

Κυματική Ρευστά Θερμοδυναμική (Θερμοδυναμική)

Αργύρης Λασκαράκης
Επ. Καθηγητής
Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ

alask@physics.auth.gr



Σημαντική Ανακοίνωση

Η Γενική Φυσική II του παλαιού προγράμματος **δεν συμπεριλαμβάνεται** στα μαθήματα του νέου προγράμματος σπουδών.

Οι **φοιτητές 4ου και ανωτέρων εξαμήνων** που οφείλουν το μάθημα της Γενικής Φυσικής II του παλαιού προγράμματος μπορούν να παρακολουθήσουν τις παραδόσεις του μαθήματος ως εξής:

1) Το **πρώτο μισό του μαθήματος** ταυτίζεται με το μισό του μαθήματος «Κύματα-Ρευστά-Θερμοδυναμική» του νέου προγράμματος. Στο μάθημα αυτό η διδασκαλία θα ξεκινήσει από τη «Θερμοδυναμική». Για το πρώτο μέρος, λοιπόν, τα προγράμματα διδασκαλίας των δύο μαθημάτων (αίθουσες και ώρες) **ΤΑΥΤΙΖΟΝΤΑΙ. ΔΕΝ ΘΑ ΓΙΝΟΥΝ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ.**

2) Το **δεύτερο μισό του μαθήματος** της Γενικής Φυσικής II του παλαιού προγράμματος θα διδαχθεί σε **ΔΥΟ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ** με βάση πρόγραμμα που θα ανακοινωθεί τον Απρίλιο.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Για τους **φοιτητές του 2ου εξαμήνου** το δεύτερο μισό του μαθήματος (Κύματα-Ρευστά) θα συνεχισθεί να διδάσκεται πάλι σε **ΤΡΙΑ** τμήματα, στις ίδιες αίθουσες και ώρες.



Πρόγραμμα Μαθημάτων

- Τρίτη 9-11 (Δ13)
- Πέμπτη 9-11 (Δ13)
- Παρασκευή 10-11 (Δ13)



Περιεχόμενα Μαθήματος

- Εισαγωγικές Έννοιες (week 1)
 - Γενικά για την Θερμοδυναμική
 - Νόμοι, Θερμοδυναμικά Συστήματα, Μεταβλητές
 - Ισορροπία
 - Διεργασίες-Μεταβολές
- Ο μηδενικός νόμος (week 1)
- Θερμοκρασία — Κλίμακες θερμοκρασίας
 - Κλίμακα κελσίου, Κλίμακα ιδανικών αερίων
- 1^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής (week 2)
- Θερμότητα
- Εσωτερική Ενέργεια
- Έργο
- Θερμοχωρητικότητες (week 3)
- Θερμικές Μηχανές
- 2^{ος} Νόμος Θερμοδυναμικής (week 4)
- Εντροπία (week 5)
- Ασκήσεις (week 6)



Η ΠΡΟΕΛΥΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

- Η αυξημένη μηχανοποίηση κατά την διάρκεια του 19^{ου} αιώνα περιλάμβανε την κατασκευή μηχανών, όπως η **Ατμομηχανή**.
- Η ανάπτυξη της Θερμοδυναμικής ξεκίνησε από την μελέτη αυτών των μηχανών. Η αρχική ανάπτυξη υπήρξε ραγδαία.
- Μέχρι το 1900, ο κλάδος της Θερμοδυναμικής είχε εδραιωθεί και παρόλο που οι αρχικές εφαρμογές περιορίζονταν στον κλάδο των θερμικών μηχανών, οι νόμοι της σύντομα αναγνωρίστηκαν ως τέτοιας ευρείας γενικότητας ώστε, να είναι επίσης χρήσιμοι και σπουδαίοι και σε πολλούς άλλους κλάδους της επιστήμης.
- **Η Θερμοδυναμική βρίσκει εφαρμογή σε κάθε διεργασία, στην οποία παίζει σημαντικό ρόλο η θερμότητα ή η θερμοκρασία.**
- Στη Φυσική, μας παρέχει έναν τρόπο, με τον οποίο μπορούμε να κατανοήσουμε φαινόμενα τόσο διαφορετικά μεταξύ τους, όπως η θερμική ακτινοβολία αφενός και οι ιδιότητες των παραμαγνητικών αλάτων στις χαμηλές θερμοκρασίες αφετέρου. Παρέχει τη βασική θεωρία των χημικών αντιδράσεων, και αποτελεί τη βάση της Χημικής Μηχανικής. Βρίσκει εφαρμογή όχι μόνο σε Ατμομηχανές, αλλά στα φαινόμενα ψύξης και στην Πυραυλική Επιστήμη.



Βασικές Έννοιες

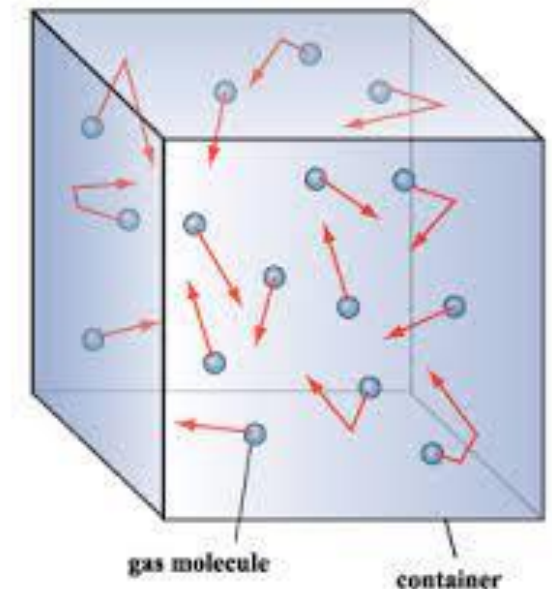
Η Θερμοδυναμική έχει τη δυνατότητα να περιγράψει και να συσχετίσει τις άμεσα παρατηρήσιμες ιδιότητες των ουσιών (**μακροσκοπικές ποσότητες**):

- τον όγκο ενός αερίου,
- την διαστολή ενός σύρματος,
- την πόλωση ενός διηλεκτρικού
- ????

Οι νόμοι της Θερμοδυναμικής καθιστούν δυνατό να αλληλο-συσχετίσουμε τις μακροσκοπικές ποσότητες *χωρίς να κάνουμε καθόλου μικροσκοπικές υποθέσεις*.

