

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

#### ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ

##### A. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

###### 1. Εισαγωγή-Τι είναι ενέργεια;

**Ενέργεια** ονομάζουμε το φυσικό μέγεθος του οποίου η ύπαρξη και οι μεταβολές αποτελούν το κοινό χαρακτηριστικό όλων των φαινομένων (φυσικών, χημικών, βιολογικών κ.λ.π.). Δηλαδή σε κάθε φαινόμενο, η ενέργεια μεταμορφώνεται (αλλάζει μορφή) ή μεταβιβάζεται από το ένα σώμα στο άλλο.

###### 2. Είδη ενέργειας

Υπάρχουν διάφορες μορφές ενέργειας, οι οποίες εμφανίζονται στα φυσικά φαινόμενα. Π.χ. κινητική ενέργεια (όταν ένα αυτοκίνητο κινείται), δυναμική ενέργεια (όταν μια χορδή τεντώνεται), αιολική ενέργεια (η ενέργεια του ανέμου), χημική ενέργεια (περιέχεται στις χημικές ενώσεις της μπαταρίας ή του ανθρώπου), ηλεκτρική ενέργεια (όταν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα), φωτεινή ενέργεια (το φως σε έναν λαμπτήρα) κ.λ.π. Όλα αυτά τα είδη ενέργειας όμως μπορούν τελικά να θεωρηθούν ως διαφορετικές μορφές δύο μόνο ειδών ενέργειας:

**1. Της δυναμικής ενέργειας (U)**, που είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της θέσης του (π.χ. ένα ανυψωμένο αντικείμενο) ή λόγω της κατάστασής του (π.χ. μια τεντωμένη χορδή) ή γενικότερα λόγω των δυνάμεων που δέχεται.

**2. Της κινητικής ενέργειας (K)**, που είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα όταν κινείται (π.χ. κινούμενο βέλος)

Επίσης υπάρχει και ένα τρίτο είδος ενέργειας η **θερμότητα (Q)** που είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (από το πιο ζεστό στο πιο κρύο).

Το σύνολο της κινητικής ενέργειας που έχουν τα μόρια ενός υλικού σώματος ονομάζεται **θερμική ενέργεια** και είναι ανάλογη με την απόλυτη θερμοκρασία του, ενώ το σύνολο της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας που έχουν τα μόρια ενός υλικού σώματος ονομάζεται **εσωτερική ενέργεια**. Ένα σώμα έχει εσωτερική ενέργεια αλλά παίρνει ή δίνει θερμότητα. Π.χ. όταν φέρουμε σε επαφή ένα ποτήρι ζεστό νερό με ένα ποτήρι με κρύο νερό, έχουμε ροή θερμότητας από το ζεστό νερό στο κρύο με αποτέλεσμα η εσωτερική ενέργεια του ζεστού νερού να μειωθεί και η εσωτερική ενέργεια του κρύου να αυξηθεί, έως ότου οι θερμοκρασίες τους να εξισωθούν.

**Παραδείγματα μεταβολών ενέργειας σε φυσικά φαινόμενα.:**

###### **1. Όταν ένας τοξοβόλος ρίχνει ένα βέλος:**

Η χημική ενέργεια του τοξοβόλου μετατρέπεται σε δυναμική στην τεντωμένη χορδή, έπειτα σε κινητική του βέλους που εκτοξεύεται και τέλος σε θερμική στα μόρια του αέρα λόγω τριβών, όταν το βέλος καρφωθεί στον στόχο.

**2. Όταν βάζουμε σε έναν φακό μπαταρία και τον ανάβουμε να φωτίσει:**

Η χημική ενέργεια της μπαταρίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια καθώς το ηλεκτρικό κύκλωμα του φακού διαρρέεται από ρεύμα και στην συνέχεια η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε φωτεινή ενέργεια και σε θερμότητα πάνω στην λάμπα.

**3. Όταν με μια μπαταρία θέτουμε σε κίνηση έναν κινητήρα και αυτός ανυψώνει ένα σώμα:**

Η χημική ενέργεια της μπαταρίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, στην συνέχεια σε κινητική ενέργεια στον κινητήρα και τέλος σε δυναμική ενέργεια στο σώμα που ανυψώνεται.

**3. Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας**

Σε όλα τα φαινόμενα η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή, καθώς η ενέργεια δεν καταστρέφεται ούτε δημιουργείται, παρά μόνο μεταμορφώνεται από μια μορφή σε μια άλλη ή μεταβιβάζεται από ένα σώμα σε ένα άλλο.

