

ΔΙΑΛΕΞΗ 1

ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΛΕΞΗΣ

ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ

- | | |
|--|-------|
| ➤ <u>ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ</u> | 2-9 |
| ➤ <u>ΠΡΩΤΟΣ ΝΟΜΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ</u> | 10-12 |
| ➤ <u>ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ</u> | 13-19 |
| ➤ <u>ΑΣΚΗΣΕΙΣ</u> | 20-32 |

Σύστημα: Αυθαίρετο αλλά ορισμένο τμήμα του σύμπαντος το οποίο αποτελεί αντικείμενο μελέτης

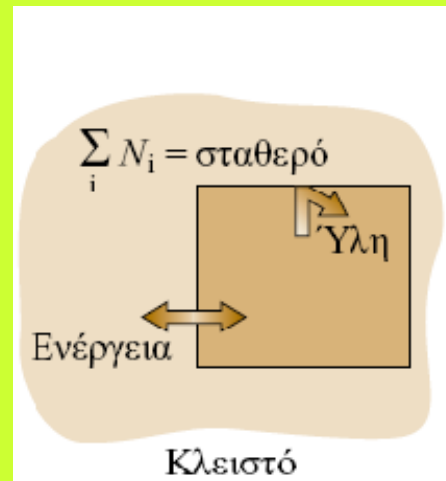
Περιβάλλον: Σύμπαν - Σύστημα

Τοιχώματα: Τα σύνορα που καθορίζουν τα όρια του συστήματος και διαχωρίζουν το σύστημα από το περιβάλλον

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Απομονωμένο Σύστημα: Καμία αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. **Όχι** ανταλλαγή ενέργειας, **όχι** ανταλλαγή ύλης με το περιβάλλον. **$E_{ολ} = \text{σταθερή}$**

Κλειστό Σύστημα: **Ναι** ανταλλαγή ενέργειας, **όχι** ανταλλαγή ύλης με το περιβάλλον



Ανοιχτό Σύστημα: **Ναι** ανταλλαγή ενέργειας, **ναι** ανταλλαγή ύλης με το περιβάλλον

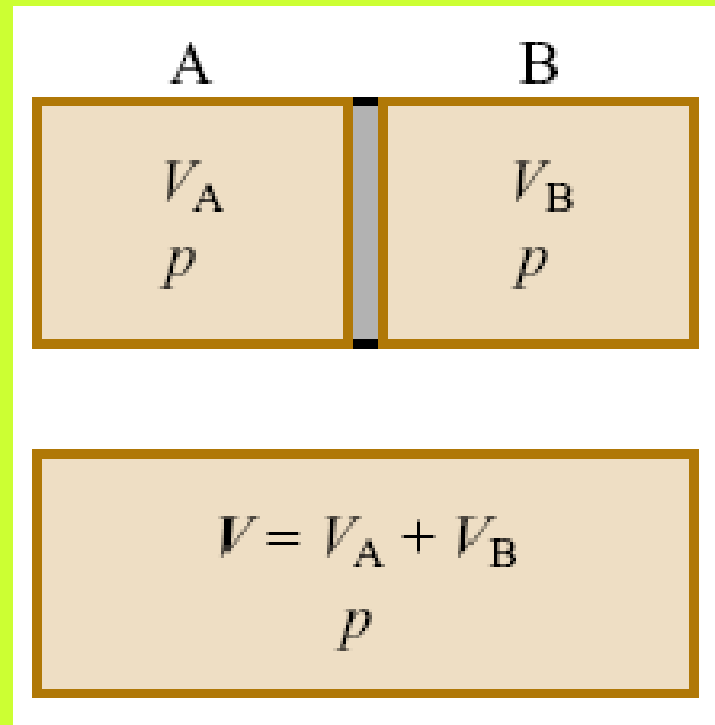


Εκτατικές Ιδιότητες (E): Παράμετροι ή μεταβλητές που χαρακτηρίζουν το σύστημα και η τιμή τους εξαρτάται από το μέγεθος του συστήματος. Π.Χ. όγκος, μάζα, εμβαδόν, μήκος. Έχουν προσθετικό χαρακτήρα, δηλαδή $\sum E_i = E_{ολ}$

