

## ΒΙΒΛΙΑ

- **Θερμοδυναμική και Προχωρημένη Θερμοδυναμική**  
Α. ΠΟΛΥΖΑΚΗΣ  
ISBN: 978-618-83590-4-8  
Κωδ. Ευδόξου: 94645248
  
- **Θερμοδυναμική για Μηχανικούς**  
Cengel Yunus A. , Boles Michael A., Τσιακάρης Π., Κατσαβούνης Σ. (επιμέλεια)  
Κωδ. Ευδόξου: 77110348  
9<sup>η</sup> έκδοση/2020  
ISBN: 978-960-418-820-8

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ
- ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΘΑΡΩΝ ΟΥΣΙΩΝ
- Α' ΝΟΜΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ( ΚΛΕΙΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ)
- Α' ΝΟΜΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ( ΑΝΟΙΚΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ)
- Β' ΝΟΜΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ
- ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ
- ΚΥΚΛΟΣ CARNOT
- ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
- ΨΥΓΕΙΑ
- ΕΝΤΡΟΠΙΑ
- ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΟ ΕΡΓΟ ΣΕ ΜΟΝΙΜΗ ΡΟΗ
- ΚΥΚΛΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ( Κύκλοι Otto, Diesel, Stirling, Ericsson, Brayton)

## ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- Η **Θερμοδυναμική** μπορεί να θεωρηθεί ως η επιστήμη της ενέργειας

$$\text{ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ} = \text{ΘΕΡΜΗ (}=\text{θερμότητα)} + \text{ΔΥΝΑΜΗ (ισχύς)}$$

- Ένας από τους θεμελιώδεις νόμους της φύσης είναι η

## ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αρχή αυτή δηλώνει ότι κατά την διάρκεια μιας αλληλεπίδρασης η ενέργεια μπορεί να μεταβάλλεται από την μία μορφή στην άλλη όμως το συνολικό ποσό παραμένει σταθερό

**Ποιος είναι ο ορισμός της ενέργειας ?**

Λέμε ότι ένα σώμα περικλείει ενέργεια όταν έχει την δυνατότητα παραγωγής έργου

## ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

- **Α' Νόμος :** είναι απλά μια διατύπωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας και υποστηρίζει ότι η ενέργεια είναι μια θερμοδυναμική ιδιότητα
- **Β' Νόμος :** υποστηρίζει ότι η ενέργεια εκτός από ποσότητα έχει και ποιότητα και ότι οι πραγματικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα στην κατεύθυνση ελάττωσης της ποιότητας της ενέργειας

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

- Ένα ποτήρι ζεστού καφέ θα κρυώσει με την πάροδο του χρόνου ενώ ένα ποτήρι κρύου καφέ δεν πρόκειται ποτέ να θερμανθεί από μόνο του.

Η ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας που περιέχει το ποτήρι υποβαθμίζεται, δηλαδή μετατρέπεται σε μια λιγότερη χρήσιμη μορφή ενέργειας χαμηλότερης θερμοκρασίας καθώς μεταφέρεται θερμότητα από το ποτήρι στον αέρα του δωματίου που το περιβάλλει.

**Θερμοδυναμική** η επιστήμη που μελετά:

1. Θερμοδυναμικά συστήματα
2. Ενεργειακές καταστάσεις σε ισορροπία
3. Συναλλαγές ενέργειας (έργο + θερμότητα)

Ειδικοί κλάδοι: **Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική** και **Φυσικοχημεία**

Η θερμοδυναμική **διακρίνεται** σε:

## 1. Κλασική Θερμοδυναμική

Μελετά μακροσκοπικά φαινόμενα και δεν απαιτεί τη γνώση της συμπεριφοράς των μεμονωμένων σωματιδίων (π.χ. των μορίων).

(19ου αιώνα *Clausius*, *Kelvin* και *Joule* και το πρώτο μισό του 19ου αιώνα *Carnot*)

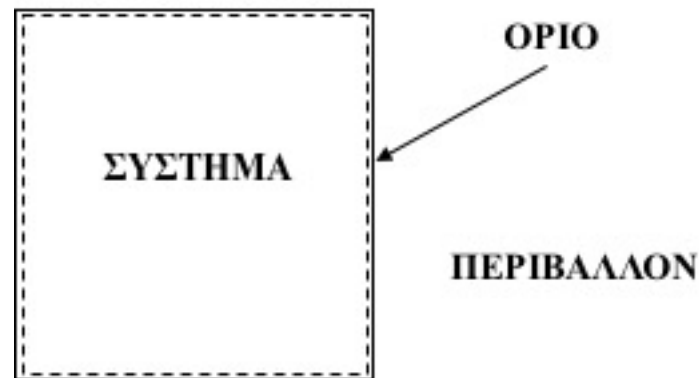
## 2. Στατιστική Θερμοδυναμική

Αποτελεί συνδυασμό στατιστικής μηχανικής, κινητικής θεωρίας, κβαντομηχανικής και στατιστικής. Είναι μια λεπτομερής προσέγγιση που βασίζεται στην μέση συμπεριφορά ενός μεγάλου πλήθους σωματιδίων. (*Boltzmann* και *Gibbs* στα τέλη του 19ου αιώνα).

**Θερμοδυναμικό σύστημα:** μία ποσότητα ύλης (μάζα) ή μία περιοχή στο χώρο (όγκος), η οποία έχει επιλεγεί για μελέτη

**Περιβάλλον:** η μάζα ή η περιοχή έξω από το σύστημα

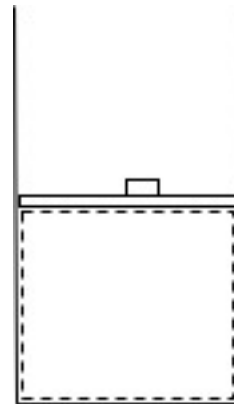
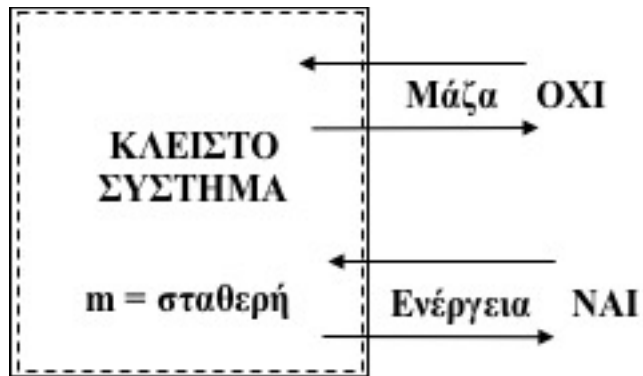
**Οριακή επιφάνεια ή όριο:** η πραγματική ή η νοητή επιφάνεια που χωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον. Τα όρια μπορεί να είναι σταθερά ή να μετακινούνται. Έχουν μηδενικό πάχος δηλ. είναι δυνατό δεν έχουν μάζα ή όγκο.



