

Ισόθερμη μεταβολή (T=σταθ.)

Νόμος Boyle: $pV = \text{σταθ.} \Rightarrow p = \frac{\text{σταθ.}}{V}$

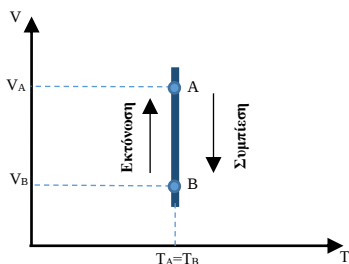
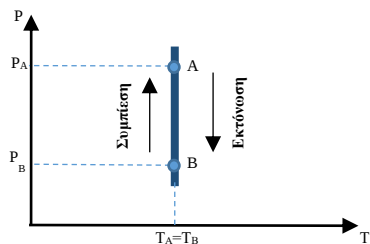
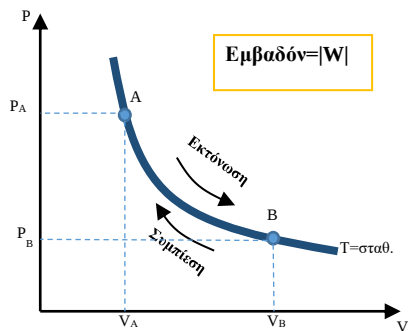
p, V αντιστρόφως ανάλογα Ισχύει: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$W = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$$

Αφού T=σταθ. άρα $\Delta U = 0$

1^{ος} Θερμ. Νόμος $Q = W$

Στην ισόθερμη εκτόνωση όλο το ποσό θερμότητας που απορροφά το αέριο μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.



Ισόχωρη μεταβολή (V=σταθ.)

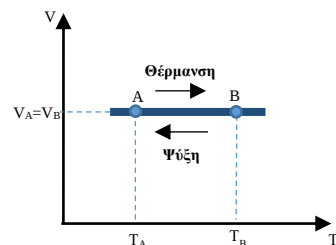
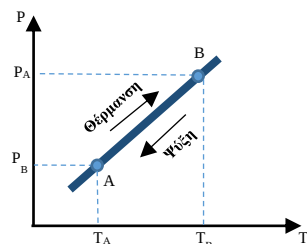
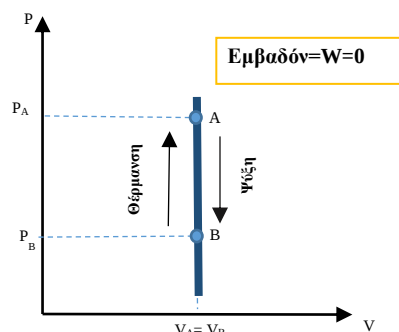
Νόμος Charles: $\frac{P}{T} = \text{σταθ.} \Rightarrow P = \text{σταθ.} \cdot T$

Άρα p, T ανάλογα. Ισχύει: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$W = 0$ $Q_V = nC_V \Delta T$ $\Delta U = nC_V \Delta T$

1^{ος} Θερμ. Νόμος $Q = \Delta U$

Στην ισόχωρη θέρμανση όλο το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας.



Ισοβαρής μεταβολή (P=σταθ.)

Νόμος Guy-Lussac: $\frac{V}{T} = \text{σταθ.} \Rightarrow V = \text{σταθ.} \cdot T$

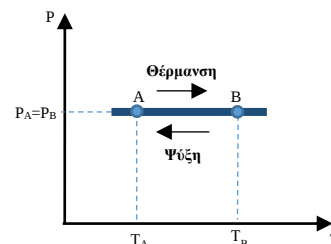
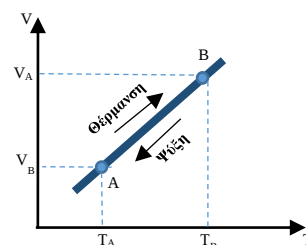
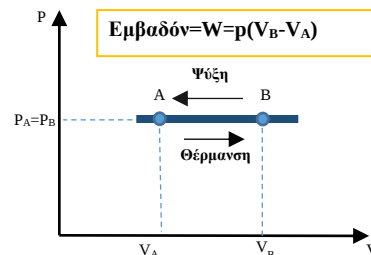
Άρα V, T ανάλογα. Ισχύει: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