Μπορούμε να συσχετίσουμε συγκεκριμένες μακροσκοπικές συμπεριφορές με συγκεκριμένα γενικά είδη μικροσκοπικών μεταβολών

Παρόλα αυτά, από τη στιγμή που δεν υπάρχουν μικροσκοπικές υποθέσεις στην θεωρία της Θερμοδυναμικής, είναι **αδύνατο να ταυτοποιήσουμε μια μικροσκοπική διεργασία αποκλειστικά με θερμοδυναμική αιτιολόγηση**.

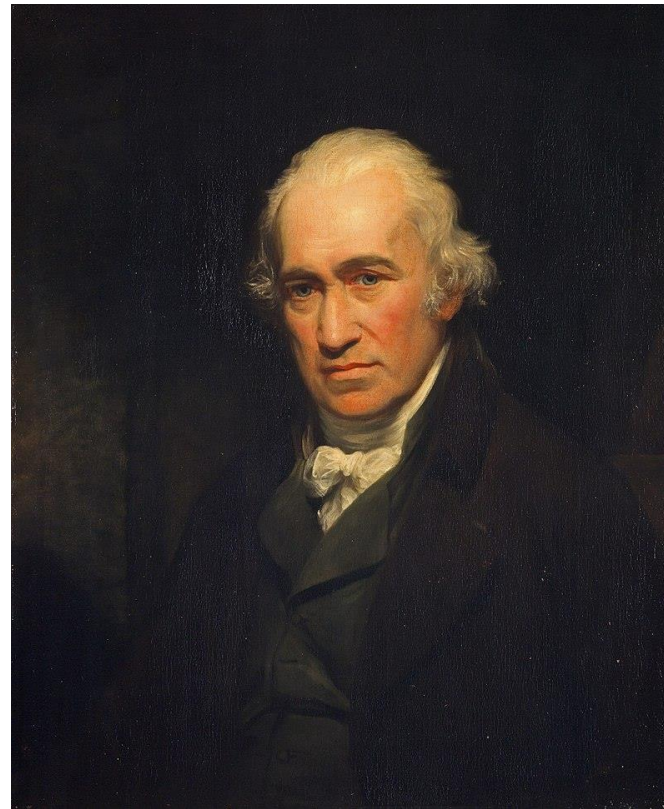


Μια ματιά στην Ιστορία της Θερμοδυναμικής



Ήρων ο Αλεξανδρεύς
(Αλεξάνδρεια, 10 μ.Χ. - 75 μ.Χ.)

Μηχανικός και εφευρέτης, του οποίου η πιο διάσημη εφεύρεση ήταν η **αιολόσφαιρα**, η πρώτη ατμομηχανή στην παγκόσμια ιστορία



James Watt (1736-1819)



Μια ματιά στην Ιστορία της Θερμοδυναμικής



Αντικείμενο της Θερμοδυναμικής

Θερμοδυναμική: Κλάδος της Φυσικής που ασχολείται με την Ενέργεια και τις μετατροπές της

Νόμοι & Αξιώματα:

Γενικοί περιορισμοί που εισάγει η Φύση στους μετασχηματισμούς-διακίνηση της ενέργειας

Οι Νόμοι είναι ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΟΙ:

- ΔΕΝ προκύπτουν από απλούστερους νόμους
- Τους αποδεχόμαστε μέσω πειραματικής επαλήθευσης

Ενέργεια: Αφηρημένη έννοια, η οποία εκφράζεται μέσω μαθηματικής διατύπωσης με φυσικά μετρήσιμα μεγέθη

1^{ος} Αξιοματικός Νόμος : Δηλώνει την ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Θερμοδυναμικό Σύστημα

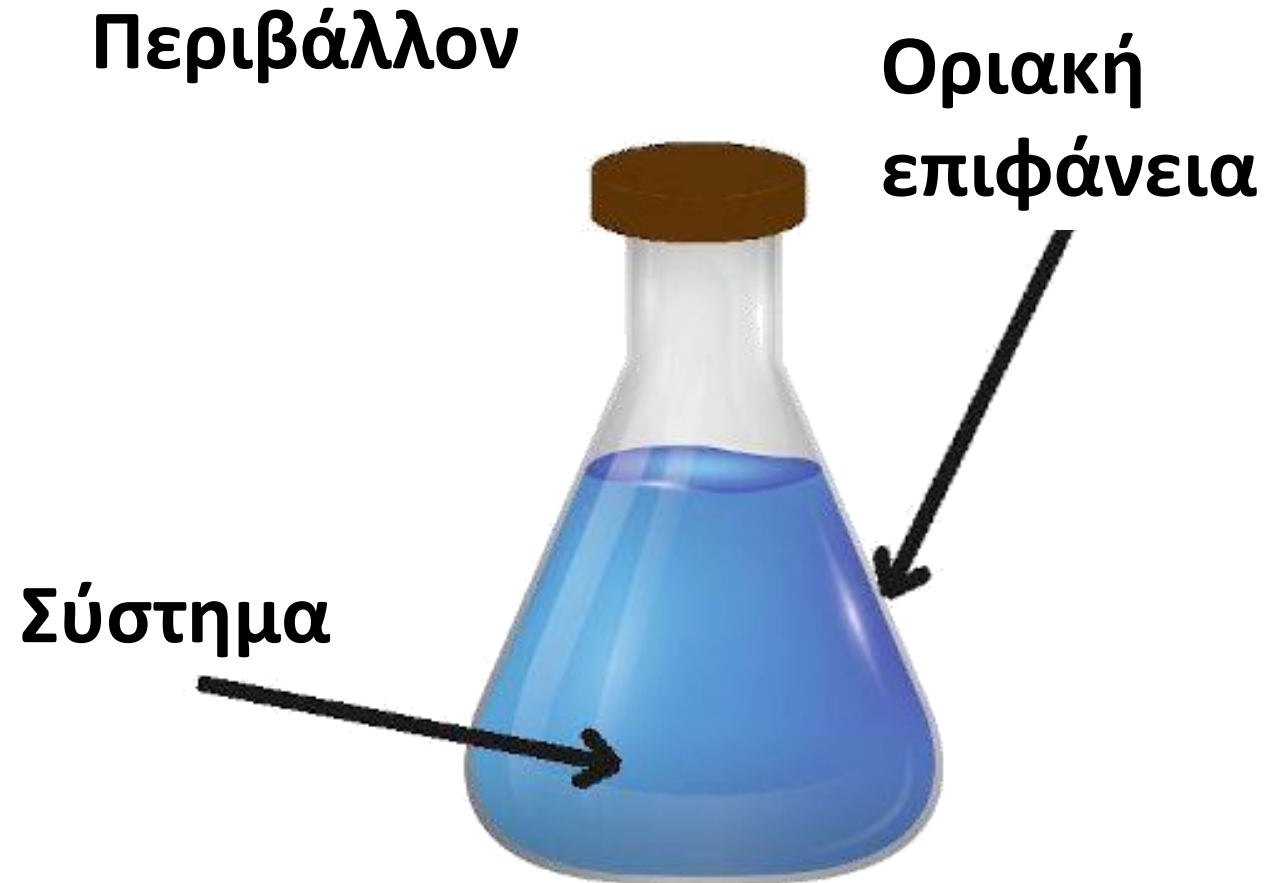
Ένα Θερμοδυναμικό Σύστημα είναι εκείνο το τμήμα του Σύμπαντος, το οποίο επιλέγουμε για μελέτη.

