

Τεχνική Θερμοδυναμική

Βασικές αρχές

Αλέξανδρος Δ. Γκότσης

Πολυτεχνείο Κρήτης, κτ. Επιστημών: 141.B.83

τηλ. 7259· email: gotsis@tuc.gr

17 Φεβρουαρίου, 2023



Θερμοδυναμική και Ενέργεια

- Τι είναι η θερμοδυναμική;

Η επιστήμη που εξετάζει τη μετατροπή της ενέργειας

ΕΝΕΡΓΕΙΑ = ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΛΛΑΓΩΝ

Η ετυμολογία του όρου ανάγεται στις πρώτες προσπάθειες μετατροπής της θερμότητας σε ισχύ.

Πρώτοι κινητήρες ατμού:

1697 Thomas Savery

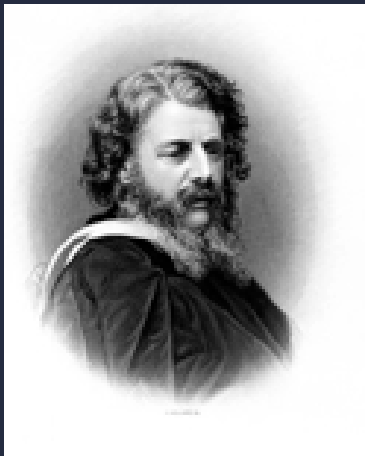
1712 Thomas Newcomer

- Οι πρωτεργάτες της θερμοδυναμικής: Rankine, Clausius, Kelvin



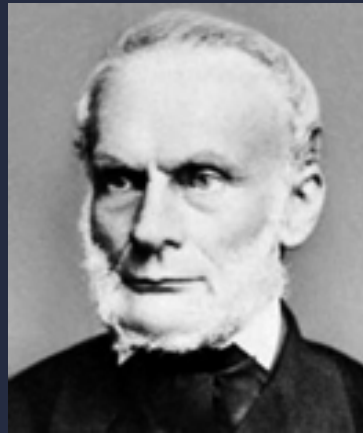
Θερμοδυναμική και Ενέργεια

Οι πρωτεργάτες της Θερμοδυναμικής



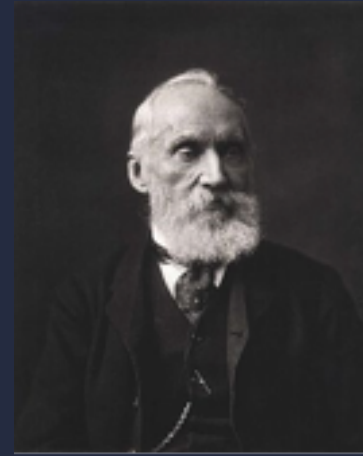
W. Rankine

1820 – 1872
Scottish Physicist
& engineer



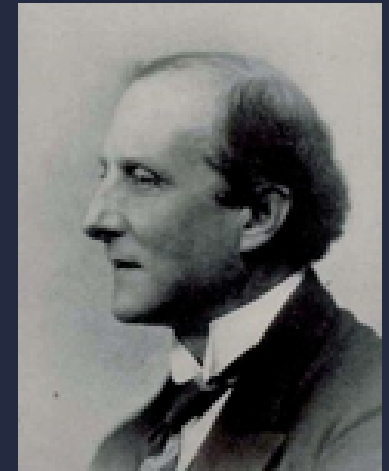
R. Clausius

1822 – 1888
German physicist
& mathematician



W. Thomson
(Kelvin)

1824 – 1907
Scottish physicist
& engineer



Κ. Καραθεοδωρή

1873 – 1950
Greek
mathematician

...

Ουσιαστικά στο μάθημα θα μιλήσουμε για
τους δύο νόμους της θερμοδυναμικής

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής

- Αρχή της διατήρησης της ενέργειας

Η Ενέργεια μπορεί να μεταβάλλεται από τη μια μορφή σε άλλη αλλά το συνολικό ποσό της παραμένει σταθερό

- Η Ενέργεια ΔΕΝ δημιουργείται ΟΥΤΕ καταστρέφεται

Όταν ένα σύστημα μεταβεί αδιαβατικά από μια κατάσταση 1 σε μια κατάσταση 2 τότε η μόνη ενεργειακή εναλλαγή με το περιβάλλον θα είναι το έργο, το οποίο είναι ανεξάρτητο από τον τρόπο μεταβολής.

==> Η Ενέργεια είναι μια θερμοδυναμική ιδιότητα

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

- Καμιά συσκευή δεν μπορεί να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε το μοναδικό της αποτέλεσμα (σε σύστημα & περιβάλλον) να είναι η πλήρης μετατροπή της θερμότητας που απορροφάται από το σύστημα σε έργο που παράγεται από το σύστημα (Kelvin, Planck)

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

- Καμιά συσκευή δεν μπορεί να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε το μοναδικό της αποτέλεσμα (σε σύστημα & περιβάλλον) να είναι η πλήρης μετατροπή της θερμότητας που απορροφάται από το σύστημα σε έργο που παράγεται από το σύστημα (Kelvin, Planck)
- Κάθε διεργασία που συνίσταται στη μεταφορά θερμότητας από ένα θερμοκρασιακό επίπεδο σε άλλο υψηλότερο είναι αδύνατη (Clausius)

Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής

- Καμιά συσκευή δεν μπορεί να λειτουργήσει με τέτοιο τρόπο ώστε το μοναδικό της αποτέλεσμα (σε σύστημα & περιβάλλον) να είναι η πλήρης μετατροπή της θερμότητας που απορροφάται από το σύστημα σε έργο που παράγεται από το σύστημα (Kelvin, Planck)
 - Κάθε διεργασία που συνίσταται στη μεταφορά θερμότητας από ένα θερμοκρασιακό επίπεδο σε άλλο υψηλότερο είναι αδύνατη (Clausius)
 - Η Ενέργεια εκτός από ΠΟΣΟΤΗΤΑ έχει και ΠΟΙΟΤΗΤΑ
- ... κάτι που εισάγει την έννοια της **ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ**

(Ο μηδενικός [τρίτος] νόμος της θερμοδυναμικής)

Η απόλυτη εντροπία όλων των τέλειων κρυσταλλικών ουσιών στο απόλυτο μηδέν είναι ίση με το μηδέν (Nernst, Planck)

Αύξηση της εντροπίας $\Rightarrow$ Αύξηση της αταξίας

Κλασσική Θερμοδυναμική:
Μακροσκοπική θεώρηση

Στατιστική θερμοδυναμική:
Μικροσκοπική θεώρηση

Πριν αρχίσουμε για τη Θερμοδυναμική

Μερικά βασικά πράγματα και έννοιες ...

Ξανακοιτάξτε την Εισαγωγή στη ΦΥΣΙΚΗ Ι !

Βασικά μεγέθη και μονάδες

- Τι σημαίνει «2025,3»;

Τίποτε! Εκτός κι αν έχουμε κάποιο μέγεθος να το συγκρίνουμε και μονάδες, π.χ., cm, g, mol, K κ.λπ.