Εντατικές Ιδιότητες (I): Παράμετροι ή μεταβλητές που χαρακτηρίζουν το σύστημα και η τιμή τους είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος του συστήματος. Π.Χ. πίεση, πυκνότητα, επιφανειακή τάση. Δεν έχουν προσθετικό χαρακτήρα

Κατάσταση του συστήματος: Το σύνολο των εντατικών και εκτατικών ιδιοτήτων του συστήματος

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΕΝΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΑΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



V \longrightarrow Εκτατική ιδιότητα
P \longrightarrow Εντατική ιδιότητα

Θερμοδυναμική ιδιότητα (X): $f(E_1, E_2, \dots)$

Μεταβολή της θερμοδυναμικής ιδιότητας (ΔX): Εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική κατάσταση του συστήματος και όχι από τη διαδρομή για να φτάσει το σύστημα στην τελική κατάσταση

$$\int_A^B dX = X_B - X_A$$

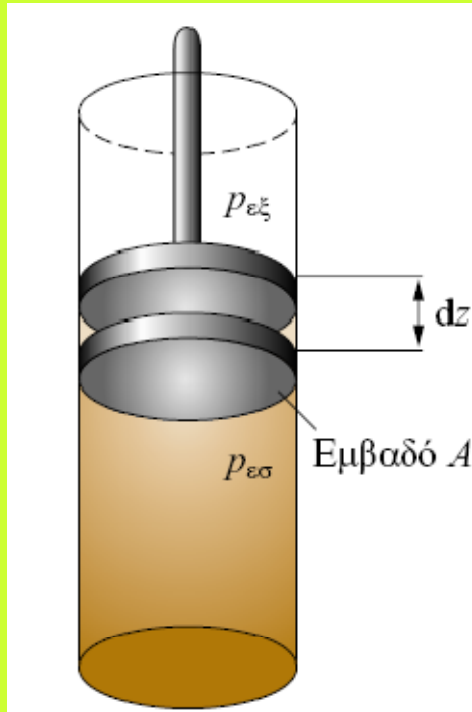
Μη Αδιαβατικά τοιχώματα: Επιτρέπουν την απορρόφηση ή την έκλυση **ενέργειας** υπό τη μορφή **θερμότητας**. **Π.Χ.** **μεταλλικό δοχείο**

Αδιαβατικά τοιχώματα: Δεν επιτρέπουν την απορρόφηση ή την έκλυση **ενέργειας** υπό τη μορφή **θερμότητας**.

Θερμική ισορροπία: Δημιουργείται μετά την παρέλευση πεπερασμένου χρόνου όταν δύο συστήματα έρχονται σε επαφή μέσω μη αδιαβατικού τοιχώματος

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: Θερμοδυναμική ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα συστήματα σε θερμική ισορροπία

Έργο (w) \longrightarrow Θετικό όταν γίνεται από το περιβάλλον στο σύστημα



ΕΡΓΟ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

Ισχύει: $dW = -P_{εξ}dA = -P_{εξ}Adz$

Εκτόνωση: $dV > 0 \longrightarrow dw < 0$

Συμπίεση: $dV < 0 \longrightarrow dw > 0$

Αντιστρεπτή μεταβολή: Μεταβολή που εκτελείται στο σύστημα με απειροστές αλλαγές των εκτατικών ιδιοτήτων του συστήματος και δημιουργεί διαδοχικές καταστάσεις ισορροπίας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΤΙΣΤΡΕΠΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ

ΕΚΤΟΝΩΣΗ/ΣΥΜΠΙΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ

$$w = - \int_{V_{\text{αρχ}}}^{V_{\text{τελ}}} p dV$$

ΠΡΩΤΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Συνάρτηση δυναμικού U ή Εσωτερική ενέργεια: Ορίζεται έτσι
ώστε

$$W_{\text{αδιαβ.}} = U_B - U_A,$$

Όπου τα U_B και U_A εξαρτάται μόνο από τις καταστάσεις A και B

Ορισμός Θερμότητας (q)

$$q = \Delta U - W$$

Σύμβαση: Θετική είναι η θερμότητα η οποία απορροφάται
από το σύστημα

ΠΡΩΤΟΣ ΝΟΜΟΣ

ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Η μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια ενός κλειστού συστήματος ισούται με την ενέργεια που δέχεται από τα όρια του συστήματος με τη μορφή θερμότητας ή έργου

$$\Delta U = q + W$$

q= θερμότητα που απορροφά το σύστημα

w= έργο που γίνεται από το περιβάλλον στο σύστημα

ΔU = μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας

Εναλλακτικός ορισμός: Η εσωτερική ενέργεια ενός απομονωμένου συστήματος παραμένει σταθερή

**ΤΟ ΕΡΓΟ ΚΑΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΊΝΑΙ
ΜΟΡΦΕΣ ΜΕ ΤΙΣ ΟΠΟΙΕΣ ΜΕΤΑΦΕΡΕΤΑΙ
Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ

ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Το σύμπαν έχει τη φυσική τάση να οδεύει προς καταστάσεις μεγαλύτερης αταξίας

Εντροπία (S): Μέτρο της αταξίας ή αλλιώς μέτρο του κατά πόσο μια διεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί αυθόρμητα ή όχι

ΟΡΙΣΜΟΣ Β ΝΟΜΟΥ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Η εντροπία ενός απομονωμένου συστήματος αυξάνει κατά τη διάρκεια μιας αυθόρμητης μεταβολής: $\Delta S_{ολ} \geq 0$

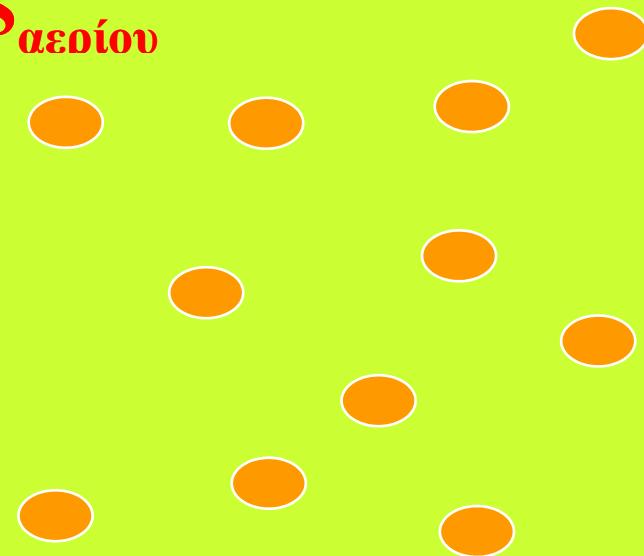
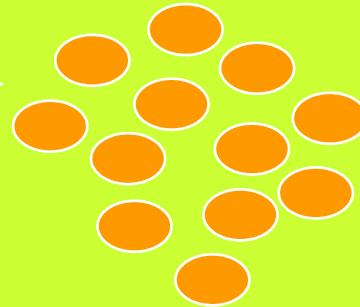
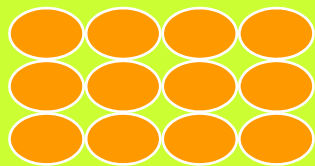
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ

ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΡΟΠΙΑΣ

Για ίδιες ή παρόμοιες ουσίες θα ισχύει

$$S_{\text{στερεού}} < S_{\text{υγρού}} < S_{\text{αερίου}}$$



Στερεό

Υγρό

Αέριο

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Για αντιστρεπτές διεργασίες ισχύει

$$\Delta S_{ολ} = \Delta S_{συσ} + \Delta S_{περ} = 0$$

Μεταβολή της εντροπίας του περιβάλλοντος

$$\Delta S_{\pi} = \frac{q_{\pi}}{T_{\pi}}$$

Μεταβολή της εντροπίας του περιβάλλοντος για αδιαβατική μεταβολή

$$\Delta S_{\pi} = 0$$

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ

ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Μεταβολή της εντροπίας του συστήματος
(Από αρχική κατάσταση A σε τελική κατάσταση B)

$$\Delta S = \int_A^B \frac{\delta q^{\text{αντ}}}{T}$$

Όπου $\delta q^{\text{αντ}}$ = η θερμότητα που ανταλλάσσεται στη διάρκεια μιας αντιστρεπτής διαδρομής που συνδέει δύο καταστάσεις

Μεταβολή της εντροπίας του συστήματος για αδιαβατική μεταβολή

$$\Delta S = 0$$

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Εντροπία μη αντιστρεπτών μεταβολών

Ανισότητα του Clausius

$$dS \geq dS_{\pi} \quad \text{ή} \quad dS \geq \frac{\delta q}{T}$$

Άρα για τη συνολική εντροπία απομονωμένου συστήματος θα ισχύει

$\Delta S_{\text{ολ}} = 0$ \longrightarrow μη αντιστρεπτή μεταβολή

$\Delta S_{\text{ολ}} > 0$ \longrightarrow αντιστρεπτή μεταβολή

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

- Εντροπία
 - Επινοήθηκε από τον Clausius
 - Παρατήρησε ότι σε μια ιδανική αντιστρεπτή μεταβολή, υπό σταθερή θερμοκρασία, το πηλίκο της θερμότητας που ανταλλάσσει το σύστημα με το περιβάλλον του, προς την απόλυτη θερμοκρασία υπό την οποία συμβαίνει η μεταβολή είναι ένα σταθερό μέγεθος
 - Ορίζεται:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

- Όπου
 - dQ : η θερμότητα που ανταλλάχθηκε κατά αντιστρεπτό τρόπο κατά τη μετάβαση μια κατάσταση σε μια άλλη
 - T : η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιήθηκε η αλλαγή

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ (για κλειστό σύστημα)

$$dU = TdS - pdV$$

ΑΣΚΗΣΗ 1

Ποια θα είναι η μεταβολή (ΔX) μιας θερμοδυναμικής ιδιότητας X , όταν ένα σύστημα, ξεκινώντας από μια κατάσταση A , πορευθεί μέσα από ενδιάμεσες καταστάσεις με αλλαγές των εκτατικών του ιδιοτήτων και καταλήξει πάλι στην κατάσταση A ;

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Η απάντηση είναι ότι $\Delta X = X_{\text{τελ.}} - X_{\text{αρχ}} = 0$. Εφόσον η αρχική και η τελική κατάσταση είναι η ίδια, συμπεραίνουμε ότι η τιμή της X στην τελική κατάσταση είναι η ίδια με εκείνη στην αρχική κατάσταση

ΑΣΚΗΣΗ 2

Σημειώστε την απάντηση στο αντίστοιχο τετραγωνάκι.

Σωστό

Λάθος

1. Για μια αδιαβατική διεργασία, το έργο που γίνεται είναι τέλειο διαφορικό.
2. Το έργο κατά την εκτόνωση ή συμπίεση ενός αερίου δίνεται από την ίδια σχέση, δηλ. $w = -\int p_1 dV$, όπου p_1 είναι η εξωτερική πίεση.
3. Η αδιαβατική εκτόνωση στο κενό οδηγεί σε αύξηση της εσωτερικής ενέργειας.
4. Ο πρώτος νόμος, γραμμένος στη μορφή $dU = \delta q + \delta w$, ισχύει μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.