$W = p(V_B - V_A)$ ή $W = nR(T_B - T_A)$

$Q_p = nC_p \Delta T$ $\Delta U = nC_V \Delta T$

1^{ος} Θερμ. Νόμος $Q = \Delta U + p(V_B - V_A)$

Στην ισοβαρή θέρμανση ένα μέρος από το ποσό θερμότητας που απορρόφησε το αέριο από το περιβάλλον χρησιμοποιήθηκε για την αύξηση της εσωτερικής του ενέργειας και το υπόλοιπο αποδόθηκε εκ νέου στο περιβάλλον με τη μορφή έργου.



Αδιαβατική μεταβολή (Q=0)

Νόμος Poisson: $pV^\gamma = \text{σταθ.}$

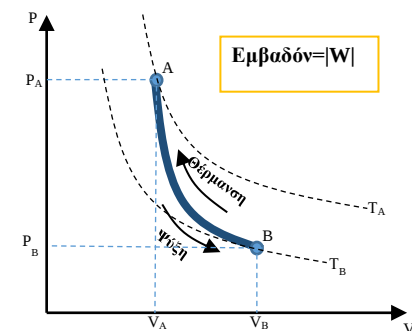
Ισχύει: $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ ή $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

$T_1^\gamma p_1^{1-\gamma} = T_2^\gamma p_2^{1-\gamma}$ $\Delta U = nC_V \Delta T$

1^{ος} Θερμ. Νόμος $0 = \Delta U + W$ ή $W = -\Delta U$

Στην αδιαβατική μεταβολή το έργο είναι ίσο με το αντίθετο της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας.

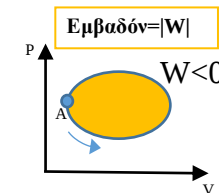
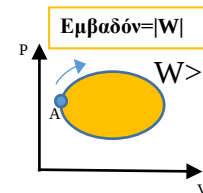
$$W = \frac{p_B V_B - p_A V_A}{1 - \gamma}$$



Κυκλική μεταβολή

Το ολικό έργο σε μια κυκλική αντιστρεπτή μεταβολή είναι ίσο με το εμβαδόν που περικλείεται από τη γραμμή του διαγράμματος, στη γραφική παράσταση p-V. Στην κυκλική μεταβολή η θερμότητα που απορροφά ή αποδίδει το αέριο ισούται με το έργο που παράγει ή δαπανά.

$\Delta U = 0$ 1^{ος} Θερμ. Νόμος $Q = W$



Συνδυαστικός νόμος (Τυχαία μεταβολή)

Για ορισμένη ποσότητα ιδανικού αερίου

$$\frac{pV}{T} = \text{σταθ.} \quad \text{ή} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων

$$pV = nRT \quad \text{ή} \quad p = \frac{\rho}{M_r} RT$$

Κινητική Θεωρία (παραδοχές)

1. Τα μόρια του αερίου συμπεριφέρονται σαν μικροσκοπικές, απόλυτα ελαστικές, σφαίρες. Έτσι ο συνολικός όγκος των μορίων του αερίου μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος σε σχέση με τον όγκο του δοχείου στο οποίο βρίσκεται.

2. Στα μόρια δεν ασκούνται δυνάμεις παρά μόνο τη στιγμή της κρούσης με άλλα μόρια ή με τα τοιχώματα του δοχείου. Έτσι, η κίνησή τους, στο μεσοδιάστημα μεταξύ δύο κρούσεων, είναι ευθύγραμμη ομαλή.