Βασικά μεγέθη και μονάδες

- Τι σημαίνει «2025,3»;
Τίποτε! Εκτός κι αν έχουμε κάποιο μέγεθος να το συγκρίνουμε και μονάδες, π.χ., cm, g, mol, K κ.λπ.
- Ποια είναι τα θεμελιώδη μεγέθη;
Μήκος (με μονάδες m, in, ft)
Χρόνος (με μονάδες s, min, h, day)
Μάζα (με μονάδες kg, lbm, mol)
Θερμοκρασία (με μονάδες °C, °F)
Ένταση ρεύματος (με μονάδες A)

Βασικά μεγέθη και μονάδες

- Τι σημαίνει «2025,3»;
Τίποτε! Εκτός κι αν έχουμε κάποιο μέγεθος να το συγκρίνουμε και μονάδες, π.χ., cm, g, mol, K κ.λπ.
- Ποια είναι τα θεμελιώδη μεγέθη;
Μήκος (με μονάδες m, in, ft)
Χρόνος (με μονάδες s, min, h, day)
Μάζα (με μονάδες kg, lbm, mol)
Θερμοκρασία (με μονάδες °C, °F)
Ένταση ρεύματος (με μονάδες A)
- Ποιες είναι οι θεμελιώδεις μονάδες στο SI;
m, s, kg, A (Ampere), K (Kelvin), mol

Τι εννοούμε με την τάξη μεγέθους;

Πολλαπλάσια

Υποπολλαπλάσια

Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής	.	Πρόθεμα	Σύμβολο	Συντελεστής
deca	da	10^1		deci	d	10^{-1}
hecto	h	10^2		centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3		milli	m	10^{-3}
mega	M	10^6		micro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9		nano	n	10^{-9}
tera	T	10^{12}		pico	p	10^{-12}
peta	P	10^{15}		femto	f	10^{-15}
exa	E	10^{18}		atto	a	10^{-18}

Παραδείγματα τάξης μεγέθους

Η απόσταση της γης από τον ήλιο	149.597.890 km
Η απόσταση της γης από τη σελήνη	384.400 km
Η περίμετρος της γης στον Ισημερινό	40.066 km
Η απόσταση Αθήνας - Νέας Υόρκης	7.941 km
Η απόσταση Θεσσαλονίκης- Αθήνας	550 km
Το μήκος ενός γηπέδου ποδοσφαίρου	110 m
Το μέσο μήκος ενός αυτοκινήτου	4,5 m
Η μεγάλη διάσταση μιας σελίδας A4	29 cm
Το πάχος μιας μύτης (μηχ.) μολυβιού	5 mm
Το μέγεθος ενός ανθρώπινου κυττάρου	1-10 μm
Το μέγεθος ενός ιού (όχι στα PC!)	10-50 nm

Ομοιογένεια διαστάσεων

- Οι εξισώσεις πρέπει να είναι διαστατικά ομοιογενείς.

Ομοιογένεια διαστάσεων

- Οι εξισώσεις πρέπει να είναι διαστατικά ομοιογενείς.
- Μια σχέση διαστατικά ανομοιογενής είναι εξ ορισμού λανθασμένη.

Ομοιογένεια διαστάσεων

- Οι εξισώσεις πρέπει να είναι διαστατικά ομοιογενείς.
- Μια σχέση διαστατικά ανομοιογενής είναι εξ ορισμού λανθασμένη.
- Μια σχέση διαστατικά ομοιογενής δεν είναι απαραίτητα σωστή!

Παραδείγματα

- Ποιο είναι το σύνηθες εμβαδόν διατομής ενός νεροπότηρου ($d=60\text{mm}$);
 28 cm^3
 28 cm^2
 $0,28\text{ m}$
 280 m^2
- Ποια είναι η πυκνότητα του νερού στους 4°C ;
 1000 kg/m^3
 1 g/cm^3
 100 g/ml
 1 kg/l
- Μια μηχανή ισχύος 100 kW πόση ενέργεια παράγει σε 1 λεπτό;
 1.67 kWh
 60 kJ
 6000 kJ/s
 6000 kJ

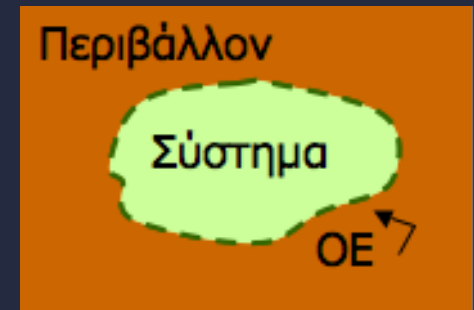
Παραδείγματα

- Ποιο είναι το σύνηθες εμβαδόν διατομής ενός νεροπότηρου ($d=60\text{mm}$);
 28 cm^3
 28 cm^2
 $0,28\text{ m}$
 280 m^2
- Ποια είναι η πυκνότητα του νερού στους 4°C ;
 1000 kg/m^3
 1 g/cm^3
 100 g/ml
 1 kg/l
- Μια μηχανή ισχύος 100 kW πόση ενέργεια παράγει σε 1 λεπτό;
 1.67 kWh
 60 kJ
 6000 kJ/s
 6000 kJ

Θερμοδυναμικό σύστημα

Σύστημα: Μια ποσότητα ύλης ή μια περιοχή στο χώρο η οποία έχει επιλεγεί για μελέτη

Περιβάλλον: Ό,τι είναι έξω από το σύστημα



Οριακή επιφάνεια (ΟΕ) = Η επιφάνεια που διαχωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον του

Μπορεί να είναι:

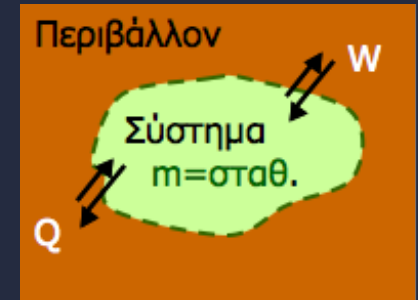
- πραγματική ή υποθετική
- σταθερή ή κινητή

Αλλά έχει μηδενικό πάχος!

Είδη θερμοδυναμικών συστημάτων

1. ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ :

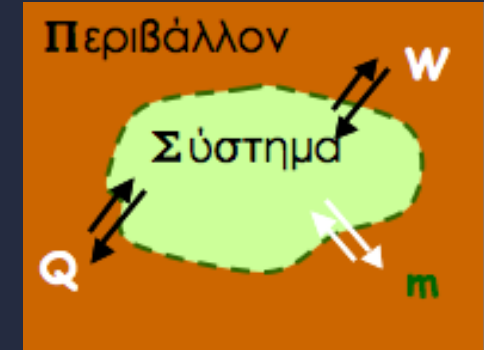
- Η ΟΕ είναι αδιαπέραστη από μάζα, $\Rightarrow$ η μάζα του συστήματος είναι σταθερή
- Η ΟΕ είναι περατή από ενέργεια, $\Rightarrow$ το σύστημα μπορεί να εναλλάσσει θερμότητα και έργο με το περιβάλλον
- Το σύστημα μπορεί να είναι :
 - ομογενές
 - ετερογενές
- Η σύσταση της ύλης του συστήματος μπορεί να :
 - παραμένει σταθερή
 - μεταβάλλεται με το χρόνο



2. ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ΟΕ διαπερνάται από μάζα σε ένα ή περισσότερα τμήματά της

- Η μάζα του συστήματος δεν είναι σταθερή
- Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει θερμότητα & έργο με το περιβάλλον



Η ποσότητα ύλης του συστήματος μπορεί να :

- παραμένει σταθερή
- αυξάνεται με τον χρόνο
- μειώνεται με τον χρόνο

αλλά σε κάθε χρονική στιγμή θα είναι διαφορετική μάζα.