ΑΣΚΗΣΗ 2(ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

1. ΣΩΣΤΟ

Ισχύει $\Delta U = w_{\text{αδιαβ.}}$ και σε διαφορική μορφή $dU = dw_{\text{αδιαβ.}}$. Συνεπώς, αφού το du είναι τέλειο διαφορικό, ως διαφορικό συνάρτησης καταστάσεως προκύπτει ότι θα είναι τέλειο διαφορικό και το $dw_{\text{αδιαβ.}}$.

2. ΣΩΣΤΟ

Εξ' ορισμού

3. ΛΑΘΟΣ

Εκτόνωση στο κενό συνεπάγεται $P_{\text{εξ}} = 0$. Άρα και $w = 0$. Η εκτόνωση όμως είναι και αδιαβατική, δηλαδή $q = 0$. Κατά συνέπεια από τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο ισχύει $\Delta U = q + w = 0$. Επομένως η εσωτερική ενέργεια παραμένει σταθερή.

4. ΛΑΘΟΣ

Η σχέση εκφράζει τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο υπό διαφορική μορφή και δεν υπάρχει κανένας περιορισμός για το είδος των μεταβολών (αντιστρεπτών ή μη) για τις οποίες ισχύει

ΑΣΚΗΣΗ 3

Ένα σύστημα μεταβαίνει από μια αρχική κατάσταση ισορροπίας στην ίδια τελική κατάσταση ισορροπίας με δύο διαφορετικές διεργασίες, μία αντιστρεπτή και μία μη αντιστρεπτή. Ποιο από τα επόμενα είναι σωστό, όπου το ΔS αναφέρεται στο σύστημα; *Υπόδειξη:* Θυμηθείτε ότι η εντροπία είναι θερμοδυναμική συνάρτηση.

1. $\Delta S_{\text{μη αντ}} = \Delta S_{\text{αντ}}$

2. $\Delta S_{\text{μη αντ}} > \Delta S_{\text{αντ}}$

3. $\Delta S_{\text{μη αντ}} < \Delta S_{\text{αντ}}$

4. Δεν είναι δυνατό να αποφασίσουμε ποιο από τα (1), (2) και (3) είναι σωστό

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Σωστή είναι σαφώς η Πρόταση 1, δεδομένου ότι πρόκειται για μια κυκλική διεργασία για την οποία ισχύει ότι η μεταβολή της εντροπίας είναι εξ' ορισμού μηδενική

ΑΣΚΗΣΗ 4

Ένα αέριο βρίσκεται αρχικά μέσα σε κυλινδρικό δοχείο με αβαρές έμβολο και ο όγκος που καταλαμβάνει είναι $V_{\text{αρχ}} = 0.01 \text{ m}^3$. Το αέριο εκτονώνεται με κίνηση του εμβόλου προς τα έξω, μέχρι ο τελικός όγκος να γίνει $V_{\text{τελ}} = 0.02 \text{ m}^3$. Η πίεση στην εξωτερική επιφάνεια του εμβόλου, η οποία αντιτίθεται στην κίνηση, είναι σταθερή και ίση με $p_{\text{εξ}} = 140 \text{ kPa}$. Υπολογίστε το έργο το οποίο γίνεται.

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Το έργο για την εκτόνωση υπό σταθερή εξωτερική πίεση προκύπτει από την σχέση

$$W = -P_{\text{εξ}}\Delta V = -140\text{kPa} \times (0.02-0.01 \text{ m}^3) = -1400 \text{ Pa m}^3 = -1.4 \text{ kJ}$$

ΑΣΚΗΣΗ 5

Όπως είδαμε, το ολοκλήρωμα του dU ανάμεσα στις καταστάσεις A και B είναι $U_B - U_A$. Αν θεωρήσετε τώρα τη μεταβολή $A \rightarrow B \rightarrow C$, θα πάρετε

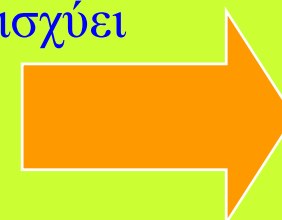
$$\int_A^B dU + \int_A^B dU = (U_B - U_A) + (U_C - U_B) = U_C - U_A = \int_A^C dU$$

Εξαρτάται η μεταβολή του U από την ενδιάμεση κατάσταση B ; Εάν τώρα επιλέξουμε την τελική κατάσταση C ως συμπίπτουσα με την A , τότε ποια θα είναι η τιμή του ολοκληρώματος; Το σύμβολο μπροστά από το dU συμβολίζει το ολοκλήρωμα σε μια κλειστή (κυκλική) διαδρομή. Εξετάστε εάν μπορείτε να δώσετε μια ανάλογη απάντηση για τα ολοκληρώματα των δq και δw .