Ένα σύστημα μπορεί να είναι απλό ή σύνθετο, μπορεί να είναι ομοιογενές ή να αποτελείται από πολλά, διαφορετικά μέρη.

Ένα αέριο μέσα σε κύλινδρο, αποτελεί παράδειγμα απλού συστήματος.

Ένα μίγμα φαινόλης και νερού είναι παράδειγμα πιο πολύπλοκου συστήματος, αφού περιέχει δυο διαφορετικές ουσίες ή συστατικά, και για συγκεκριμένες συγκεντρώσεις και θερμοκρασίες διαχωρίζεται σε δυο φάσεις.

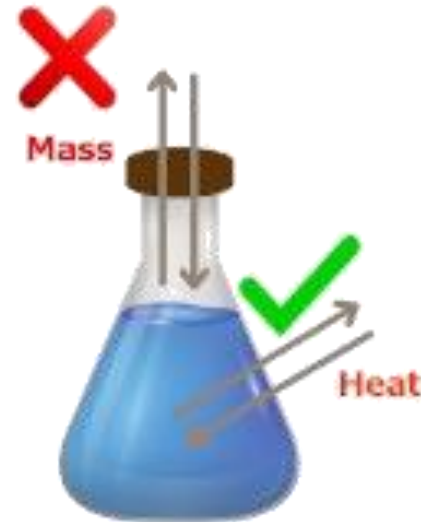
Ως φάση, ορίζουμε ένα σύστημα ή ένα μέρος του συστήματος, το οποίο είναι ομοιογενές και έχει καθορισμένα σύνορα



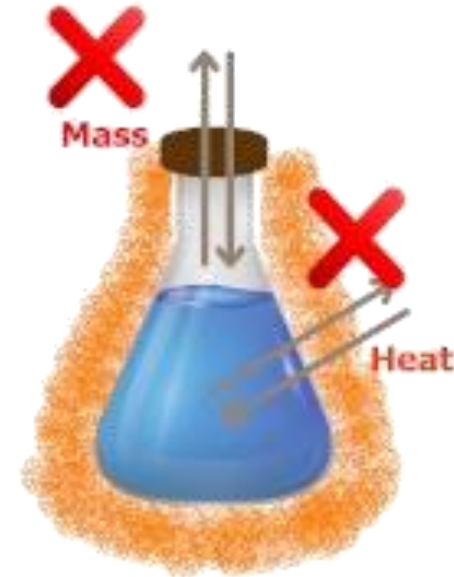
Θερμοδυναμικό Σύστημα



Ανοικτό Σύστημα



Κλειστό Σύστημα



Απομονωμένο Σύστημα

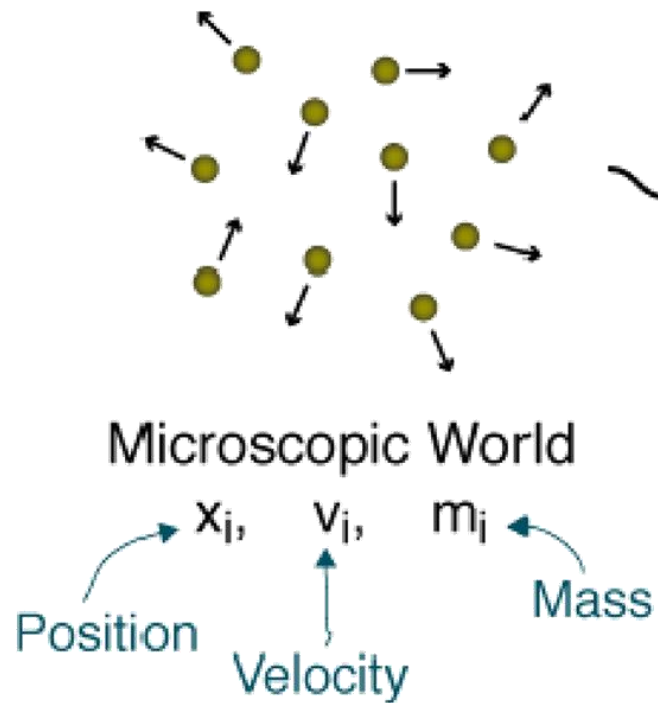
Ανοικτό Σύστημα	Κλειστό Σύστημα	Απομονωμένο Σύστημα
Μεταφορά μάζας (ΝΑΙ)	Μεταφορά μάζας (ΟΧΙ)	Μεταφορά μάζας (ΟΧΙ)
Μεταφορά Θερμότητας (ΝΑΙ)	Μεταφορά Θερμότητας (ΝΑΙ)	Μεταφορά Θερμότητας (ΟΧΙ)