Κλειστά και ανοικτά συστήματα

Για το ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ χρησιμοποιείται και ο όρος **ΜΑΖΑ ΕΛΕΓΧΟΥ**

Για το ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ χρησιμοποιείται και ο όρος **ΟΓΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ**

Ανάλογα με το είδος του συστήματος χρησιμοποιούμε διαφορετικές θερμοδυναμικές σχέσεις.

1.6. Κατατάξτε τα ακόλουθα συστήματα σε Κλειστά (ΚΣ) και Ανοικτά (ΑΣ):

(α) Μια σταγόνα υδραργύρου πάνω σε μια γυάλινη επιφάνεια

(β) Ένα αναβράζον δισκίο Depon σε ένα ποτήρι καθαρό νερό

(γ) το ψυγείο ενός κινούμενου αυτοκινήτου

(δ) ένα ψυγείο οικιακής χρήσης σε λειτουργία

(ε) μια χύτρα ταχύτητας που περιέχει κρέας κοκκινιστό σε 85 °C

(στ) ένας άνθρωπος που κοιμάται

(ζ) ένα ποτήρι που περιέχει νερό

(η) μια φιάλη οξυγόνου ενός δύτη σε βάθος 50 m

(θ) ένα μπαλόνι με ήλιο που ξέφυγε από το χέρι ενός παιδιού κι ανεβαίνει στον ουρανό.

Μορφές ενέργειας

Μορφές Ενέργειας

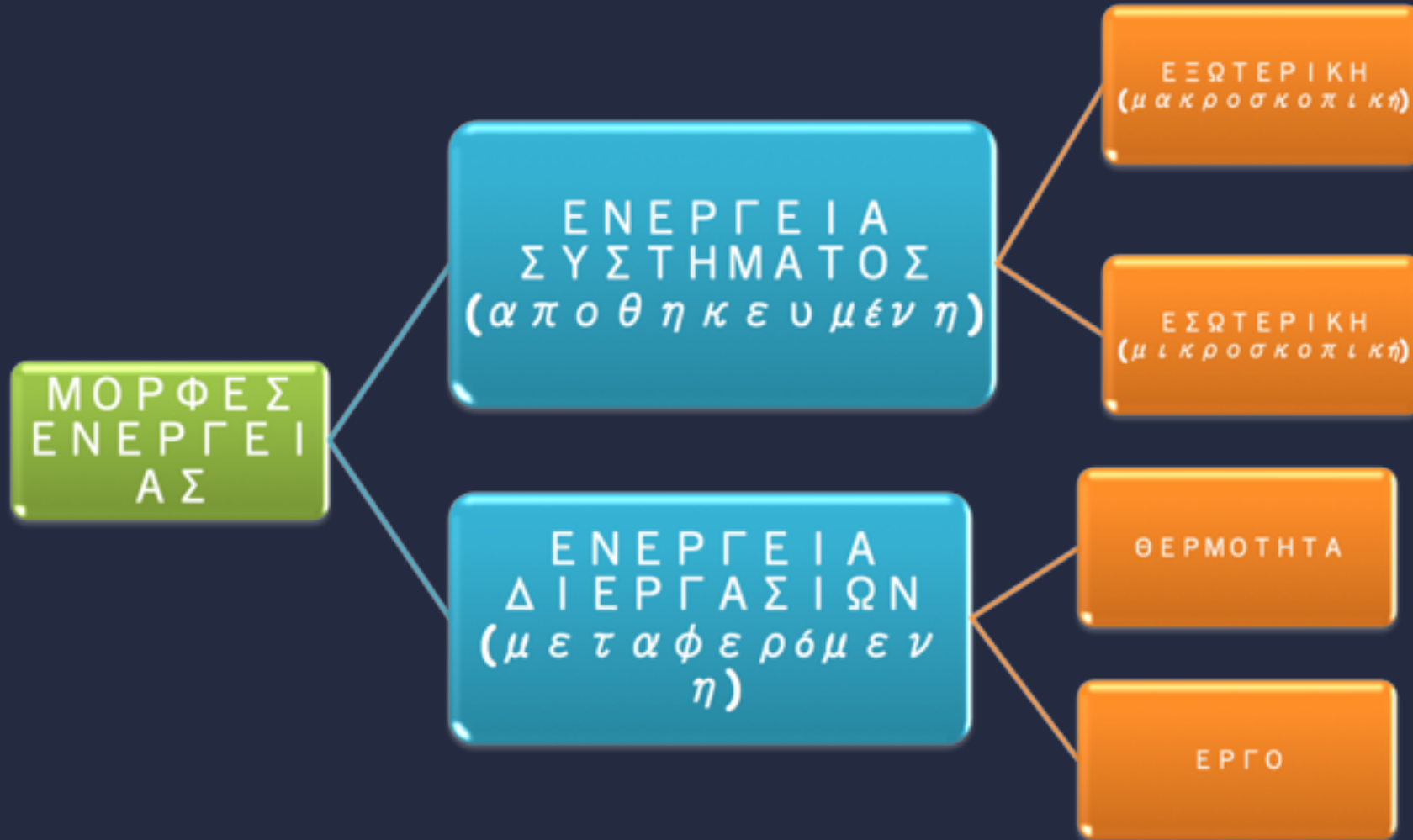
Θερμική	Ηλεκτρική
Μηχανική	Μαγνητική
Κινητική	Χημική
Δυναμική	Πυρηνική

Ολική Ενέργεια Συστήματος: E (J)

Ολική Ενέργεια ανά μονάδα μάζας : $e = E/m$ (J/kg)

Στις διεργασίες ενδιαφερόμαστε για τις **METABΟΛΕΣ** της Ενέργειας του Συστήματος

Διάκριση μορφών ενέργειας



Μορφές Ενέργειας Συστήματος

Εξωτερική μορφή ενέργειας (μακροσκοπική)

Την κατέχει το σύστημα στο σύνολό του και σχετίζεται με ένα εξωτερικό σύστημα αναφοράς. Συνδέεται με την κίνηση και την επίδραση εξωτερικών πεδίων, όπως βαρυτικό, μαγνητικό, ηλεκτρικό και την επιφανειακή τάση.