**4. Μονάδες μέτρησης**

Στο S.I. μονάδα μέτρησης της ενέργειας είναι το 1 Joule (J), ενώ η θερμότητα παρόλο που είναι ενέργεια για ιστορικούς λόγους μετριέται και σε θερμίδες (cal). Προφανώς:

$$1 \text{ kJ}=1000 \text{ J} \quad \text{και} \quad 1 \text{ kcal}=1000 \text{ cal}$$

ενώ η σχέση που συνδέει Joule και cal είναι:

$$1 \text{ cal}=4,184 \text{ J}$$

**5. Η ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΥΛΗΣ ΚΑΙ Η ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ**

Οι μαθητές συχνά συγχέουν τις έννοιες **θερμοκρασία** και **θερμότητα**.

**Θερμότητα (Q)** είναι η ενέργεια που μεταβιβάζεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω διαφοράς θερμοκρασίας (από το πιο ζεστό στο πιο κρύο).

**Απόλυτη Θερμοκρασία (T)** αντίθετα είναι ένα φυσικό μέγεθος που έχει κατασκευαστεί για να μπορούμε με αντικειμενικό και όχι υποκειμενικό τρόπο να αποφανθούμε μεταξύ δύο σωμάτων πιο είναι το πιο ζεστό. Η απόλυτη θερμοκρασία συνδέεται με την ταχύτητα (ή καλύτερα την κινητική ενέργεια) με την οποία οι δομικοί λίθοι ενός σώματος κινούνται. Δηλαδή σε ένα σώμα, στερεό, υγρό ή αέριο, όσο πιο γρήγορα κινούνται τα μόριά του, τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασία αυτό έχει. Αντίστοιχα αν π.χ. η θερμοκρασία ενός αερίου A είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ενός αερίου B, είναι απολύτως βέβαιο ότι τα μόρια του πρώτου αερίου κινούνται πιο γρήγορα, δηλαδή έχουν μεγαλύτερες κινητικές ενέργειες κατά μέσο όρο.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την σύνδεση θερμοκρασίας και κινητικής ενέργειας των δομικών λίθων και την αναλογία που υπάρχει μεταξύ τους, καθώς και το ότι **θερμοκρασία και θερμότητα είναι δύο τελείως διαφορετικές φυσικές ποσότητες.**

**Αραιά μονοατομικά αέρια:**

Ειδικά στα αραιά μονοατομικά αέρια ισχύει η σχέση:

$$\bar{K} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

όπου:  $\bar{K}$  είναι η μέση κινητική ενέργεια των μορίων λόγω μεταφορικής κίνησης,

T η απόλυτη θερμοκρασία και

$k=1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K η σταθερά Boltzmann.

Δηλαδή στα αραιά αέρια η μέση κινητική ενέργεια και η απόλυτη θερμοκρασία είναι μεγέθη ανάλογα. Αντίστοιχες σχέσεις ισχύουν και για σώματα στις υπόλοιπες καταστάσεις της ύλης.

Το σύνολο της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας που έχουν οι δομικοί λίθοι ενός υλικού σώματος ονομάζεται **εσωτερική ενέργεια**, ενώ ειδικά το σύνολο των κινητικών ενεργειών των μορίων λόγω μεταφορικής κίνησης ονομάζεται **θερμική ενέργεια**. Δηλαδή εσωτερική ενέργεια είναι το άθροισμα της θερμικής ενέργειας και του συνόλου της δυναμικής.

Ειδικά στα αραιά μονοατομικά αέρια, όπου οι αποστάσεις μεταξύ των μορίων είναι μεγάλες σε συνθήκες μακριά από τις συνθήκες υγροποίησης τους, η δυναμική ενέργεια των μορίων είναι αμελητέα και επομένως η **εσωτερική ενέργεια** του αερίου είναι ίση με την **θερμική ενέργεια** δηλαδή την ολική κινητική ενέργεια των μορίων λόγω μεταφορικής κίνησης. Έτσι θα έχουμε:

$$U = N \cdot \bar{K} = \frac{3}{2} \cdot N \cdot k \cdot T$$

όπου U η εσωτερική ενέργεια του αερίου.

Επομένως **θέρμανση** ενός σώματος είναι η αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.

Να σημειώσουμε ότι ένα σώμα έχει εσωτερική ενέργεια αλλά παίρνει ή δίνει **θερμότητα**. Π.χ. όταν φέρουμε σε επαφή ένα ποτήρι ζεστό νερό με ένα ποτήρι με κρύο νερό, έχουμε ροή θερμότητας από το ζεστό νερό στο κρύο με αποτέλεσμα η εσωτερική ενέργεια του ζεστού νερού να μειωθεί και η εσωτερική ενέργεια του κρύου να αυξηθεί, έως ότου οι θερμοκρασίες τους να εξισωθούν.

Τα σώματα επικοινωνούν ενεργειακά με το περιβάλλον τους, μέσω του έργου και της θερμότητας.