Thermodynamic Systems



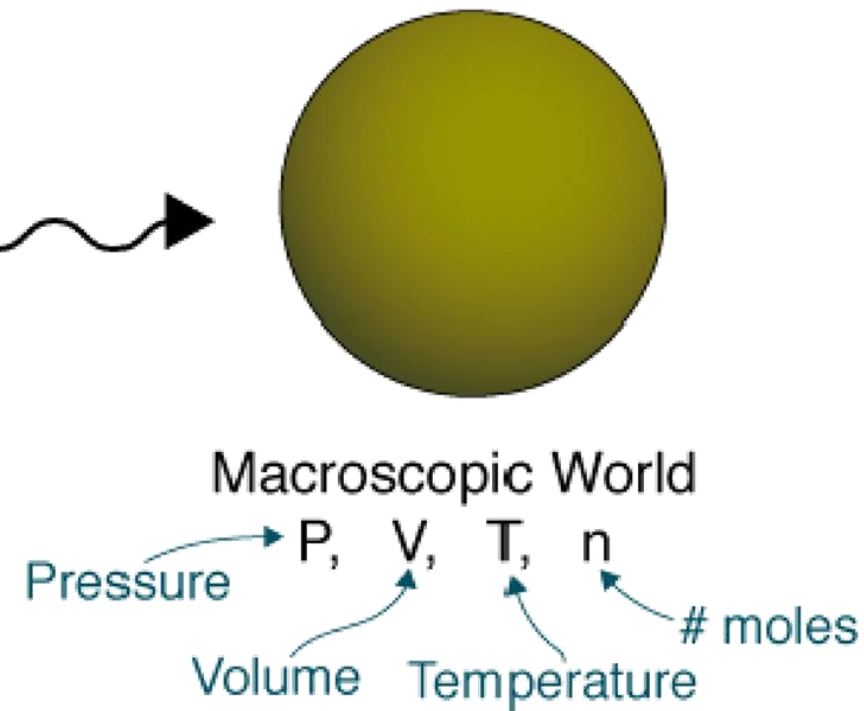
Πως μελετάμε τα Θερμοδυναμικά Συστήματα?

**ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**



ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ

**ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ
ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

Κατάσταση Θερμοδυναμικού Συστήματος

Ισορροπία ΘΣ:

Κατάσταση ενός ΘΑ στην οποία έχουν σταματήσει οποιεσδήποτε μεταβολές, άρα τα χαρακτηριστικά του παραμένουν σταθερά και ανεξάρτητα με τον χρόνο

Εσωτερική Ισορροπία ΘΣ:

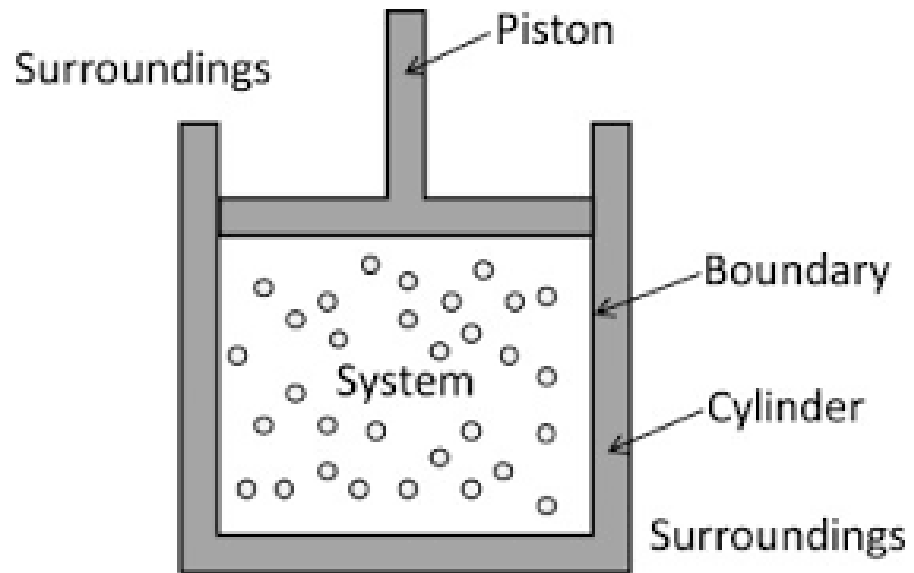
τα χαρακτηριστικά του είναι σταθερά και ομοιόμορφα

Εξωτερική Ισορροπία ΘΣ:

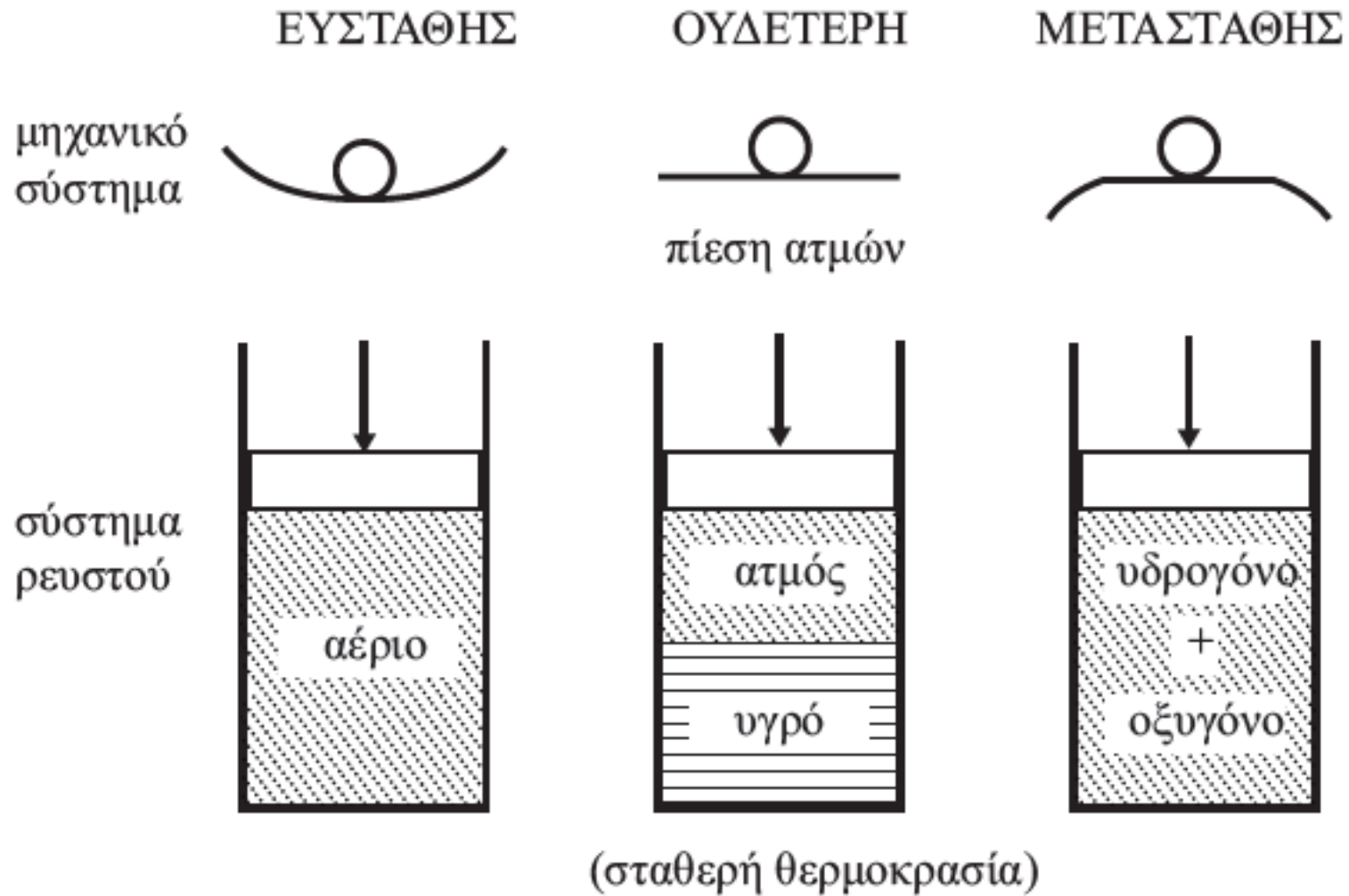
Δεν υπάρχουν μεταβολές – αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον

Κατάσταση Θερμοδυναμικού Συστήματος

Κατάσταση $\Theta\Sigma$: θέση ή σύνθεση του $\Theta\Sigma$ την συγκεκριμένη στιγμή παρατήρησης



Ισορροπία Θερμοδυναμικών Συστημάτων



Μεγέθη μελέτης Θερμοδυναμικών Συστημάτων

Μεγέθη: Μετρήσιμες ποσότητες με τις οποίες μπορούμε να περιγράψουμε (μετρήσουμε) χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός ΘΣ

- ✓ **Μακροσκοπικά Μεγέθη**
- ✓ **Καταστατικά Μεγέθη**

Ισορροπία: Απλή κατάσταση ενός ΘΣ στην οποία είναι:

- ✓ Δυνατή η μέτρηση μεταβλητών μεγεθών που είναι σταθερά
- ✓ Αναπαραγωγίσιμη
- ✓ Περιγράφεται μαθηματικά με σχέση των μεγεθών → ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ

Θερμοδυναμικές Ιδιότητες και Μεγέθη

Θερμοδυναμική Ιδιότητα	Κάθε χαρακτηριστικό ενός Θερμοδυναμικού Συστήματος (P, T, V, m) <ul style="list-style-type: none">- Εξαρτημένες- Ανεξάρτητες- Εξωτερικές (περιγράφουν την κίνηση ή θέση σε πεδίο βαρύτητας)- Εσωτερικές (περιγράφουν την ίδια την ύλη)
Εντατικές Ιδιότητες	Ιδιότητες των οποίων η τιμή τους ΔEN εξαρτάται από την μάζα <ul style="list-style-type: none">- Πίεση P- Θερμοκρασία T- Ταχύτητα u- Ύψος h
Εκτατικές Ιδιότητες	Ιδιότητες των οποίων η τιμή τους εξαρτάται από την μάζα <ul style="list-style-type: none">- Μάζα m- Όγκος V- Εσωτερική Ενέργεια U- Ενθαλπία H- Εντροπία S

Θερμοδυναμικές Ιδιότητες και Καταστάσεις

Πίνακας 1.1: Μερικά συζυγή ζεύγη θερμοδυναμικών μεταβλητών

Σύστημα	Εντατική μεταβλητή	Εκτατική μεταβλητή
ρευστό	πίεση, p	όγκος, V
έλασμα	δύναμη τάσης, f	μήκος, L
μεμβράνη	επιφανειακή τάση, γ	εμβαδόν, A
ηλεκτρικό	διαφορά δυναμικού, V	φορτίο, q
διηλεκτρικό	ένταση ηλεκτρικού πεδίου, E	ηλεκτρική διπολική ροπή, p^a
μαγνητικό	πυκνότητα ροής, B	μαγνητική διπολική ροπή, m
όλα τα συστήματα	θερμοκρασία, T	εντροπία, S
γενικευμένα	δύναμη, F	μετατόπιση, x

Βαθμοί Ελευθερίας

Βαθμοί Ελευθερίας:

ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ μεταβλητών που αρκούν για να χαρακτηρίσουμε πλήρως την κατάσταση ενός ΘΣ

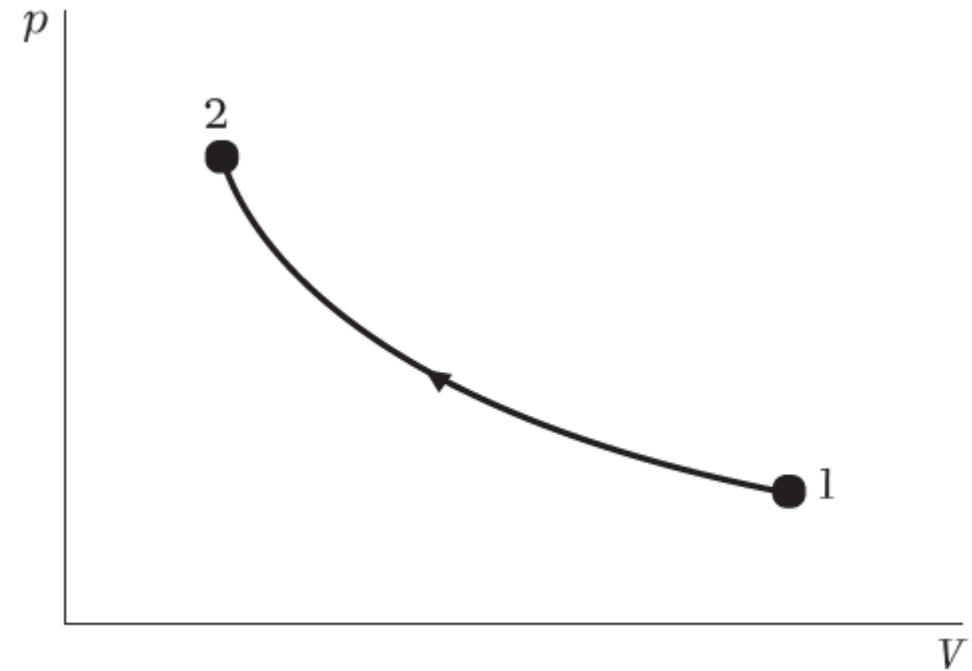
Μεταβλητές		Συνθήκες
πίεση	p	$M = \text{σταθερή}$
όγκος	V	$\rho = M/V$
θερμοκρασία	T	$p = p(V, T)$ (νόμος των αερίων)
μάζα	M	
πυκνότητα	ρ	
$n_v = 5$		$n_c = 3$
		$N = n_v - n_c = 2$