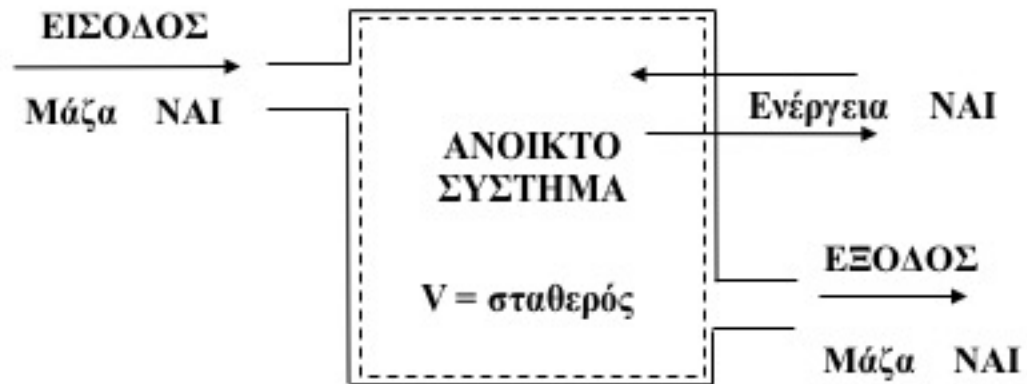
**Διεργασία ή μεταβολή:** οποιαδήποτε φυσική ή χημική μεταβολή συμβαίνει σ' ένα σύστημα.

## Κλειστό σύστημα ή μάζα ελέγχου:

- σταθερή ποσότητα μάζας: μάζα δεν μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει από το σύστημα
- ο όγκος ενός κλειστού συστήματος δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερός.
- μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει ενέργεια (θερμότητα, έργο)

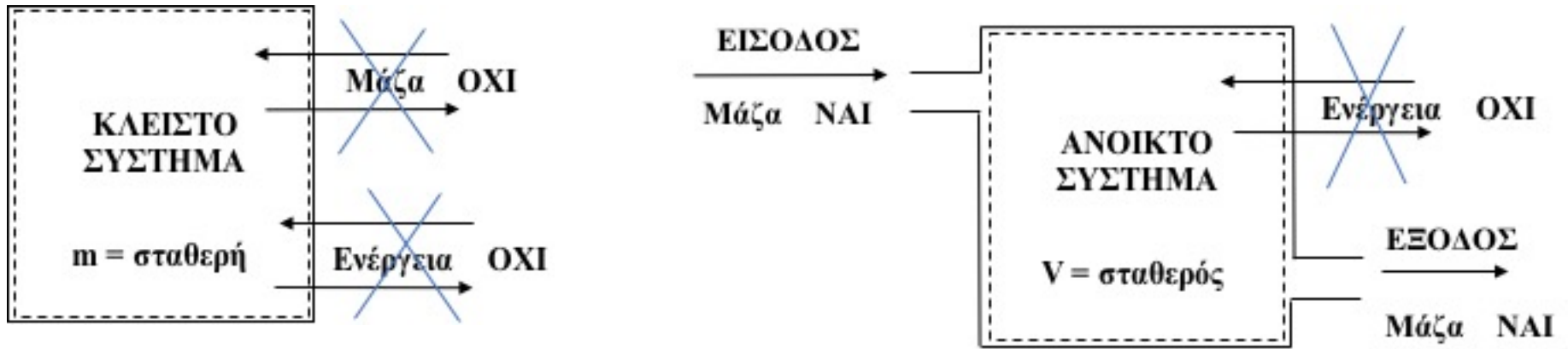


**Ανοικτό σύστημα ή όγκος ελέγχου:** μια κατάλληλα επιλεγμένη περιοχή του χώρου, που περιλαμβάνει ροή μάζας.





**Μονωμένο:** ούτε η ενέργεια διαπερνάει τις οριακές επιφάνειες



## Τυπικά παραδείγματα συστημάτων

Κλειστού συστήματος: **εσωτερικό διάταξης εμβόλου-κυλίνδρου**

- σταθερή μάζα,
- μεταβολή της θέσης οριακών επιφανειών (όγκου)
- ανταλλαγή θερμότητας και έργου

Ανοικτού συστήματος: **εναλλάκτης θερμότητας, αεριοστρόβιλος (συμπιεστής, στρόβιλος, διαχύτης, ακροφύσιο)**

- ροή μάζας,
- σταθερή θέση οριακών επιφανειών (όγκου),
- ανταλλαγή θερμότητας και έργου

## Κρίσιμη προϋπόθεση για την λύση των ασκήσεων

**Καθορισμός του είδους του συστήματος!**

Αιτία: οι θερμοδυναμικές σχέσεις που ισχύουν για κλειστά και ανοικτά για συστήματα είναι διαφορετικές.

**Θερμοδυναμική ιδιότητα ή ιδιότητα:** κάθε χαρακτηριστικό ενός θερμοδυναμικού συστήματος, π.χ.: πίεση (P), η θερμοκρασία (T), ο όγκος (V), η μάζα (m), κ.α. ( ιξώδες, θερμική αγωγιμότητα, ηλεκτρική αντίσταση,...)

□ **Ανεξάρτητες** (π.χ. P, V, T, m)

□ **Εξαρτημένες** ορίζονται βάσει άλλων (π.χ. ρ, υ)

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

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

**Θερμοδυναμική ιδιότητα ή ιδιότητα:** κάθε χαρακτηριστικό ενός θερμοδυναμικού συστήματος, π.χ.: πίεση (P), η θερμοκρασία (T), ο όγκος (V), η μάζα (m), κ.α. ( ιξώδες, θερμική αγωγιμότητα, ηλεκτρική αντίσταση,...)

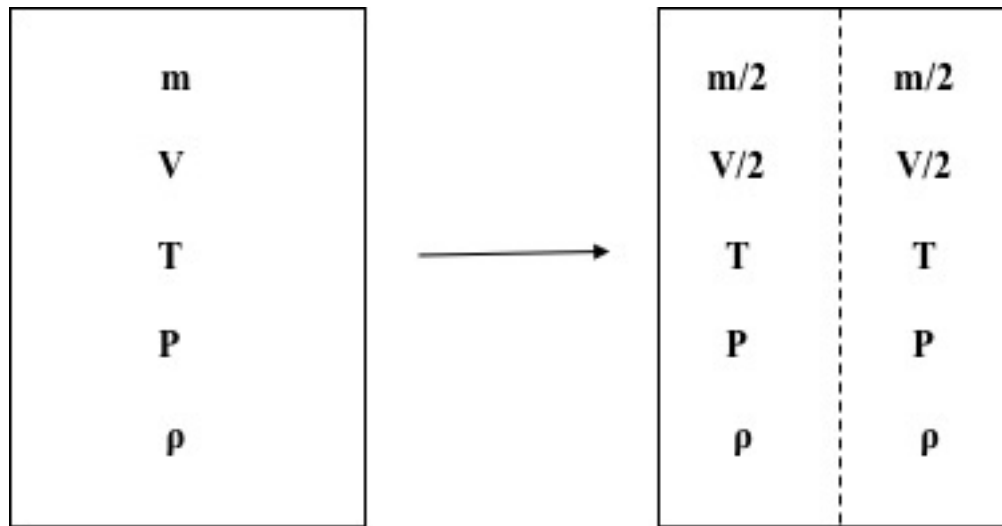
➤ **Εντατικές:** οι ιδιότητες των οποίων η τιμή δεν εξαρτάται από την ποσότητα μάζας του συστήματος ή αλλιώς από το μέγεθος του συστήματος όπως π.χ. πίεση, θερμοκρασία, πυκνότητα, κ.λπ.

Συμβολισμός: **με μικρά γράμματα**, με **εξαίρεση** τη θερμοκρασία (T) και την πίεση (P).