Αν ποσότητα αραιού αερίου βρίσκεται υπό πίεση  $P$  και αυξάνει τον όγκο της κατά  $\Delta V$ , τότε παράγει έργο:  **$W=P \cdot \Delta V$**

**Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας (Α.Δ.Ε.):**

Σε όλα τα φαινόμενα η συνολική ενέργεια παραμένει σταθερή, καθώς η ενέργεια δεν καταστρέφεται ούτε δημιουργείται, παρά μόνο μεταμορφώνεται από μια μορφή σε μια άλλη ή μεταβιβάζεται από ένα σώμα σε ένα άλλο.

*Από την Α.Δ.Ε. προκύπτει ο **Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος**:*

$$Q=W+\Delta U$$

Δηλαδή η προσφερόμενη σε ένα αέριο θερμότητα ισούται με το άθροισμα της αύξησης της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που παράγει.

Αν βέβαια δεν έχουμε παραγωγή έργου, όπως συμβαίνει στα αέρια όταν δεν μεταβάλλεται ο όγκος τους ή στα στερεά και τα υγρά, ο 1<sup>ος</sup> Θερμοδυναμικός Νόμος παίρνει την μορφή:

$$Q=\Delta U$$

Δηλαδή η προσφερόμενη σε ένα αέριο θερμότητα ισούται με την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.

**Η γενικότερη διατύπωση της Α.Δ.Ε. σε ένα φυσικό φαινόμενο είναι:**

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΡΧΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ} = \text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΕΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ}$$

## Β. Βασικό τυπολόγιο θερμοδυναμικής

### 1. ΕΡΓΟ:

ΙΣΟΧΩΡΗ:	$W=0$	και $P/T=\text{σταθ.}$
ΙΣΟΒΑΡΗΣ:	$W=P(V_2-V_1)$	και $V/T=\text{σταθ.}$
ΙΣΟΘΕΡΜΗ:	$W=nRT.\ln(V_2/V_1)$	και $P.V=\text{σταθ.}$
ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ:	$W=\frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-\gamma}$	και $P.V^\gamma=\text{σταθ.}$ ή $T.V^{\gamma-1}=\text{σταθ.}$ ή $T^\gamma.P^{1-\gamma}=\text{σταθ.}$

Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις το έργο αριθμητικά ισούται με το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της γραφικής παράστασης και του άξονα των όγκων σε διάγραμμα P-V.

### 2. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:

ΙΣΟΘΕΡΜΗ:	$\Delta U=0$
ΚΥΚΛΙΚΗ:	$\Delta U_{ολ}=0$
ΓΕΝΙΚΑ:	$\Delta U=n.C_v.\Delta T$

### 3. ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ:

ΑΔΙΑΒΑΤΙΚΗ:	$Q=0$
ΙΣΟΧΩΡΗ:	$Q=\Delta U= n.C_v.\Delta T$
ΙΣΟΘΕΡΜΗ:	$Q= W=nRT.\ln\frac{V_2}{V_1}$
ΙΣΟΒΑΡΗΣ:	$Q=\Delta U+P(V_2-V_1)$ ή $n.C_p.\Delta T$
ΚΥΚΛΙΚΗ:	$Q_{ολ}=W_{ολ}, \Delta U_{ολ}=0$

### 4. ΠΡΩΤΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ:

$$Q=\Delta U+W$$

### 5. ΕΙΔΙΚΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΕΣ:

Ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερό όγκο:

$$C_v = (3/2) \cdot R \quad \text{για ιδανικό αέριο}$$

Ειδική γραμμομοριακή θερμότητα υπό σταθερή πίεση:

$$C_p = (5/2) \cdot R \quad \text{για ιδανικό αέριο}$$

ΓΕΝΙΚΑ:

$$C_p = C_v + R$$

Συντελεστής Poisson:

$$\gamma = C_p / C_v$$

$$\gamma = 5/3 \quad \text{για ιδανικό αέριο}$$

Σημείωση:

$$\underline{C_v = R / (\gamma - 1)} \quad \text{και} \quad \underline{C_p = \gamma R / (\gamma - 1)}$$

### 6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Γενικά:

$$e = \frac{W}{Q_h} = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h}$$

Συντελεστής απόδοσης Carnot:

$$e_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Έργο κύκλου Carnot:

$$W = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} \cdot [T_h - T_c]$$

**7. ΔΕΥΤΕΡΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΑΞΙΩΜΑ**

**i) Kelvin-Planck**

Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει εξ' ολοκλήρου την θερμότητα σε ωφέλιμο έργο.

ή

**ii) Clausius**

Είναι αδύνατο να κατασκευασθεί μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο χωρίς να δαπανάται έργο για την λειτουργία της.