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας U δεν εξαρτάται από την ενδιάμεση κατάσταση B . Εξαρτάται μόνο από την αρχική κατάσταση A και την τελική κατάσταση Ψ . Εάν οι δύο καταστάσεις είναι ίδιες, τότε θα ισχύει

$$\oint dU = \int_A^B dU = U_A - U_B = 0$$

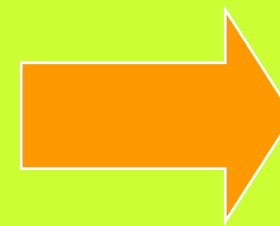
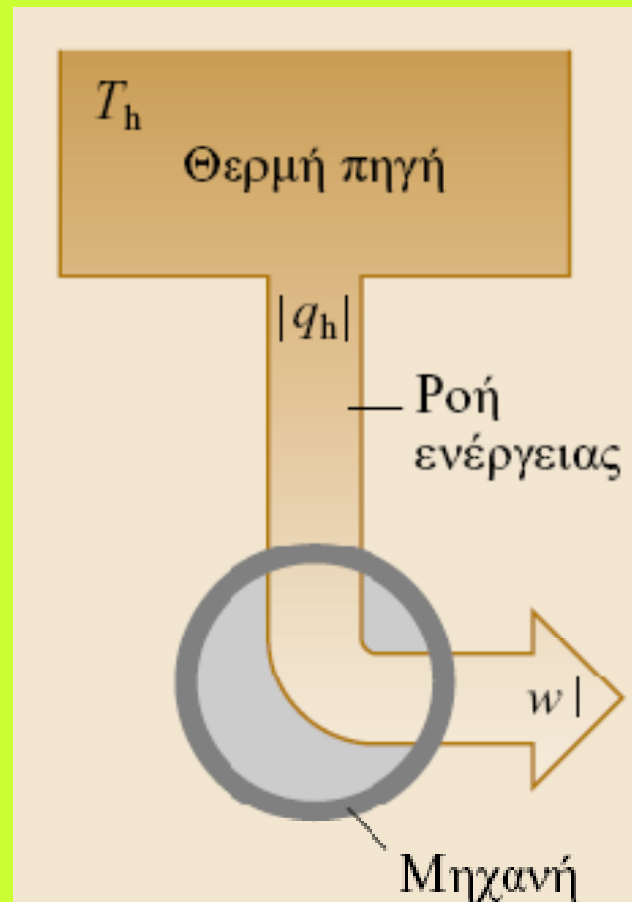


ΑΣΚΗΣΗ 5 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Δεν ισχύει κάτι ανάλογο για τα ολοκληρώματα των dq και dw . Το έργο εξαρτάται από τη διαδρομή της μεταβολής. Μπορεί επίσης ένα σύστημα να κάνει μία κυκλική μεταβολή, οπότε φυσικά η ΔU θα είναι μηδέν. Αντίθετα, θα έχει πιθανότατα παραχθεί ή καταναλωθεί έργο και θερμότητα για τα οποία το μόνο που μπορούμε να πούμε είναι ότι $q + w = 0$ για μια κυκλική μεταβολή.