Εδώ θα ασχοληθούμε κύρια με την κινητική ενέργεια (επίδραση κίνησης) και τη δυναμική ενέργεια (επίδραση πεδίου εξωτερικών δυνάμεων που δρουν στο σύστημα, κυρίως βαρυτικού)

Εξωτερική μορφή ενέργειας (μακροσκοπική)

Κινητική ενέργεια

$$E_k = \frac{mV^2}{2} \quad \text{J} = \text{N m} = \text{kg m}^2 / \text{s}^2$$

$$e_k = \frac{V^2}{2} \quad \text{J / kg}$$

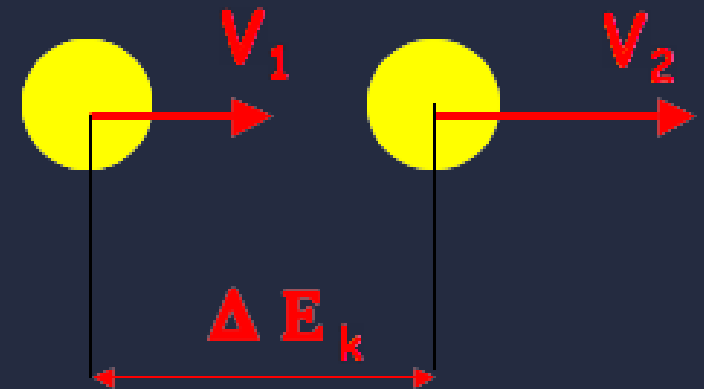
$$\Delta E_k = \Delta \left(\frac{mV^2}{2} \right)$$

Περιστρεφόμενο σώμα: $E_k = \frac{I\omega^2}{2},$

όπου:

I ροπή αδράνειας (kg m^2)

ω γωνιακή ταχύτητα (rad/s)



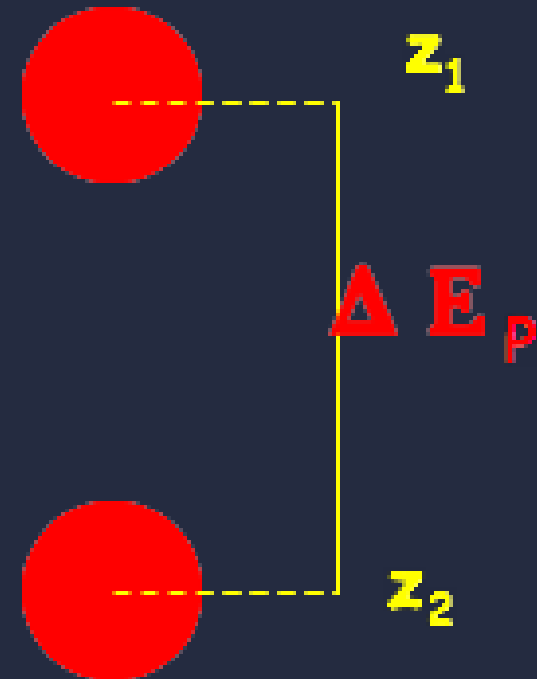
Εξωτερική μορφή ενέργειας (μακροσκοπική)