➤ **Εκτατικές:** οι ιδιότητες των οποίων η τιμή **εξαρτάται** από την ποσότητα μάζας του συστήματος, ή αλλιώς από **το μέγεθος του συστήματος** όπως για παράδειγμα μάζα (m), όγκος (V), εσωτερική ενέργεια (U), ενθαλπία (H), εντροπία (S) κ.λπ.

Συμβολίζονται **με κεφαλαία γράμματα** (η μάζα m, αποτελεί τη μόνη **εξαίρεση**).

Ένας τρόπος για να αναγνωρίζεται μια ιδιότητα εάν είναι εντατική ή εκτατική είναι η διαίρεση του συστήματος σε 2 ίσα μέρη



Κάθε τμήμα του αρχικού συστήματος θα έχει τις **ίδιες τιμές εντατικών ιδιοτήτων** με το αρχικό σύστημα ενώ **οι τιμές των εκτατικών ιδιοτήτων θα έχουν διαιρεθεί διά 2**

Οι εκτατικές ιδιότητες διακρίνονται και σε **ειδικές**, δηλαδή που είναι ανηγμένες στη μονάδα της μάζας  $m$ , δηλαδή σε ένα  $kg$ , Συμβολισμός: με μικρά γράμματα π.χ.:

- ειδικός όγκος  $v = V/m$ ,
- η ειδική εσωτερική ενέργεια  $u = U/m$

Κατά συνέπεια, όλες οι **ειδικές εκτατικές ιδιότητες** είναι τελικά **εντατικές**

**Ανηγμένα μεγέθη** που δεν είναι ιδιότητες:

ειδικό μηχανικό έργο  $w = W/m$ ,  
ειδική θερμική ενέργεια  $q = Q/m$

**Θερμοδυναμική κατάσταση** του συστήματος:

Η κατάσταση ενός οποιουδήποτε ομογενούς συστήματος - δεδομένης της μάζας του (κλειστό)- καθορίζεται πλήρως με την γνώση **δύο ανεξαρτήτων θερμοδυναμικών εντατικών ιδιοτήτων** αυτού.

Δύο ιδιότητες είναι ανεξάρτητες όταν η μία από αυτές μπορεί να μεταβάλλεται ενώ η άλλη παραμένει σταθερή

π.χ. οι  $P, T$  ( για μονοφασικά συστήματα) ή οι  $P, V$  , ή οι  $T, V$  και μία μηχανική (εξωτερική) ιδιότητα για κάθε εξωτερική επίδραση (ταχύτητα και ύψος).

**Απλό σύστημα:** απαιτεί δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους εντατικά καταστατικά μεγέθη, για να οριστεί μία κατάσταση ισορροπίας του

Π.χ. ειδικός όγκος ( $u$ ) και η πίεση ( $P$ )

Για να οριστεί και το **μέγεθος** ενός συστήματος απαιτείται ένα εκτατικό μέγεθος, όπως ο όγκος ( $V$ ) ή η μάζα ( $m$ )

Μέτρηση της ποσότητας:

- **μάζα**  $m$ , είναι ένα μέτρο της ποσότητας της ύλης (μονάδα μέτρησης: χιλιόγραμμα, kg).
- **όγκος**  $V$ , είναι ένα μέτρο της ποσότητας του χώρου που καταλαμβάνει το δείγμα (μονάδα μέτρησης: κυβικό μέτρο,  $m^3$ ).
- **αριθμός των γραμμομορίων** (*number of mols*),  $n$  είναι ένα μέτρο του αριθμού των καθορισμένων μορίων που περιέχονται σε μια ποσότητα ουσίας

**Άτομα** είναι τα ελάχιστα σωματίδια της ύλης των στοιχείων που μπορούν να αποτελέσουν τις χημικές ενώσεις και παραμένουν αναλλοίωτα κατά τις χημικές αντιδράσεις. Τα άτομα δε διασπώνται άλλο ούτε με φυσικές ούτε με χημικές μεθόδους.

**Μόρια** είναι τα μικρότερα σωματίδια ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης, που μπορούν να υπάρχουν σε ελεύθερη κατάσταση και να διατηρούν τις ιδιότητες της ουσίας στην οποία ανήκουν, Τα μόρια δε διασπώνται άλλο με φυσικές μεθόδους, αλλά μόνο με χημικές.

**Ατομικότητα** ( $A$ ), ενός στοιχείου ονομάζεται ο αριθμός που δείχνει από πόσα άτομα αποτελείται το μόριο ενός στοιχείου.

**Ατομικό Βάρος** ( $AB$ ), ενός στοιχείου λέγεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα ενός ατόμου του στοιχείου αυτού από το  $1 / 12$  της μάζας του ατόμου του άνθρακα 12. Είναι αδιάστατος αριθμός.



**Μοριακό Βάρος** ( $M_B$ ), ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης λέγεται ο αριθμός που δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η μάζα ενός μορίου του στοιχείου ή της χημικής ένωσης αυτού από το  $1/12$  της μάζας του ατόμου του άνθρακα 12. Είναι αδιάστατος αριθμός.

**Γραμμοάτομο** (grat), ενός στοιχείου ονομάζεται μία μάζα από αυτό που είναι τόσα γραμμάρια όσο το ατομικό βάρος και περιέχει  $6.023 \cdot 10^{23}$  άτομα. Για παράδειγμα το  $AB$  του στοιχείου οξυγόνου είναι 16, οπότε το γραμμοάτομο του θα είναι 16g.

**Γραμμομόριο** (mol), ενός στοιχείου ή μιας χημικής ένωσης ονομάζεται μία μάζα από αυτό που είναι τόσα γραμμάρια όσο το μοριακό βάρος και περιέχει  $6.023 \cdot 10^{23}$  μόρια. Για παράδειγμα το  $M_B$  της ένωσης  $HNO_3$  είναι 63, οπότε το γραμμομόριό του θα είναι 63g.

**Γραμμομοριακός όγκος** ( $V_m$ ) είναι ο όγκος που καταλαμβάνει κάθε γραμμομόριο αερίου. Σε κανονικές συνθήκες [Παράγραφος 2.2], είναι ίσος με 22.4l .

**Γραμμομοριακή μάζα**, είναι η μάζα ανά mol ατόμων, μορίων ή μονάδων τύπου μιας ουσίας. Μονάδα μέτρησης είναι το  $kg / kmol$  ή  $g / mol$ . Στην ουσία, η γραμμομοριακή μάζα στοιχείου είναι το  $AB$  σε g ανά grat, η γραμμομοριακή μάζα το  $M_B$  του στοιχείου ή της χημικής ένωσης σε g ανά mol. Συμβολίζεται με το γράμμα  $M$  ή συχνά με  $M_B$ .