3. Οι κρούσεις των μορίων με τα τοιχώματα είναι ελαστικές. Έτσι η κινητική ενέργεια του μορίου δεν μεταβάλλεται μετά την κρούση του με το τοίχωμα.

Πίεση

$$p = \frac{1}{3} \frac{Nm\overline{v^2}}{V}$$

Μέση κινητική ενέργεια

$$\overline{E}_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} kT \quad \text{ανάλογη της θερμοκρασίας μόνο}$$

Ενεργός ταχύτητα

$$v_{\text{ev}} = \sqrt{\overline{v^2}} \Rightarrow v_{\text{ev}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \Rightarrow v_{\text{ev}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_r}}$$

Εσωτερική ενέργεια

Η εσωτερική ενέργεια ορισμένης ποσότητας ιδανικού αερίου εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ενός θερμοδυναμικού συστήματος εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση του συστήματος και όχι από τον τρόπο που πραγματοποιήθηκε η μεταβολή.

Πρώτος θερμοδυναμικός νόμος

$$Q = \Delta U + W$$

Το ποσό θερμότητας (Q) που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής

της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που παράγει ή δαπανά το σύστημα.

Ο πρώτος θερμοδυναμικός νόμος είναι η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ενέργειας στη θερμοδυναμική.

Αν το σύστημα απορροφά θερμότητα, το Q είναι θετικό, αν αποβάλλει θερμότητα είναι αρνητικό. Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας είναι θετική όταν αυξάνει η θερμοκρασία του συστήματος και αρνητική όταν μειώνεται. Το έργο του αερίου είναι θετικό όταν το αέριο εκτονώνεται και αρνητικό όταν συμπιέζεται.

Γραμμομοριακές ειδικές θερμότητες

$$C_p = C_v + R$$

$$C_p = \frac{5}{2} R$$

$$C_v = \frac{3}{2} R$$

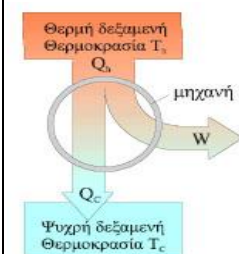
$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Θερμικές Μηχανές

Θερμικές μηχανές ονομάζουμε τις διατάξεις που μετατρέπουν τη θερμότητα σε μηχανικό έργο.

Κατά τη διάρκεια της κυκλικής μεταβολής του μέσου, η μηχανή

1. απορροφά θερμότητα (Q_h) από μια δεξαμενή υψηλής θερμοκρασίας T_h .
2. παράγει έργο.
3. αποβάλλει θερμότητα (Q_c) σε μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας T_c .



θερμοκρασίας T_c .

Ο συντελεστής απόδοσης (e) οποιασδήποτε μηχανής είναι ο λόγος του ωφέλιμου έργου που μας δίνει η μηχανή προς την ενέργεια που δαπανούμε για να λειτουργήσει.

Επειδή ισχύει :

$$W = Q_h - |Q_c|$$

έχουμε

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

Δεύτερος θερμοδυναμικός νόμος

(Kelvin και Planck) Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί θερμική μηχανή που να μετατρέπει εξ ολοκλήρου τη θερμότητα σε ωφέλιμο έργο.

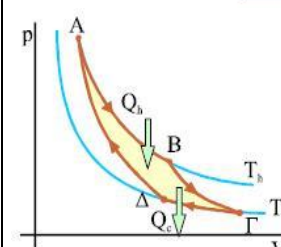
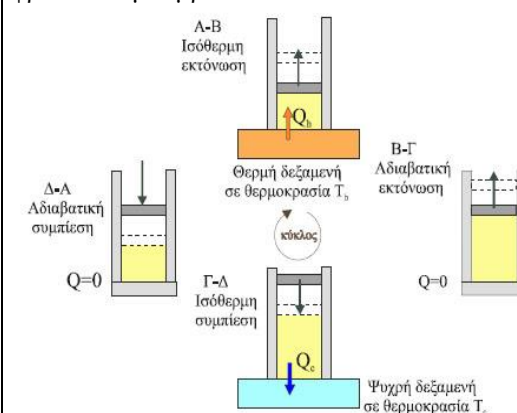
(Clausius) Είναι αδύνατο να κατασκευαστεί μηχανή που να μεταφέρει θερμότητα από ένα