Διεργασίες Θερμοδυναμικών Συστημάτων

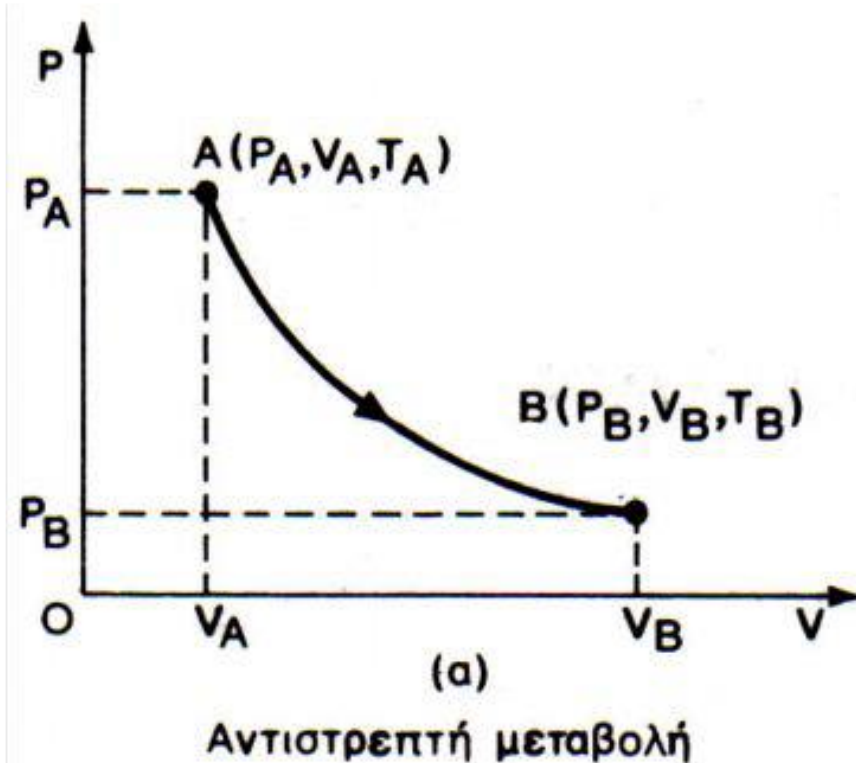
Διεργασία: Οποιαδήποτε ΜΕΤΑΒΟΛΗ του $\Theta\Sigma$
Μετάβαση από μια Κατάσταση Ισορροπίας σε μια άλλη

Αντιστρεπτές Μεταβολές:

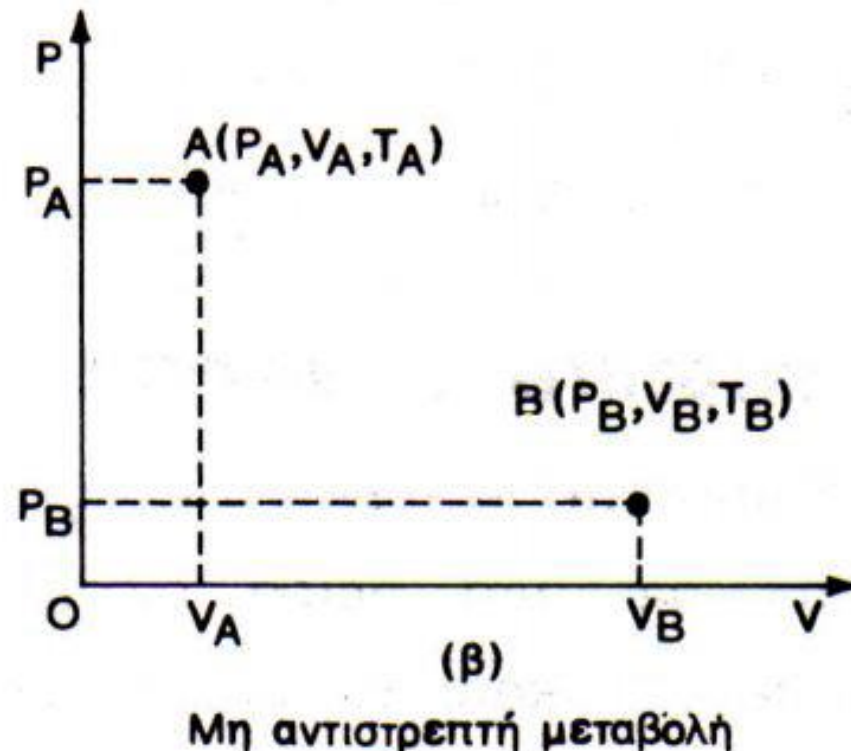
- ✓ αυτές στις οποίες το $\Theta\Sigma$ περνά από διαδοχικές καταστάσεις ισορροπίας
- ✓ Μεταβαίνει αδιάκριτα προς τη μια ή την άλλη φορά για απειροστή μεταβολή των εξωτερικών συνθηκών
- ✓ Απαιτείται μεγάλος χρόνος (άπειρος) για την αποκατάσταση ισορροπίας