Ο αριθμός των οντοτήτων ανά mol ονομάζεται **αριθμός του Avogadro**,  $N_A = 6,0231023 \text{ mol}^{-1}$

**Πίεση** που ασκεί ένα συστήμα (αέριο ή υγρό):

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Pa})$$

$$P = P_{\text{abs}} - P_{\alpha} \quad \text{για } P > P_{\alpha}$$

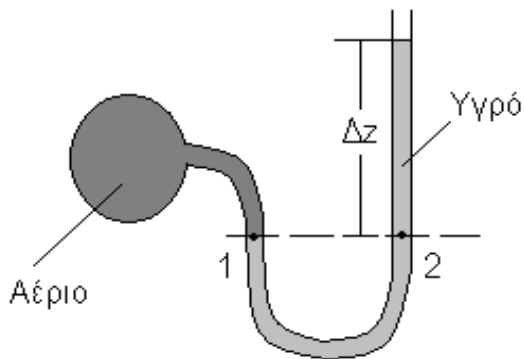
$$P = P_{\alpha} - P_{\text{abs}} \quad \text{για } P < P_{\alpha}$$

$P$ , η ένδειξη του οργάνου (**σχετική πίεση**)

$P_{\alpha}$ , **ατμοσφαιρική**

$P_{\text{abs}}$ , **απόλυτη πίεση**

**Μανόμετρα** μετρούν την πίεση και ειδικότερα μικρές και μέσες πιέσεις.

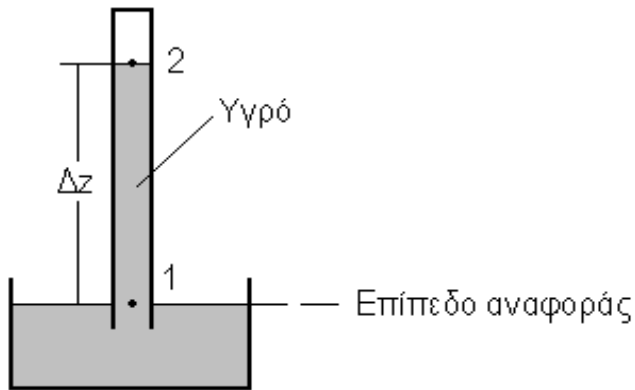


$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_2 = F_1 = F_{\alpha} + B \Rightarrow A \cdot P_1 = A \cdot P_{\alpha} + B$$

$$B = mg = \rho Vg = \rho Ag\Delta z$$

$$\Rightarrow P_1 = P_{\alpha} + \rho g\Delta z \Rightarrow \Delta P = P_1 - P_{\alpha} = \rho g\Delta z$$

Το **βαρόμετρο**: συσκευή μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης:



$$P_{\alpha} = \rho g \Delta z$$

**Θερμοκρασία**: ένα μέτρο που καθορίζει πόσο ζεστό ή κρύο είναι ένα σώμα ή ένα ρευστό. (καταστατικό και εντατικό μέγεθος)

**Θερμόμετρα** (*thermometers*) είναι οι συσκευές που μετρούν τη θερμοκρασία.

Θερμοκρασιακές κλίμακες:

**κλίμακα Celsius**: συμβολίζεται με (t) και οι βαθμοί °C. Μετρικό σύστημα

**κλίμακα Fahrenheit**: συμβολίζεται με T και οι βαθμοί °F. Αγγλικό σύστημα

**κλίμακα Rankine**. συμβολίζεται με T και οι βαθμοί R. Αγγλικό σύστημα

**κλίμακα Kelvin**. συμβολίζεται με T και οι βαθμοί K. Διεθνές Σύστημα (SI)

Χαρακτηριστικά σημεία 0°C ή 32°F ή 491.67R ή 273K,  
100°C ή 212°F ή 671R ή 373K

# Βασικές Έννοιες της Θερμοδυναμικής

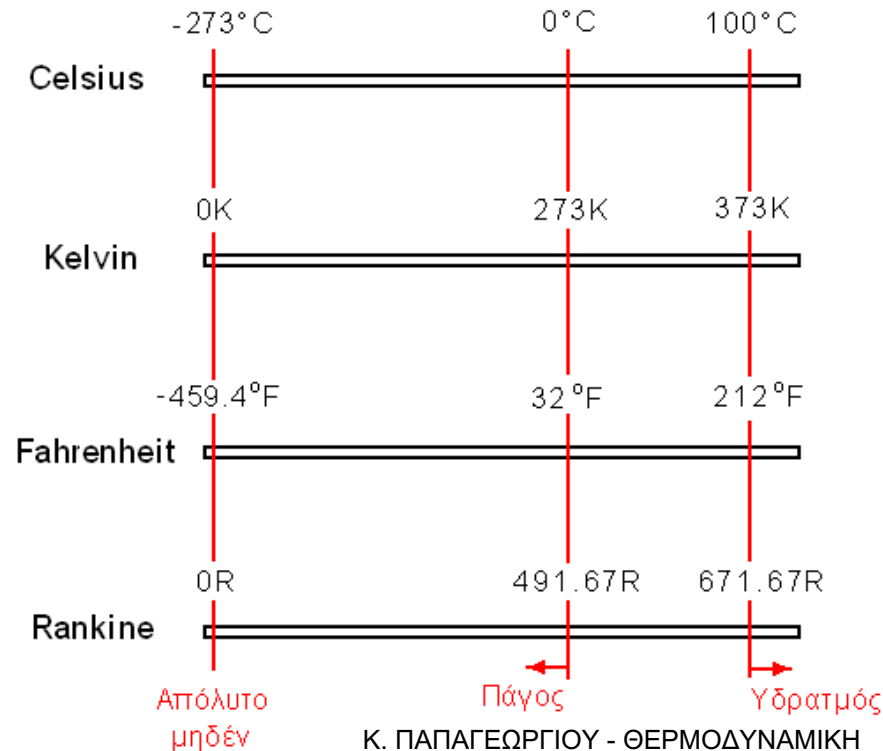
Οι κλίμακες *Kelvin* και *Celsius* συνδέονται με τη σχέση:  $T(K) = t(^{\circ}C) + 273.15$

Οι κλίμακες *Rankine* και *Fahrenheit* συνδέονται με τη σχέση:  $T(R) = T(^{\circ}F) + 459.67$

Οι κλίμακες *Rankine* και *Kelvin* συνδέονται με τη σχέση:  $T(R) = 1.8T(K)$

Οι κλίμακες *Fahrenheit* και *Celsius* συνδέονται με τη σχέση:  $T(^{\circ}F) = 1.8 \cdot t(^{\circ}C) + 32$

Οι υποδιαίρεσεις του 1K και 1 $^{\circ}$ C είναι οι ίδιες. Επομένως, η αύξηση της θερμοκρασίας μιας ουσίας κατά 10 $^{\circ}$ C ισούται με αύξηση 10K. Το ίδιο ισχύει και για τις κλίμακες *Rankine* και *Fahrenheit*.



Όταν ένα σύστημα έρχεται σ' άμεση επαφή μ' ένα άλλο σύστημα που βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία, τότε μια ποσότητα θερμότητας μεταφέρεται από το σύστημα με την υψηλότερη θερμοκρασία σ' αυτό με τη χαμηλότερη μέχρι η θερμοκρασία των δύο συστημάτων να εξισωθεί.

Τότε, η μεταφορά θερμότητας σταματάει και λέγεται ότι τα δύο συστήματα έφθασαν σε **θερμική ισορροπία**.

**Μηδενικός νόμος (αξίωμα) της θερμοδυναμικής:** όταν δύο συστήματα βρίσκονται σε θερμική ισορροπία μ' ένα τρίτο, τότε είναι σε θερμική ισορροπία και μεταξύ τους.

**Εργαζόμενο μέσο:** Η ουσία που περιέχεται εντός των ορίων ενός θερμοδυναμικού συστήματος

**Καθαρή ουσία (ομογενής):** η ουσία της οποίας η χημική σύσταση παραμένει σταθερή σε όλη την έκτασή της.

(το νερό, το άζωτο, το ήλιο και το CO<sub>2</sub>)

Μια καθαρή ουσία δεν είναι υποχρεωτικό να είναι ένα χημικό στοιχείο ή μία χημική ένωση. Ένα μίγμα χημικών στοιχείων ή ενώσεων μπορεί επίσης να είναι καθαρή ουσία, εφόσον είναι ομογενές.