Δυναμική ενέργεια

$$E_p = mgz \quad \text{J} = \text{N m} = \text{kg m}^2 / \text{s}^2$$

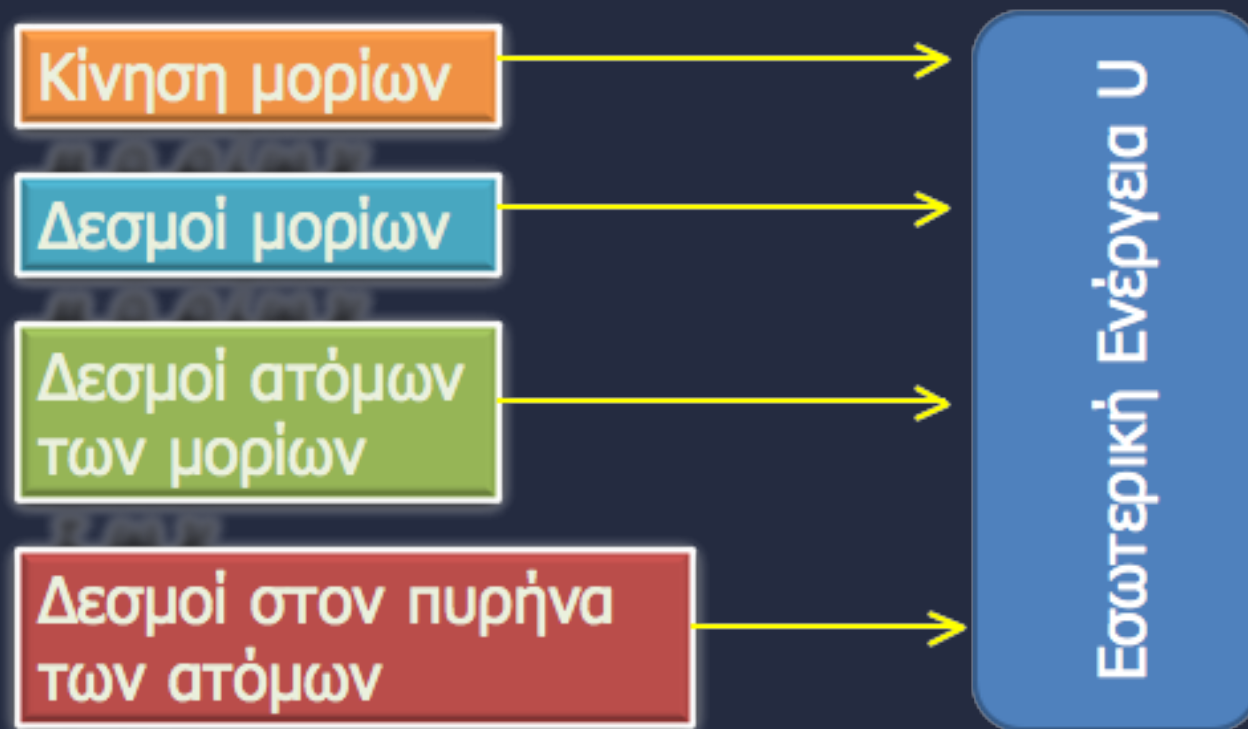
$$e_p = gz \quad \text{J / kg}$$

$$\Delta E_p = \Delta (mgz)$$

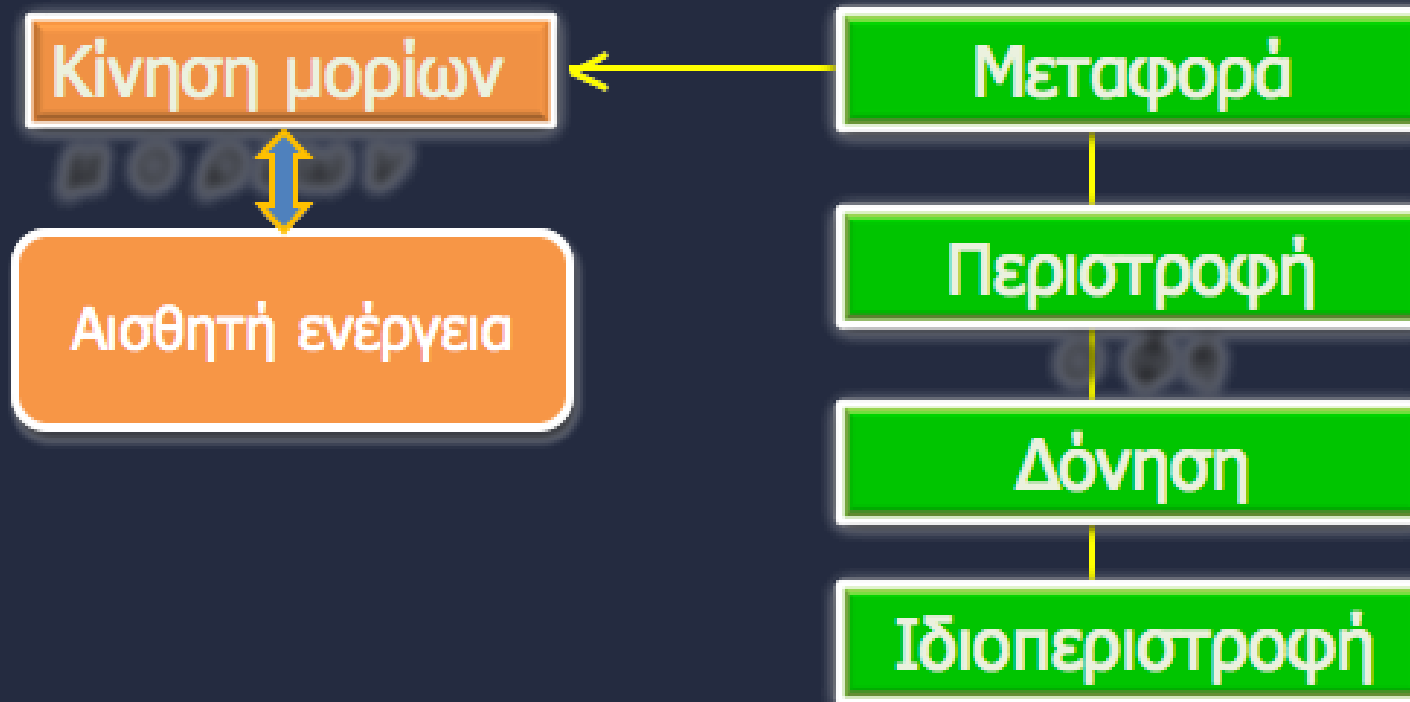


Εσωτερική μορφή ενέργειας (μικροσκοπική)

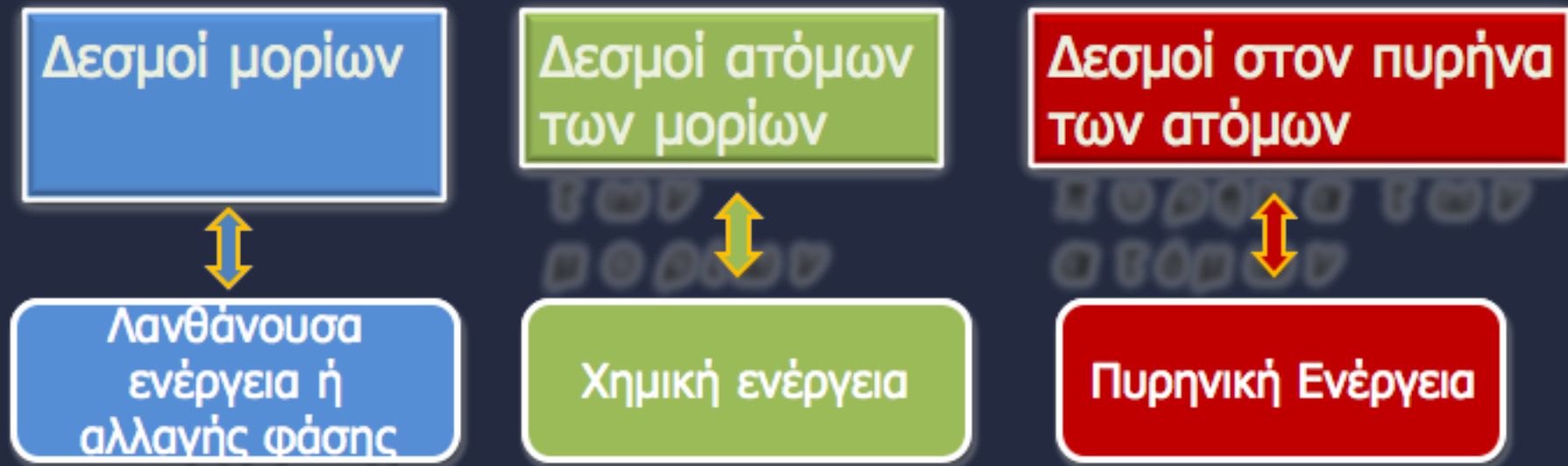
Άθροισμα των μικροσκοπικών μορφών ενέργειας του συστήματος: Συνδέεται με τη **μοριακή δομή** και την **κινητικότητα των μορίων**.



Εσωτερική μορφή ενέργειας (μικροσκοπική)



Εσωτερική μορφή ενέργειας (μικροσκοπική)



Ολική αποθηκευμένη ενέργεια (απλού) συστήματος

$$E = U + E_k + E_p = U + \frac{mV^2}{2} + mgz$$

$$e = u + e_k + e_p = u + \frac{V^2}{2} + gz$$

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p = \Delta U + \Delta \left(\frac{mV^2}{2} \right) + \Delta(mgz)$$

Ενέργεια Διεργασιών (μεταφερόμενη)

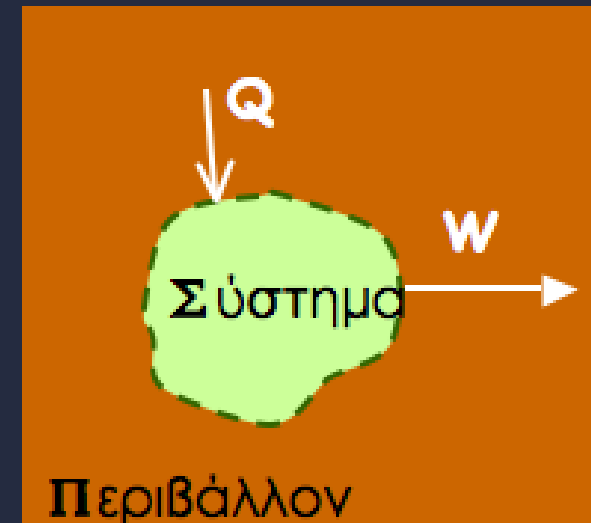
Θερμότητα Q $J = N \cdot m = kg \cdot m^2 / s^2$

Έργο W $J = N \cdot m = kg \cdot m^2 / s^2$

Σύμβαση προσήμου:

Θετική είναι η θερμότητα που προσδίδεται στο σύστημα

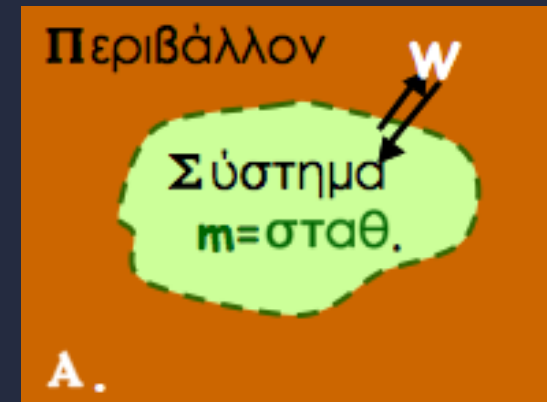
Θετικό είναι το έργο που παράγει το σύστημα



Ειδικές περιπτώσεις: ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

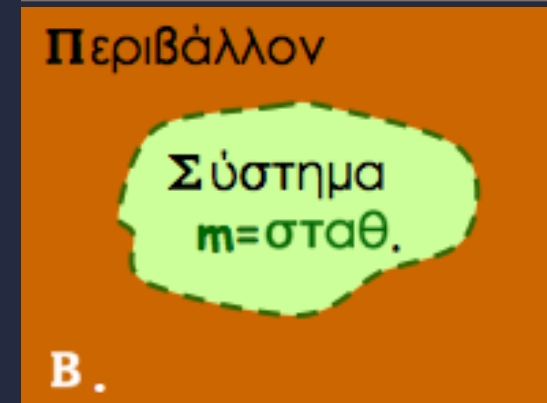
A. Αδιαβατική ΟΕ:

Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει μόνο έργο με το περιβάλλον



B. Απομονωμένο σύστημα:

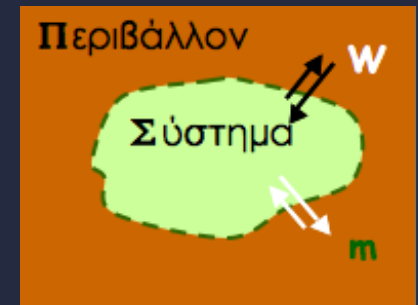
Το σύστημα δεν μπορεί να ανταλλάσσει ούτε ενέργεια ούτε μάζα με το περιβάλλον



Ειδικές περιπτώσεις: ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Α. Αδιαβατική ΟΕ:

Το σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει μόνο μάζα & έργο με το περιβάλλον



Θερμότητα μπορεί να μεταφέρεται από ή προς το σύστημα μόνο ως θερμικό περιεχόμενο της μάζας που εισρέει στο σύστημα ή εκρέει από το σύστημα

1.7. Όταν η ποσότητα ύλης ενός συστήματος δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο τότε μιλάμε για κλειστό σύστημα. Σωστό ή Λάθος;

1.8. Παγωμένο νερό σε κλειστό δοχείο Dewar μπορεί να θεωρηθεί απομονωμένο σύστημα. Σωστό ή Λάθος;

1.9. Το ενεργειακό περιεχόμενο ενός αδιαβατικού κλειστού συστήματος δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Σωστό ή Λάθος;

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Κατάσταση συστήματος Οι συνθήκες ύπαρξης του συστήματος μια δεδομένη χρονική στιγμή (π.χ. θέση, ενεργειακό περιεχόμενο, κ.λπ.)

Κατάσταση συστήματος σε ισορροπία: Η θερμοδυναμική κατάσταση του συστήματος που βρίσκεται σε ισορροπία και καθορίζεται από τις τιμές των ιδιοτήτων του.

Καταστατική Αρχή ή Αξίωμα των Καταστάσεων: Ένας κανόνας που προσδιορίζει τον ελάχιστο αριθμό και το είδος των ιδιοτήτων του συστήματος που απαιτούνται για τον πλήρη προσδιορισμό όλων των ιδιοτήτων του συστήματος.

Παράδειγμα καταστατικής αρχής: η κατάσταση ισορροπίας του συστήματος μπορεί να καθοριστεί πλήρως από **δύο** ανεξάρτητες εντατικές ιδιότητες. Όλες οι άλλες ιδιότητες του συστήματος είναι μονοσήμαντες συναρτήσεις αυτών των δύο ιδιοτήτων. Π.χ. πίεση P και ειδικός όγκος v καθορίζουν τις υπόλοιπες:
$$\Phi = f(P, v).$$

- Όλες οι ιδιότητες του συστήματος, ανεξάρτητες και εξαρτημένες, είναι καταστατικές συναρτήσεις ή καταστατικές μεταβλητές κι εξαρτώνται από την κατάσταση του συστήματος τη δεδομένη χρονική στιγμή. Είναι δηλαδή **σημειακές συναρτήσεις**.

Γι' αυτό μπορούμε να παρουσιάζουμε τις διεργασίες σε δισδιάστατα γραφήματα !

Θερμοδυναμική ισορροπία

Ισορροπία: Στατική κατάσταση του συστήματος με απουσία κάθε τάσης για αυθόρμητη αλλαγή!

Δηλαδή: Στατική ισορροπία και απουσία οποιασδήποτε δρώσας δύναμης (ή κινητήριας δύναμης)

Μια κατάσταση ισορροπίας είναι:

- Χρονικά αμετάβλητη
- Αναπαραγωγίσιμη

Μορφές ισορροπίας

- **Θερμική (ομοιομορφία θερμοκρασίας)** – Απουσία της προκαλεί μεταφορά θερμότητας λόγω διαφοράς θερμοκρασίας
- **Μηχανική (ισορροπία δυνάμεων)** – Απουσία της προκαλεί μεταφορά σώματος, ρευστού, ορμής λόγω διαφοράς δυνάμεων, π.χ. πίεσης
- **Σύστασης (ομοιομορφία σύστασης όταν έχουμε πάνω απ' ένα συστατικά)** – Απουσία της προκαλεί μεταφορά μάζας με διάχυση λόγω βαθμίδας συγκέντρωσης
- **Χημική (ομοιομορφία χημικού δυναμικού)** – Απουσία της προκαλεί χημική αντίδραση λόγω διαφοράς χημικού δυναμικού
- **Φάσεων (ομοιομορφία χημικού δυναμικού)** – Απουσία της προκαλεί μεταφορά μάζας μιας ή περισσότερων ουσιών από τη μια φάση στην άλλη λόγω χημικού δυναμικού της κάθε ουσίας σε δύο ή περισσότερες φάσεις.

Μορφές ισορροπίας

Θερμοδυναμική ισορροπία υπάρχει όταν έχουμε:

- Θερμική
- Μηχανική
- Σύστασης
- Χημική
- Φάσεων

Διεργασίες

Διεργασία = η μετάβαση του συστήματος από μια κατάσταση ισορροπίας σε μια άλλη.

Διαδρομή διεργασίας = η ακολουθία των καταστάσεων από τις οποίες διέρχεται το σύστημα κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας.

Αντιστρεπτή (ή Στατικότροπη) Διεργασία = Μια υποθετική (ιδεατή) διεργασία, καθ' όλη τη διαδρομή της οποίας το σύστημα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας ή σε απειροελάχιστη απόσταση από αυτή.

Δεν υπάρχουν τριβές.

Οι ιδιότητες του συστήματος είναι ομοιόμορφες κάθε χρονική στιγμή (κλειστά συστήματα).

Οι ιδιότητες του συστήματος μεταβάλλονται με τον ίδιο ρυθμό σε όλα τα σημεία του συστήματος (κλειστά).

