = Q_{12} - W_{12} \quad \Rightarrow \quad \Delta H = H_2 - H_1 = -W_{12}$$

τμήμα 1-2 μονωμένο $\Rightarrow Q_{12} = 0$