## Αέρας

Στοιχεία ή ενώσεις (*)	Κατά mole ή κατά όγκο (%)	Κατά μάζα (%)
Άζωτο (N <sub>2</sub> )	78.08	75.52
Οξυγόνο (O <sub>2</sub> )	20.95	23.14
Αργό (Ar)	0.93	1.28
Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> )	0.03	0.05
Νέο (Ne)	0.002	0.001

Καθαρή ουσία (**ομογενές μίγμα**) μπορεί να είναι σε οποιαδήποτε από τις τρεις φάσεις: στερεή, υγρή ή αέρια (ατμός).

**Μίγμα δύο φάσεων** μιας καθαρής ουσίας π.χ. νερό και πάγος, είναι επίσης καθαρή ουσία, γιατί και οι δύο φάσεις έχουν την ίδια σύσταση.

**Ετερογενές μίγμα:** π.χ. μίγμα αέρα υγρής και αέριας φάσης, γιατί η σύσταση του υγρού αέρα και της αέριας φάσης δεν είναι ίδια. Γιατί τα στοιχεία ή ενώσεις του αέρα έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες συμπίεσης για συγκεκριμένη πίεση.

Νερό-λάδι ή νερό-πετρέλαιο, δεν είναι καθαρές ουσίες, γιατί το λάδι ή το πετρέλαιο δεν είναι διαλυτά στο νερό, έτσι το λαδί και το νερό αντίστοιχα, κατακάθονται στο κάτω μέρος του δοχείου στο οποίο περιέχονται σχηματίζοντας δύο χημικά ανόμοιες περιοχές.

**Λόγοι επιλογής του νερού** ως εργαζόμενου μέσου (σε υγρή ή αέρια φάση) :

- Βρίσκεται άφθονο στη Γη και με μικρό κόστος επεξεργασίας.
- Έχει πολύ καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες, (π.χ. μεγάλη ειδική θερμότητα τόσο στην υγρή, όσο και στην αέρια φάση).
- Έχει πολύ καλή χημική συμπεριφορά. Δεν μολύνει, ούτε ρυπαίνει την ατμόσφαιρα.
- Στη μορφή με την οποία χρησιμοποιείται (απαλλαγμένο από ελεύθερα ιόντα-αποσταγμένο) δεν αντιδρά άμεσα με τα μέταλλα και τα υλικά των εγκαταστάσεων.

Κύριες **φάσεις**, (*phases*): στερεά, υγρή και αέρια.

Μπορεί μια ουσία μπορεί να βρίσκεται σε διάφορες φάσεις μέσα σε μια κύρια φάση όπου η κάθε μία να έχει διαφορετική μοριακή δομή.

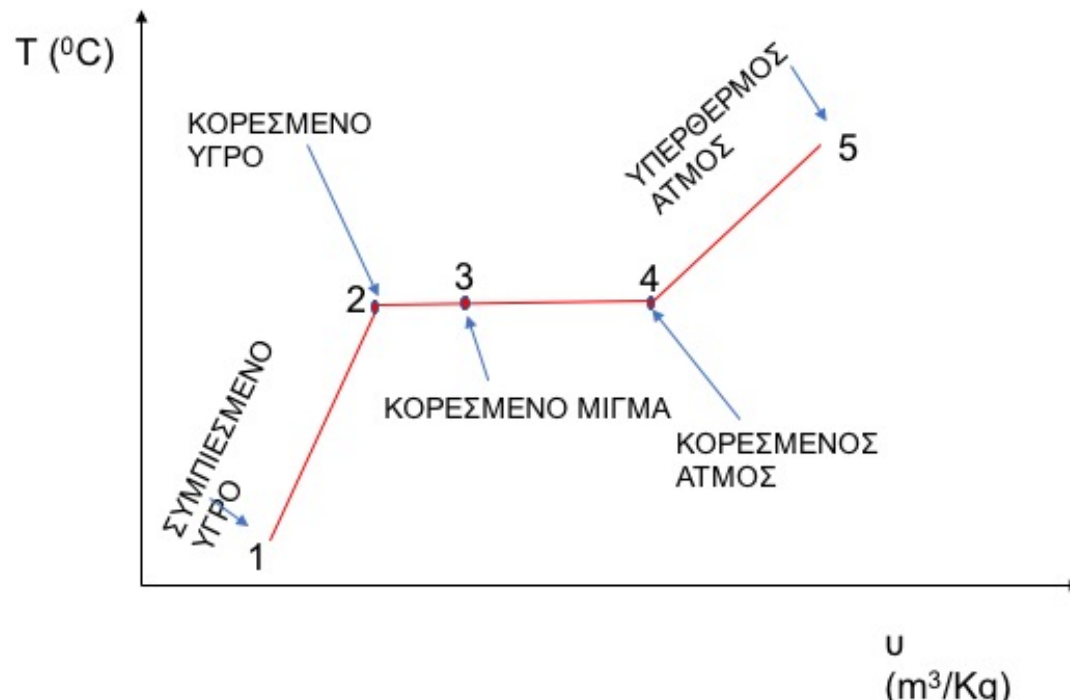
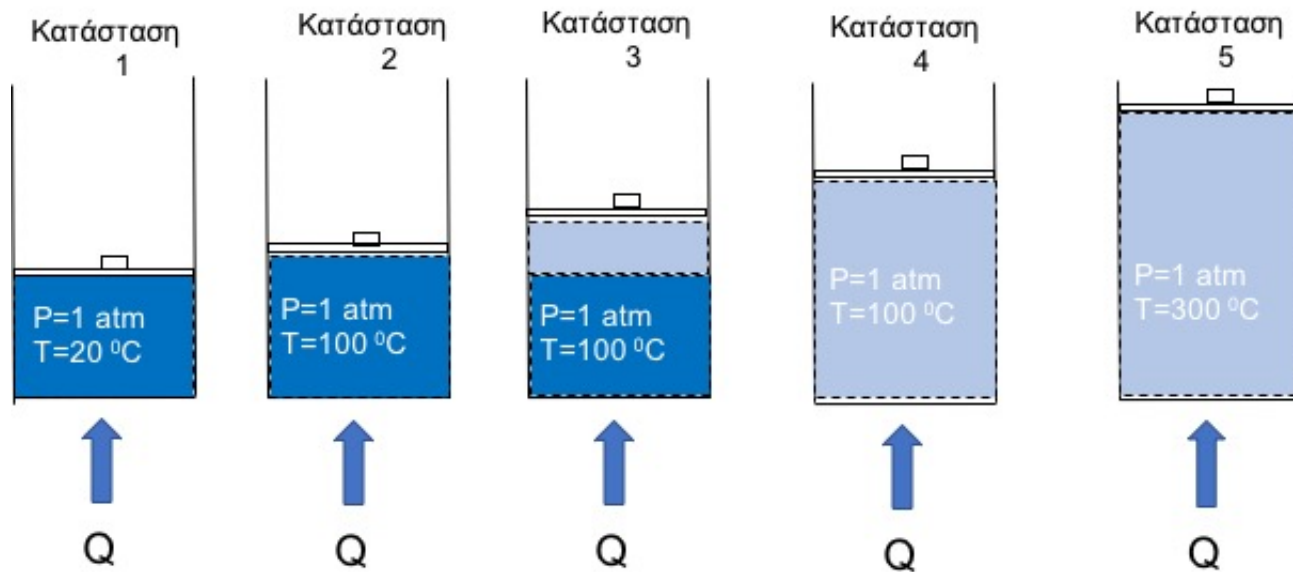
π.χ. Ο σίδηρος Fe, τρεις διαφορετικές στερεές φάσεις:

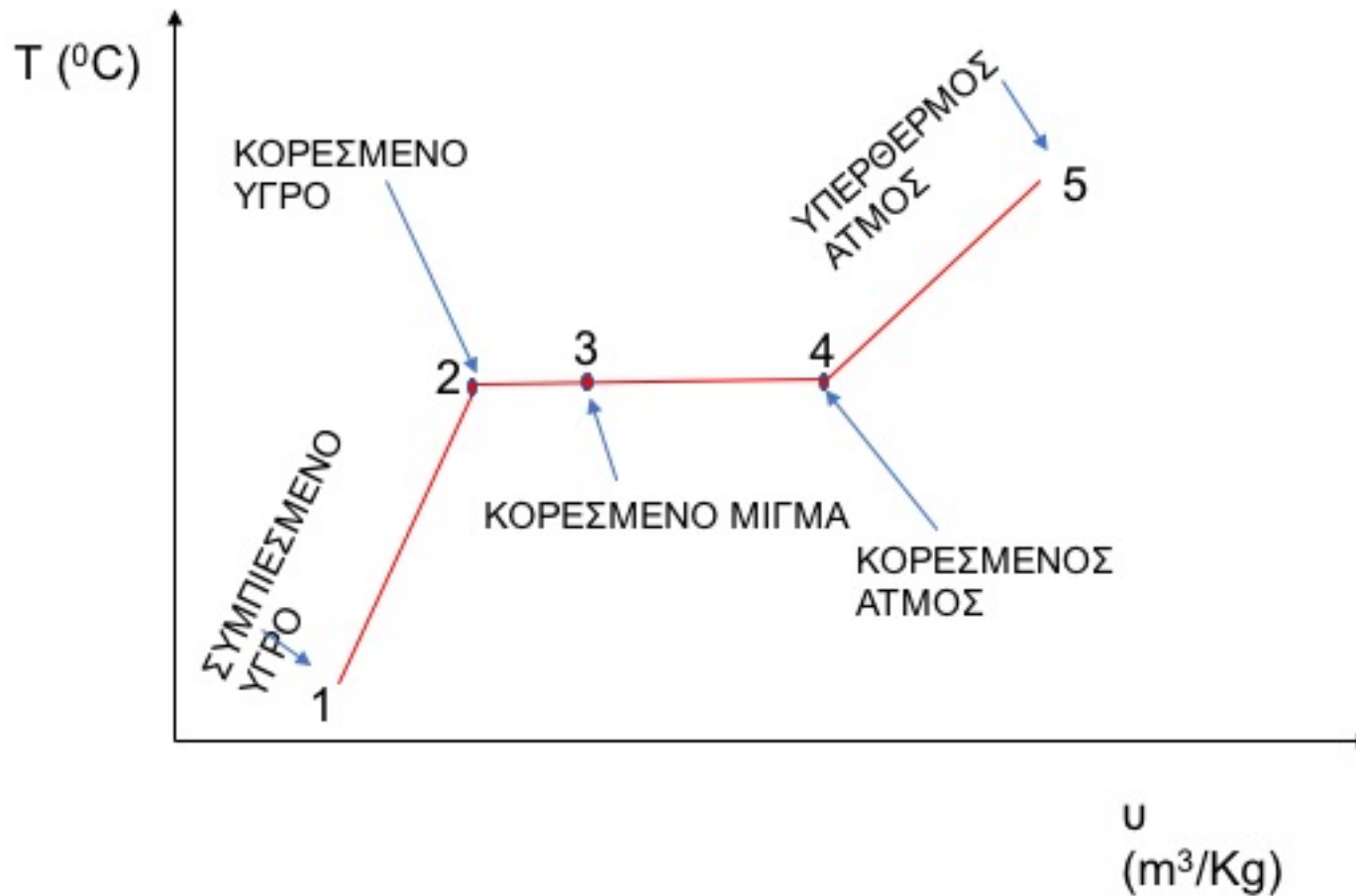
α-Fe (φερίτης), γ-Fe (ωστενίτης) και δ-Fe (δ-φερίτης).

Μια φάση διακρίνεται από το γεγονός ότι έχει μια αυστηρά καθορισμένη διάταξη των μορίων της σ' όλη της την έκταση και ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες φάσεις με διακριτές οριακές επιφάνειες.

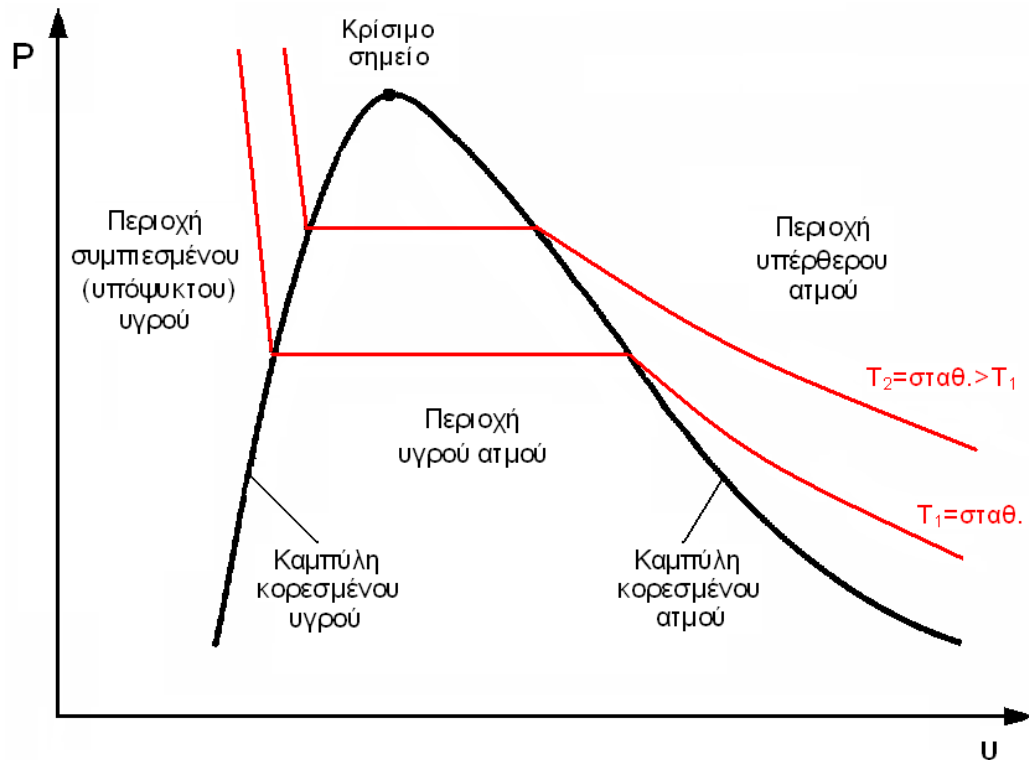
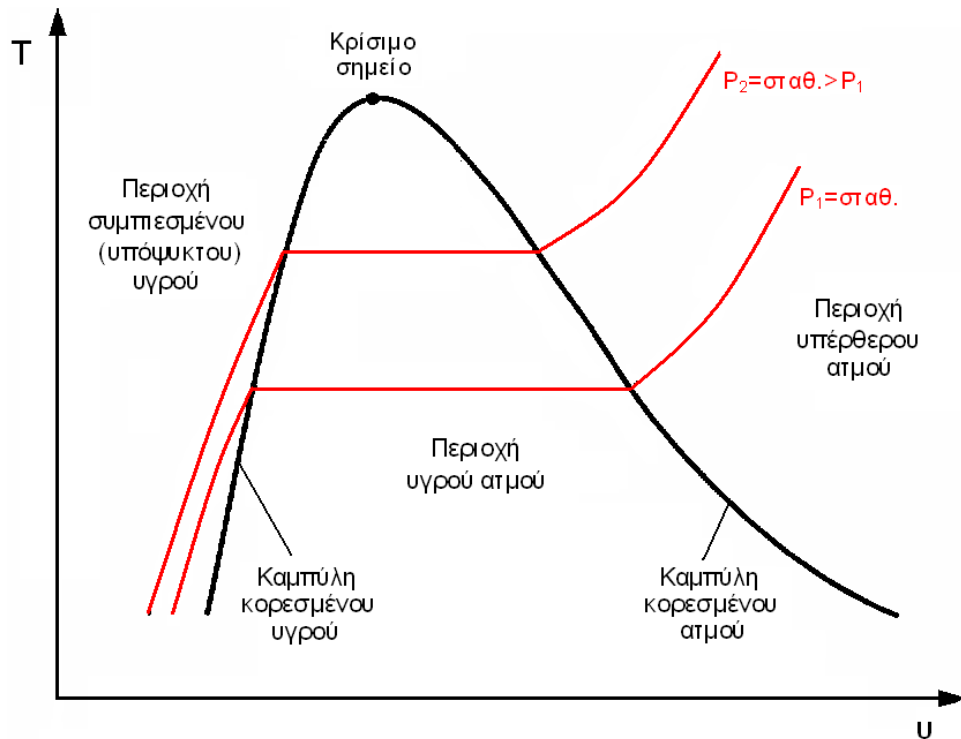


# ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΘΑΡΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

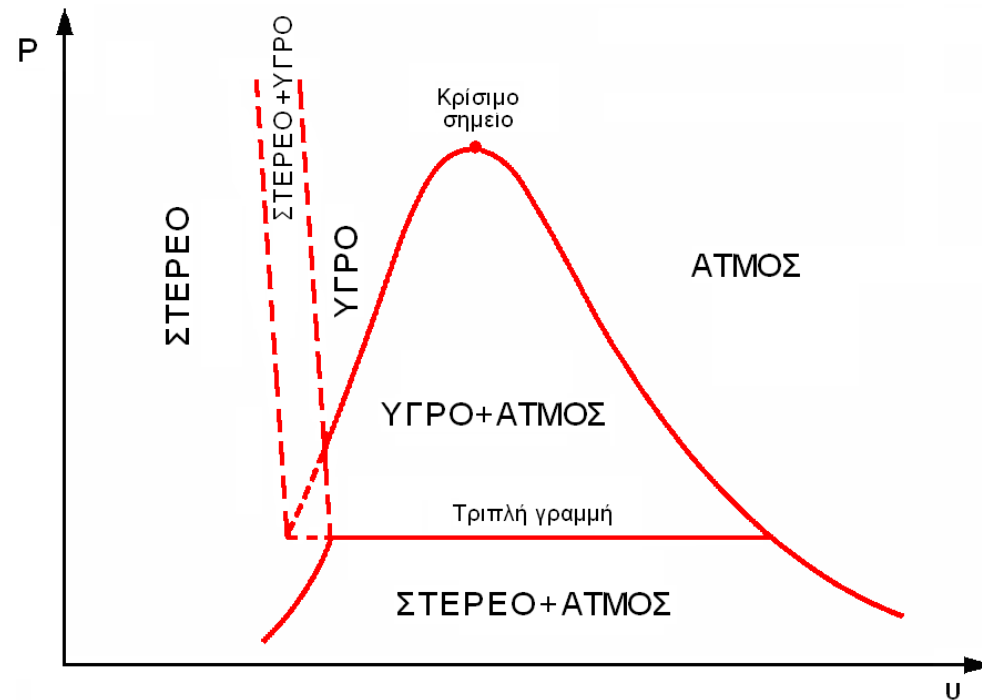
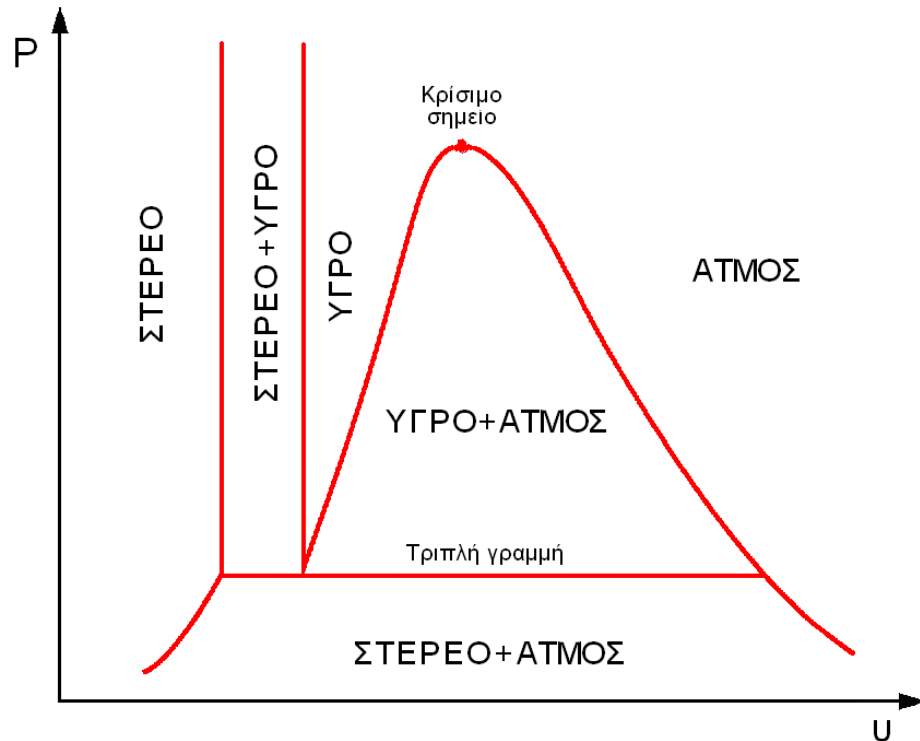




Διαγράμματα  $T - u$  και  $P - u$  (για 2 φάσεις: υγρό + αέριο)



Διαγράμματα P – u (για 3 φάσεις: στερεό + υγρό + αέριο)