ψυχρό σώμα σε ένα θερμότερο χωρίς να δαπανάται ενέργεια για τη λειτουργία της.

Η μηχανή του Carnot

Θεώρημα Carnot: Δεν μπορεί να υπάρξει θερμική μηχανή που να έχει μεγαλύτερη απόδοση από μια μηχανή Carnot η οποία λειτουργεί ανάμεσα στις ίδιες θερμοκρασίες.

Ο κύκλος Carnot αποτελείται από τέσσερις μεταβολές, δύο ισόθερμες και δύο αδιαβατικές. Θα περιγράψουμε τον κύκλο Carnot για ιδανικό αέριο που βρίσκεται μέσα σε κύλινδρο, που φράσσεται με έμβολο.



- Κατά τη μεταβολή $A \rightarrow B$, το αέριο βρίσκεται σε επαφή με τη θερμή δεξαμενή και εκτονώνεται σε ισόθερμα σε θερμοκρασία T_h , απορροφώντας θερμότητα Q_h .

- Κατά τη μεταβολή $B \rightarrow C$, το αέριο είναι θερμικά μονωμένο και εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι η θερμοκρασία του να πάρει την τιμή T_c .

- Κατά τη μεταβολή $C \rightarrow D$, το αέριο βρίσκεται σε επαφή με τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας T_c και συμπιέζεται ισόθερμα σε θερμοκρασία T_c , αποβάλλοντας θερμότητα Q_c .

- Κατά τη μεταβολή $D \rightarrow A$, το αέριο είναι θερμικά μονωμένο και συμπιέζεται αδιαβατικά ώστε να επανέλθει στην αρχική του κατάσταση.

Ο συντελεστής απόδοσης μιας θερμικής μηχανής

$$\text{είναι } e = 1 - \frac{|Q_c|}{Q_h} \quad \text{Για τον κύκλο Carnot ισχύει}$$

$$\frac{|Q_c|}{Q_h} = \frac{T_c}{T_h} \quad \text{άρα παίρνουμε: } e_{\text{carnot}} = 1 - \frac{T_c}{T_h}$$

Χρήσιμα

Όγκος κυλίνδρου

$$V = (\text{εμβαδόν βάσης}) \cdot (\text{ύψος}) = A \cdot h$$

Εμβαδόν κυκλικού δίσκου

$$E = \pi R^2$$

Ιδιότητες συνάρτησης $f(x) = \ln x$

(μόνο όσα χρειαζόμαστε στην θερμοδυναμική)

Πρέπει $x > 0$

$$\ln 1 = 0$$

$$\ln(x_1 \cdot x_2) = \ln x_1 + \ln x_2$$

$$\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = \ln x_1 - \ln x_2$$

$$\ln x^k = k \ln |x|$$

Δυνάμεις με ρητό εκθέτη

Αν $a > 0$, μ ακέραιος και ν θετικός ακέραιος,

$$\text{τότε ορίζουμε: } \alpha^{\frac{\mu}{\nu}} = \sqrt[\nu]{\alpha^\mu}$$

Moles

$$n = \frac{N}{N_A} \quad n = \frac{m_{\text{ολ}}}{M_r} \quad n = \frac{V_{\text{ολ}}}{22,4} \text{ (stp)}$$

$$\text{Θερμοκρασία } T = 273 + \theta$$

$$\text{Πυκνότητα } \rho = \frac{m_{\text{ολ}}}{V}$$