- 1.13. Ένα απομονωμένο σύστημα βρίσκεται πάντοτε σε ισορροπία. Σωστό ή λάθος;
- 1.14. Τα σημεία διαδρομής μιας αντιστρεπτής διεργασίας παριστάνουν καταστάσεις ισορροπίας. Σωστό ή λάθος;
- 1.15. Μια κυκλική διεργασία είναι πάντα αντιστρεπτή. Σωστό ή λάθος;

Ιδιότητες

Ιδιότητες συστήματος

- Ιδιότητα: Κάθε μακροσκοπικό χαρακτηριστικό του συστήματος

Ιδιότητες συστήματος

- Ιδιότητα: Κάθε μακροσκοπικό χαρακτηριστικό του συστήματος
- Η τιμή μιας ιδιότητας μπορεί να είναι:
 - Άμεσα μετρήσιμη (π.χ. T)
 - Μαθηματικός συνδυασμός άλλων ιδιοτήτων (π.χ. $\rho = m/V$)
 - Ορισμένη από τους νόμους της Θερμοδυναμικής (π.χ. $H = U + PV$)

Ιδιότητες συστήματος

- Ιδιότητα: Κάθε μακροσκοπικό χαρακτηριστικό του συστήματος
- Η τιμή μιας ιδιότητας μπορεί να είναι:
 - ☐ Άμεσα μετρήσιμη (π.χ. T)
 - ☐ Μαθηματικός συνδυασμός άλλων ιδιοτήτων (π.χ. $\rho = m/V$)
 - ☐ Ορισμένη από τους νόμους της Θερμοδυναμικής (π.χ. $H = U + PV$)
- Η τιμή κάθε ιδιότητας :
 - ☐ Είναι Μοναδική
 - ☐ Καθορίζεται από την κατάσταση του συστήματος τη δεδομένη χρονική στιγμή

Ιδιότητες συστήματος

Θερμοδυναμικές ιδιότητες: Εγγενείς ιδιότητες του συστήματος που εξαρτώνται από τη φυσική κατάσταση και χημική δομή της ύλης του (π.χ. εσωτερική ενέργεια, πυκνότητα, κ.λπ.)

Μηχανικές ιδιότητες: Ιδιότητες του συστήματος που εξαρτώνται από κάποιο εξωτερικό σύστημα αναφοράς (π.χ. ταχύτητα)

Οι τιμές τους υπολογίζονται με βάση κάποιο εξωτερικό σύστημα αναφοράς. Οι μεταβλητές των συναρτήσεων που περιγράφουν τις μηχανικές ιδιότητες είναι οι χωρικές συντεταγμένες (x, y, z), ο χρόνος (t) και κάθε συνδυασμός τους.

Ιδιότητες συστήματος

- **Εκτατικές ιδιότητες:**

Ιδιότητες που εξαρτώνται από την έκταση ή τη μάζα του συστήματος.

Παραδείγματα: μάζα, όγκος, ολική ενέργεια.

Ιδιότητες συστήματος

- **Εκτατικές ιδιότητες:**

Ιδιότητες που εξαρτώνται από την έκταση ή τη μάζα του συστήματος.

Παραδείγματα: μάζα, όγκος, ολική ενέργεια.

Μπορούν να αλλάζουν με τον χρόνο.

Παριστάνονται με κεφαλαία γράμματα.

Ιδιότητες συστήματος

Εντατικές ιδιότητες: Θερμοδυναμικές ιδιότητες του συστήματος που είναι ανεξάρτητες από την έκταση ή τη μάζα του συστήματος.

Οι τιμές τους μπορεί να μεταβάλλονται όχι μόνο με τον χρόνο αλλά και με τη θέση εντός του συστήματος την ίδια χρονική στιγμή.

Δεν είναι αθροιστικές ιδιότητες. Αναφερόμενοι σε αυτές μιλάμε για «μέσες τιμές».

Όταν το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία και είναι ομοιογενές, οι τιμές των εντατικών ιδιοτήτων του είναι παντού οι ίδιες.

Παραδείγματα: Θερμοκρασία, T , Πίεση, P , Πυκνότητα, ρ .

Ιδιότητες συστήματος

Ειδικές ιδιότητες: Ως ειδική ιδιότητα y ορίζεται ο λόγος

$$y = \frac{Y}{m}$$

όπου Y μια εκτατική ιδιότητα του συστήματος

Όταν το σύστημα είναι ομοιογενές, οι τιμές των ειδικών ιδιοτήτων για κάθε τμήμα του συστήματος αλλά και για το σύστημα ως σύνολο είναι παντού οι ίδιες. Δηλ. οι ειδικές ιδιότητες ανήκουν στην κατηγορία των εντατικών.

Ιδιότητες συστήματος

Ειδικές ιδιότητες: Ως ειδική ιδιότητα y ορίζεται ο λόγος

$$y = \frac{Y}{m}$$

όπου Y μια εκτατική ιδιότητα του συστήματος

Όταν το σύστημα είναι ομοιογενές, οι τιμές των ειδικών ιδιοτήτων για κάθε τμήμα του συστήματος αλλά και για το σύστημα ως σύνολο είναι παντού οι ίδιες. Δηλ. οι ειδικές ιδιότητες ανήκουν στην κατηγορία των εντατικών.

Παράδειγμα:

Ειδικός όγκος: $v = \frac{V}{m}$

Ιδιότητες συστήματος

Γραμμομοριακές ιδιότητες: Ως γραμμομοριακή ιδιότητα ορίζεται ο λόγος

$$\bar{y} = \frac{Y}{n}$$

όπου Y μια εκτατική ιδιότητα του συστήματος και n ο αριθμός των mol στο σύστημα

Όταν το σύστημα είναι ομοιογενές, οι τιμές των γραμμομοριακών ιδιοτήτων για κάθε τμήμα του συστήματος αλλά και για το σύστημα ως σύνολο είναι παντού οι ίδιες. Δηλ. οι γραμμομοριακές ιδιότητες ανήκουν στην κατηγορία των εντατικών.

Παράδειγμα:

Γραμμομοριακός όγκος: $\bar{v} = \frac{V}{n} = M_r v$

- 1.11. Να εντάξετε τις παρακάτω ιδιότητες στις τρεις κατηγορίες (i) εντατικές, (ii) εκτατικές και (iii) μηχανικές:
(a) ειδική θερμότητα, (b) ροπή αδράνειας, (c) ηλεκτρικό φορτίο, (d) στροφορμή, (e) κινηματικό ιξώδες, (f) δυναμική ενέργεια, (g) δείκτης διάθλασης, (h) γωνιακή επιτάχυνση.
- 1.12. Σε ένα δοχείο περιέχονται 1,5 kg O₂ ειδικού βάρους $\gamma=14 \text{ N/m}^3$ όπου $g=9,8 \text{ m/s}^2$. Να υπολογιστούν οι τιμές μιας εκτατικής, μιας εντατικής, μιας ειδικής και μιας γραμμομοριακής ιδιότητας του συστήματος

Πυκνότητα και εξαρτώμενες ιδιότητες

Πυκνότητα (ρ) = η μάζα μιας ουσίας, m , ανά μονάδα όγκου V

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{SI: } \rho [=] \text{ kg/m}^3$$

Σχετική Πυκνότητα (ρ_s) = ο λόγος της πυκνότητας μιας ουσίας, ρ , προς μια πρότυπη πυκνότητα ρ_0

$$\rho_s = \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{SI: } \rho_s [=] []$$

Για στερεά και υγρά, συνήθως ρ_0 του H_2O σε 1 atm & 4 °C ($\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$)

Για αέρια, συνήθως το ρ_0 του αέρα σε Κ.Σ. (1 atm & 25 °C, $\rho_0 = 1,184 \text{ kg/m}^3$)

Πυκνότητα και εξαρτώμενες ιδιότητες

Ειδικός όγκος (v) = ο όγκος μιας ουσίας V ανά μονάδα μάζας

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

Ειδικό βάρος (γ) = ο λόγος του βάρους B μιας ουσίας προς τον όγκο της V

$$\gamma = \frac{B}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad \text{SI: } \gamma [=] \text{ N/m}^3$$