μιας καθαρής ουσίας η οποία **A.** συστέλλεται **B.** διαστέλλεται κατά την πήξη

## Λανθάνουσα θερμότητα (μη αισθητή θερμότητα)

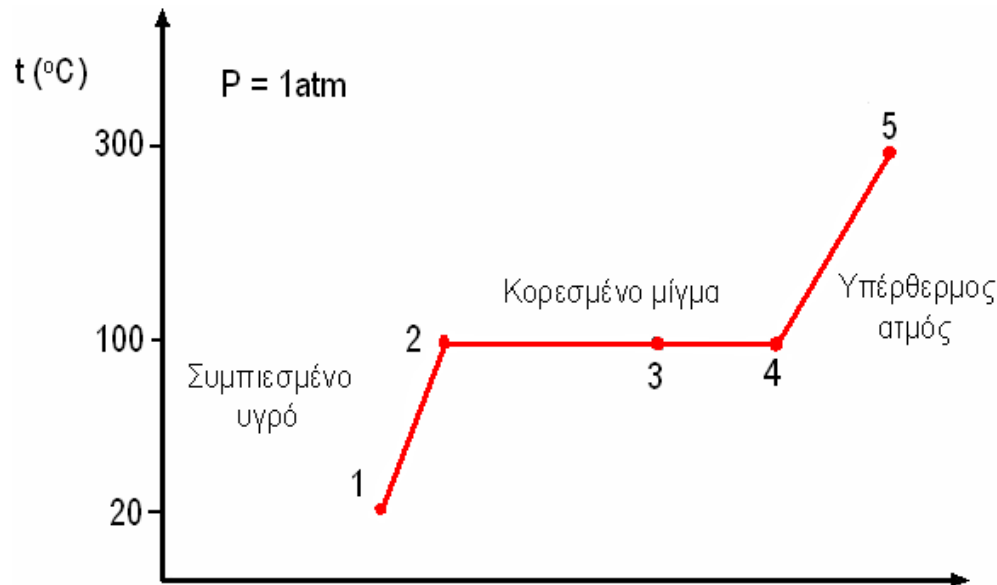
Σε πιέσεις μεγαλύτερες της **κρίσιμης πίεσης** δεν υπάρχει διακριτή διαδικασία αλλαγής φάσης. Στις πιέσεις αυτές, ο ειδικός όγκος της ουσίας αυξάνεται συνεχώς και σε κάθε χρονική στιγμή είναι **παρούσα μόνο μια φάση** της ουσίας.

**κρίσιμο σημείο νερού:** πίεση 220.5bar και θερμοκρασία 373°C

**Ποιότητα ατμού** (*steam quality*) ή **βαθμός ξηρότητας** (*dryness fraction*) ή **κλάσμα υγροποιημένου ατμού** (*steam fraction, x*):

το κλάσμα (κατά μάζα) του νερού που βρίσκεται στη φάση του ατμού.

Είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 (100% υγρό) και 1 (100% ατμός).



$$x = \frac{m_g}{m_{tot}}$$

Μια ουσία μπορεί να μετατραπεί από τη στερεά στην αέρια φάση με τους εξής τρόπους:

στερεά φάση  $\xrightarrow{\text{τήξη}}$  υγρή φάση  $\xrightarrow{\text{ατμοποίηση}}$  αέρια φάση

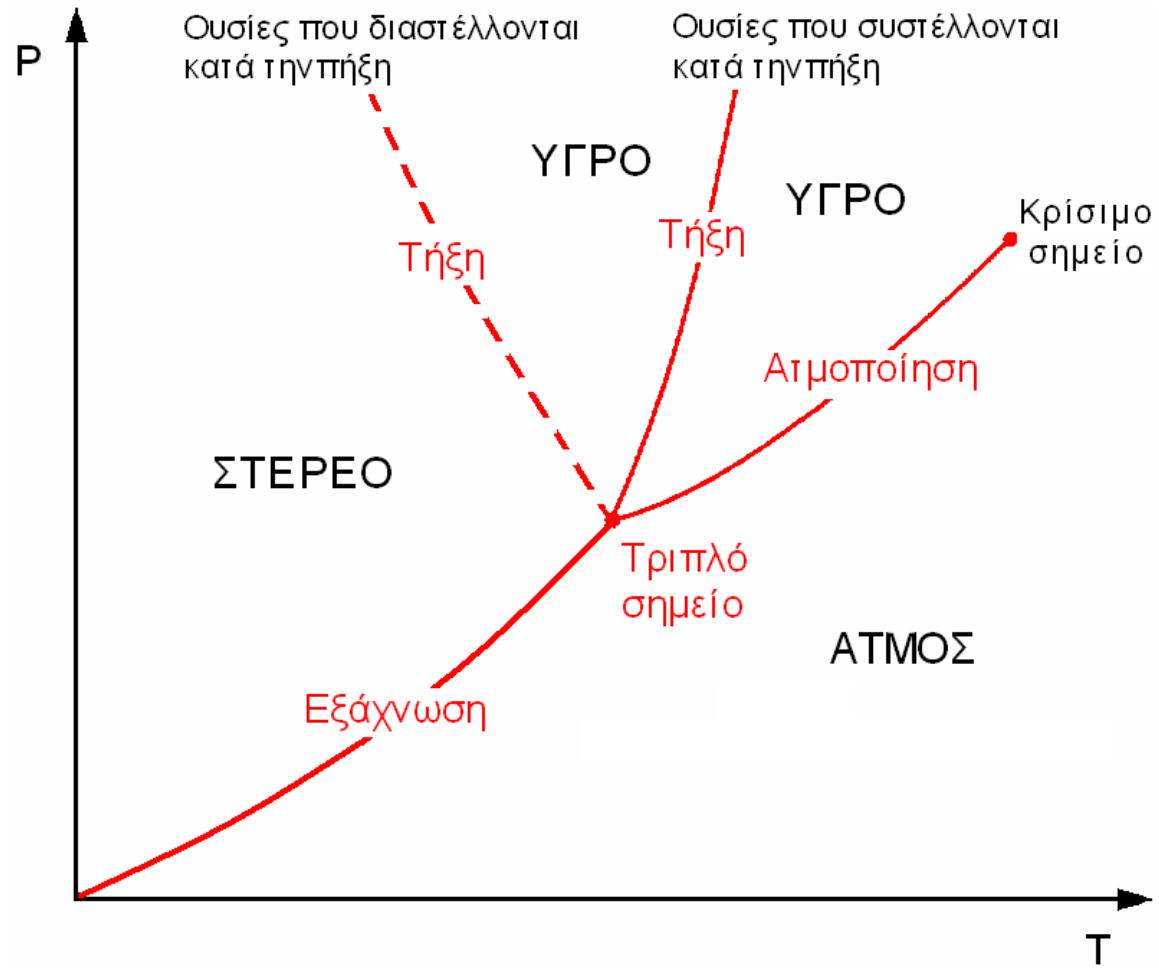
στερεά φάση  $\xrightarrow{\text{εξάχνωση}}$  αέρια φάση

Ο πρώτος τρόπος είναι και πιο κοινός.

Ο δεύτερος τρόπος εμφανίζεται σε πιέσεις χαμηλότερες της τιμής του τριπλού σημείου, αφού στις πιέσεις αυτές μια καθαρή ουσία δεν μπορεί να υφίσταται σε υγρή κατάσταση. Η απευθείας μετάβαση από τη στερεά στην αέρια φάση ονομάζεται **εξάχνωση** (*sublimation*).

Το στερεοποιημένο CO<sub>2</sub> (ξηρός πάγος), είναι μία ουσία που έχει πίεση τριπλού σημείου μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής πίεσης, οπότε η εξάχνωση είναι ο μόνος τρόπος μετατροπής της στερεάς στην αέρια φάση, σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Διάγραμμα P-T:



Η ενθαλπία είναι μια συνδυαστική ιδιότητα που ορίζεται ως εξής:

$$H = U + PV$$

ΕΝΘΑΛΠΙΑ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ή ανά μονάδα μάζης:

$$h = u + Pv$$