ΑΣΚΗΣΗ 6

Εξετάστε εάν είναι δυνατό να κατασκευαστεί μια μηχανή σαν και αυτή του Σχήματος, με την οποία να είναι δυνατή η απαγωγή θερμότητας από μια θερμή πηγή και η πλήρης μετατροπή της σε έργο. Μία τέτοια διεργασία έρχεται σε αντίθεση με τον Πρώτο Νόμο;



ΑΣΚΗΣΗ 6 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση της διεργασίας του Σχήματος, κατά την οποία έχουμε πλήρη μετατροπή της θερμότητας σε μηχανικό έργο. Ωστόσο, μία τέτοια υποθετική διεργασία δεν είναι αντίθετη με τον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο, καθόσον η ενέργεια διατηρείται

ΑΣΚΗΣΗ 7

Σας απευθύνω τις ακόλουθες προτάσεις. Εσείς, αφού σκεφτείτε εάν συμφωνείτε («Σωστό») ή όχι («Λάθος»), σημειώστε την απάντηση στο αντίστοιχο τετραγωνάκι.

Σωστό Λάθος

1. Γενικά, η εντροπία ενός συστήματος γίνεται μέγιστη, όταν το σύστημα έρθει σε επαφή με το περιβάλλον του.

2. Για μια δεξαμενή θερμότητας (μεγάλης θερμικής μάζας) και σταθερής θερμοκρασίας T , ισχύει η σχέση $q = T \cdot \Delta S$, (όπου q η θερμότητα που απορροφά η δεξαμενή και ΔS η μεταβολή της εντροπίας της δεξαμενής).

3. Μια μη αντιστρεπτή διεργασία χρειάζεται περισσότερο έργο για να γίνει.

ΑΣΚΗΣΗ 7 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

Σωστό Λάθος

4. Για το στοιχειώδες έργο που γίνεται στο σύστημα από το περιβάλλον ισχύει γενικά η σχέση $\delta w \geq -pdV$ (p και V αναφέρονται στο σύστημα).



5. Σε μια ισοεντροπική διεργασία κλειστού συστήματος η θερμοκρασία παραμένει σταθερή.



6. Η θερμοδυναμική σχέση $dU = TdS - pdV$ ισχύει μόνο για αντιστρεπτές μεταβολές.



7. Για μια οποιαδήποτε διεργασία (αντιστρεπτή ή μη) ισχύει πάντα η σχέση .



ΑΣΚΗΣΗ 7 (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΙΚΗ ΛΥΣΗ

1. ΛΑΘΟΣ

Τέτοιο συμπέρασμα δεν προκύπτει από πουθενά. Όταν το σύστημα έρθει σε επαφή με το περιβάλλον του, τότε η συνολική εντροπία αυξάνει ή παραμένει σταθερή. Επιπλέον, μπορεί η εντροπία του συστήματος να μειώνεται ή να αυξάνεται και το ίδιο να ισχύει και για την εντροπία του περιβάλλοντος

2. ΣΩΣΤΟ

Για τη δεξαμενή θερμότητας η διεργασία είναι αντιστρεπτή. Επίσης, η θερμοκρασία της είναι σταθερή. Άρα ισχύει η σχέση

3. ΣΩΣΤΟ

Το έργο που παίρνουμε από το σύστημα είναι μέγιστο όταν η διεργασία γίνεται αντιστρεπτή. Αντίθετα, το έργο που γίνεται στο σύστημα γίνεται ελάχιστο, όταν η διεργασία γίνεται αντιστρεπτά

4. ΣΩΣΤΟ

Εξ' ορισμού

5. ΛΑΘΟΣ

Τέτοιο συμπέρασμα δεν προκύπτει από πουθενά. Η βασική θερμοδυναμική εξίσωση για κλειστό σύστημα δίδει $dU = TdS - PdV$ και για ισοεντροπική μεταβολή $dU = -PdV$. Κατά συνέπεια, μπορεί να προκληθεί μεταβολή στην εσωτερική ενέργεια του συστήματος και κατ' επέκταση στη θερμοκρασία

6. ΛΑΘΟΣ

Η σχέση έχει γενική ισχύ

7. ΣΩΣΤΟ

Εξ' ορισμού