Πυκνότητα και εξαρτώμενες ιδιότητες

Ισόθερμος συντελεστής συμπίεστικότητας (k) = σχετική μεταβολή της πυκνότητας, ρ , μιας ουσίας λόγω μεταβολής της πίεσης, P , σε σταθερή θερμοκρασία, T .

$$k = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T \quad \text{SI: } k [=] \text{ Pa}^{-1}$$

Συντελεστής κυβικής διαστολής (β) = σχετική μεταβολή της πυκνότητας, ρ , μιας ουσίας λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας, T , σε σταθερή πίεση, P .

$$\beta = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \quad \text{SI: } \beta [=] \text{ K}^{-1}$$

- 1.16. Πόση είναι η σχετική πυκνότητα ενός υγρού το οποίο έχει ειδικό όγκο $1,25 \text{ L/kg}$;
- 1.17. Πόσος είναι ο ειδικός όγκος μιας ουσίας που έχει ειδικό βάρος $14,7 \text{ kN/m}^3$ ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$);
- 1.18. Αν σε ένα δοχείο που περιέχει δύο μη αναμίξιμα υγρά A (σχετικής πυκνότητας $1,45$) και B (πυκνότητας 800 kg/m^3) βυθιστεί ένα σφαιρίδιο (ακτίνας 1 cm και μάζας $3,8 \text{ g}$) τι από τα τρία θα συμβεί: (α) το σφαιρίδιο θα επιπλέει στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού (A ή B) (b) Το σφαιρίδιο θα πλέει στη διεπιφάνεια που χωρίζει τα A και B (c) το σφαιρίδιο θα σταματήσει στον πυθμένα του δοχείου.

Πίεση

Πίεση, P = ο λόγος της δύναμης F που ασκείται κάθετα πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια δια το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{SI: } P [=] \text{ Pa} = \text{N/m}^2$$

Χρησιμοποιείται για υγρά και αέρια. Στα στερεά, αντίστοιχα, χρησιμοποιείται ο όρος **τάση**.

Συνήθεις μονάδες: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$

Πίεση

Απόλυτη Πίεση, P = η πίεση που μετριέται σε σχέση με το απόλυτο κενό.

Σχετική ή μανομετρική Πίεση P_g = η πίεση που μετριέται σε σχέση με τη βαρομετρική πίεση, P_b .

Όταν $P > P_b$ τότε: $P_g = P - P_b$ [Pa]

Πίεση κενού, P_{vac} = η διαφορά της βαρομετρική πίεσης P_b από την απόλυτη πίεση P .

Όταν $P < P_b$ τότε: $P_{vac} = P_b - P$ [Pa]

Πίεση

Η **βαρομετρική ή ατμοσφαιρική πίεση** δεν πρέπει να συγχέεται με την πρότυπη ή κανονική ατμόσφαιρα που έχει τιμή:

$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} (\sim 100 \text{ kPa} \text{ ή } 10^5 \text{ Pa}) = 760 \text{ mmHg}.$$

Η βαρομετρική πίεση μεταβάλλεται με τη θέση, το χρόνο και τις καιρικές συνθήκες.

Πίεση

Υδροστατική πίεση: αφορά στα υγρά και οφείλεται στο πεδίο βαρύτητας της γης.

Ισορροπία δυνάμεων:

$$B = mg = \rho g Ah$$

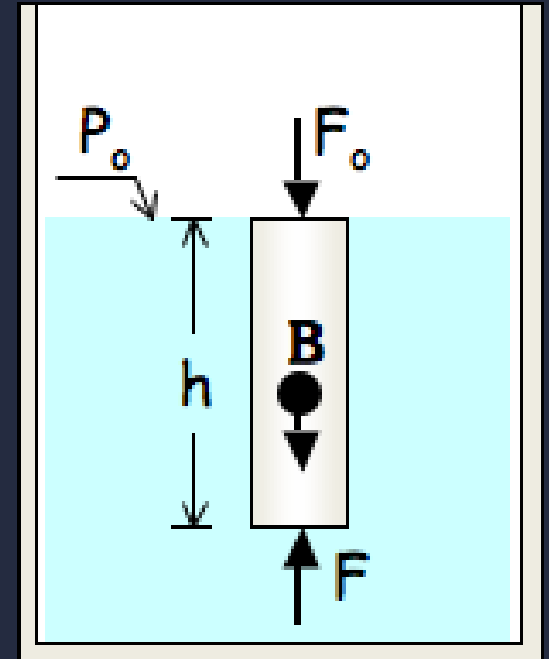
$$F_0 = P_0 A$$

$$F = PA$$

$$F - B - F_0 \Rightarrow PA - \rho g Ah - P_0 A = 0 \Rightarrow$$

$$P = \rho gh + P_0$$

Υδροστατική πίεση = η διαφορά $P - P_0 = \rho gh$



Θερμοκρασία

- **Θερμοκρασία** : η φυσική ιδιότητα που καθορίζει αν δυο συστήματα σε επαφή βρίσκονται σε θερμική ισορροπία.
- Διαθερμικό τοίχωμα : Επιτρέπει μεταφορά θερμότητας
- Αδιαβατικό ή αδιάθερμο τοίχωμα : Δεν επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας (στην πραγματικότητα την επιβραδύνει)

Κλίμακες θερμοκρασίας

Βασίζονται σε καταστάσεις που μπορούν να αναπαραχθούν, π.χ., τα σημεία βρασμού, T_b , και τήξης, T_m , του νερού σε 1 atm.

Κλίμακες θερμοκρασίας 2 σημείων:

Celsius: $T_m = 0^\circ \text{C}$ και $T_b = 100^\circ \text{C}$

Fahrenheit: $T_m = 32^\circ \text{F}$ και $T_b = 212^\circ \text{F}$

$$T_{0F} = 32 + 1.8T_{0C}$$

Απόλυτη ή Θερμοδυναμική κλίμακα θερμοκρασίας

Κλίμακα θερμοκρασίας ιδανικού αερίου:

Κλίμακα Kelvin: $T[K] = T[^\circ\text{C}] + 273.15$

Κλίμακα Rankine: $T[K] = T[^\circ\text{F}] + 459.67$

$$T[K] = 1.8 T[R] \quad \Delta T[K] = \Delta T[^\circ\text{C}] \quad \Delta T[R] = \Delta T[^\circ\text{F}]$$

- 1.22. Ένα θερμόμετρο είναι βαθμονομημένο σε βαθμούς Fahrenheit και ένα άλλο σε Celsius. Τα δύο θερμόμετρα βυθίζονται στο ίδιο υγρό, το οποίο έχει παντού την ίδια θερμοκρασία. Να υπολογιστεί η θερμοκρασία του υγρού εκφρασμένη σε Kelvin και Rankine : (α) αν τα δύο θερμόμετρα έχουν την ίδια αριθμητική ένδειξη και (β) αν η αριθμητική ένδειξη του θερμομέτρου Fahrenheit είναι διπλάσια εκείνης του Celsius.
- 1.23. Ας υποθέσουμε ότι ορίζουμε μια νέα κλίμακα θερμοκρασίας έστω $^{\circ}\text{N}$, στην οποία τα σημεία πήξης και βρασμού του νερού χαρακτηρίζονται αυθαίρετα με τις τιμές 20°N και 60°N , αντίστοιχα. Ποια θερμοκρασία στην κλίμακα αυτή αντιστοιχεί στο απόλυτο μηδέν;