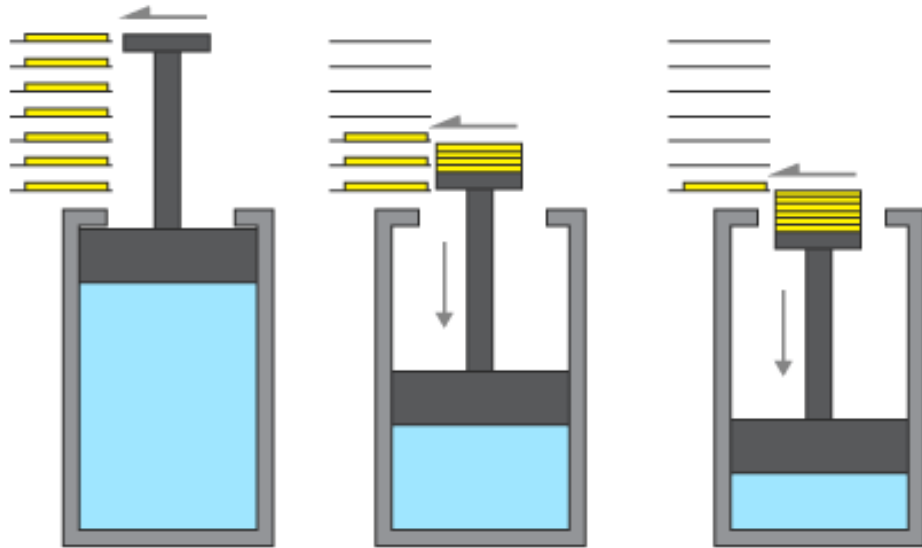
Αντιστρεπτές Μεταβολές



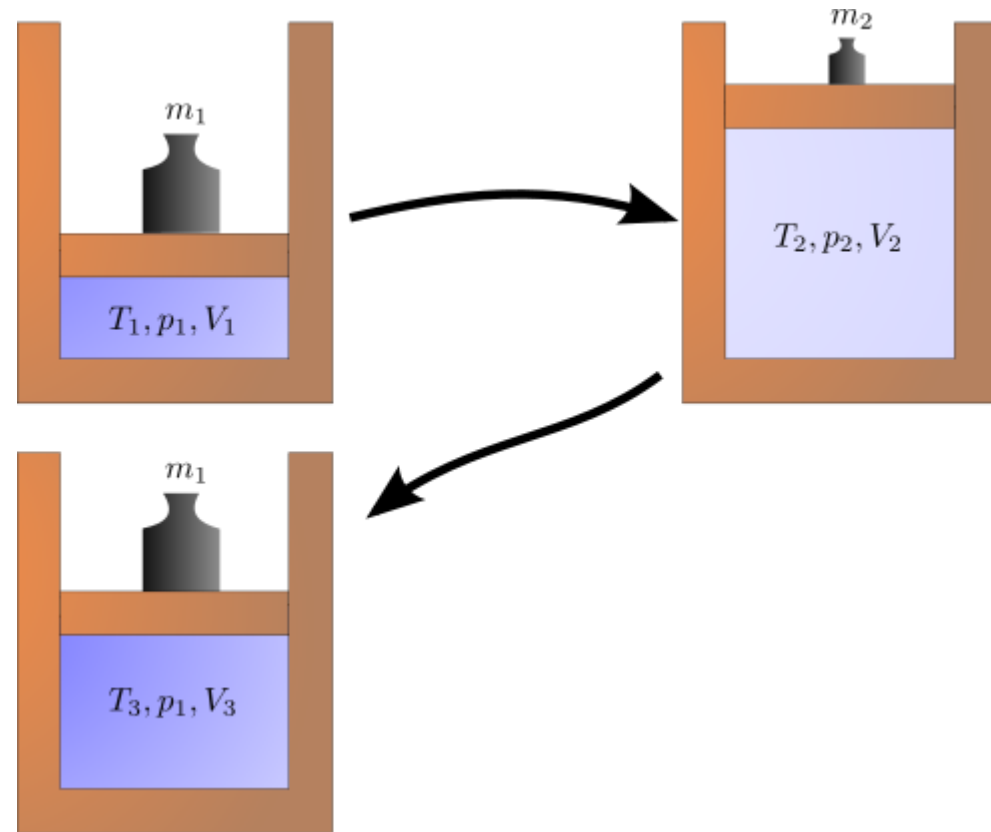
Μη Αντιστρεπτές Μεταβολές



Αντιστρεπτές Μεταβολές



Μη Αντιστρεπτές Μεταβολές

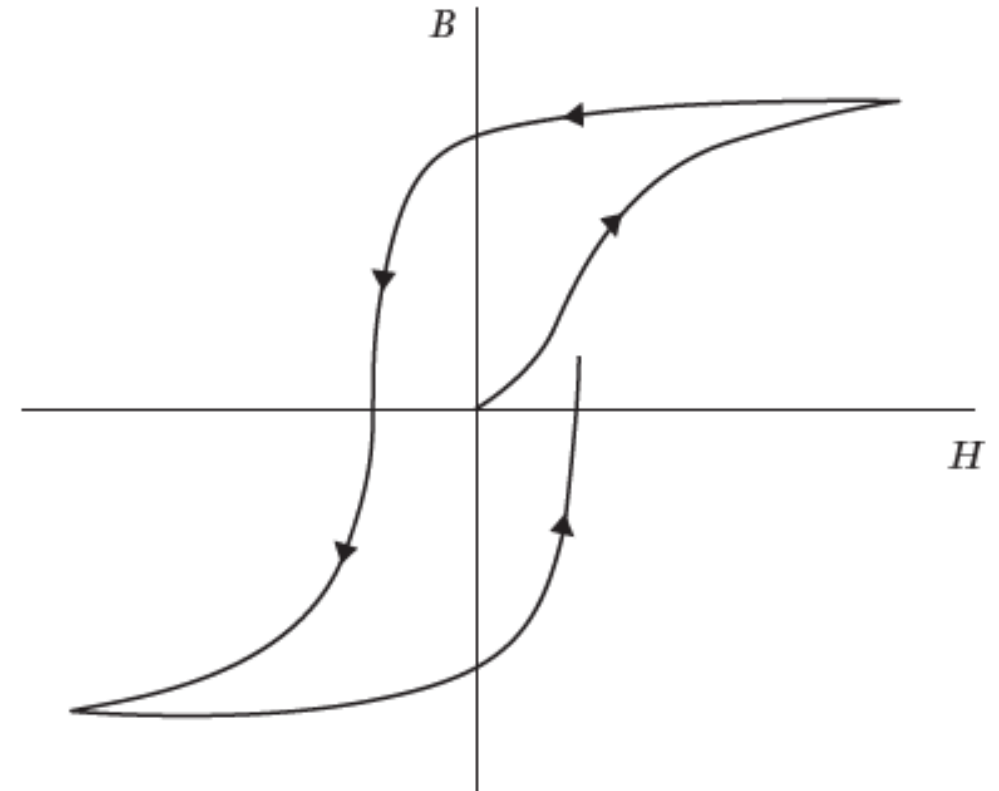


Διεργασίες Θερμοδυναμικών Συστημάτων

Η θερμοδυναμική αντιστρεπτότητα προϋποθέτει δύο συνθήκες:

1. η διεργασία πρέπει να είναι **ημιστατική**
2. **δεν πρέπει να υπάρχει υστέρηση**

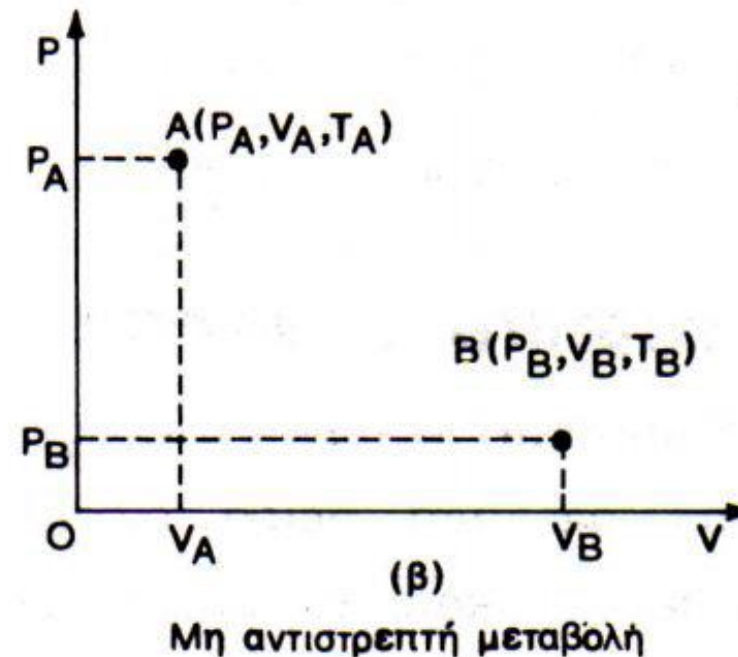
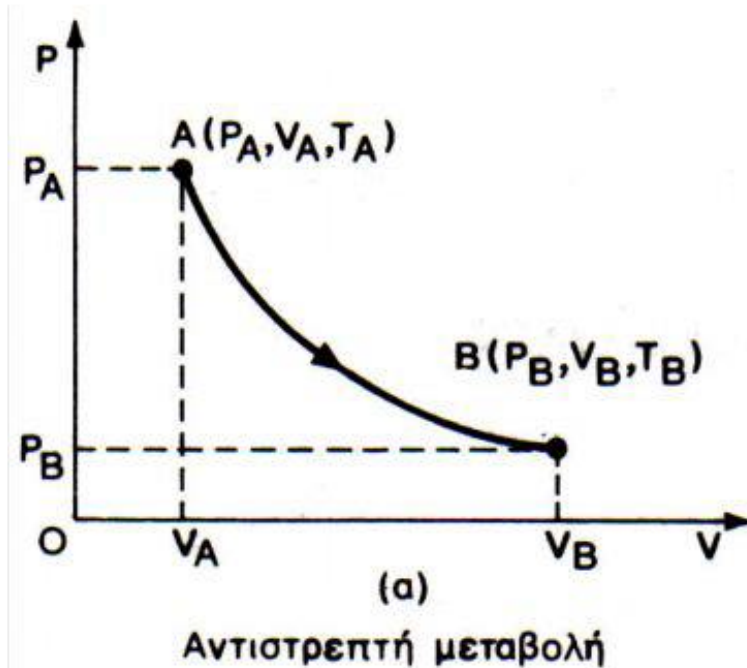
Όταν μια διεργασία αντιστρέφεται σε ένα σύστημα με υστέρηση, το σύστημα δεν ακολουθεί την προηγούμενη διαδρομή του, αλλά μια διαφορετική διαδρομή



Ένα παράδειγμα υστέρησης: η μαγνήτιση του σιδήρου

Καταστατικά Μεγέθη Θ_S

- **Καταστατικά Μεγέθη:** Μεγέθη που ορίζουν μονοσήμαντα την κατάσταση
- **Μεταβολή Καταστατικού μεγέθους** μόνο από τη τιμή που έχει στην Κατάσταση A και B
- Κύκλος ή Κλειστή Διαδρομή



Ας ξαναθυμηθούμε κάποιες βασικές έννοιες

Θερμοδυναμικό σύστημα	Μια ποσότητα ύλης (μάζα) ή μια περιοχή στον χώρο (όγκος) η οποία έχει επιλεγεί για μελέτη
Περιβάλλον	Μάζα ή περιοχή έξω από το σύστημα
Οριακή επιφάνεια	Πραγματική ή νοητή επιφάνεια που χωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον Μπορεί να είναι σταθερή ή να μετακινείται
Φάση	Σύστημα ή ένα μέρος του συστήματος, το οποίο είναι ομοιογενές και έχει καθορισμένα σύνορα
Διεργασία-Μεταβολή	Οποιαδήποτε φυσική ή χημική μεταβολή που βιώνει ένα σύστημα
Κλειστό σύστημα (μάζα ελέγχου)	Σύστημα που αποτελείται από ορισμένη ποσότητα μάζας Καμία ποσότητα μάζας δεν μπορεί να εισέλθει ή να εξέλθει από αυτό Η ενέργεια (Q , V) μπορεί να διαπεράσει τις οριακές επιφάνειες του
Ανοικτό σύστημα (όγκος ελέγχου)	Κατάλληλα επιλεγμένη περιοχή του χώρου

Κυματική Ρευστά Θερμοδυναμική (Θερμοδυναμική)

Αργύρης Λασκαράκης
Επ. Καθηγητής
Τμήμα Φυσικής ΑΠΘ

alask@physics.auth.gr

