

Οποιαδήποτε σχέση συνδέει την T , την P και τον ειδικό όγκο v μιας ουσίας, ονομάζεται **καταστατική εξίσωση**

$$\frac{Pv}{T} = \text{σταθερό} = R \Leftrightarrow Pv = R \cdot T$$

όπου :

$$R = \frac{R_u}{(MB)}$$

και

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

$$\longrightarrow P \frac{V}{m} = \frac{R_u}{(MB)} T \longrightarrow PV = \frac{m}{(MB)} R_u T$$

$$\longrightarrow PV = \eta R_u T$$

R_u : παγκόσμια σταθερά των αερίων, [$R_u = 8.314 \text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K}) = 8.314 (\text{kPa} \cdot \text{m}^3)/(\text{kmol} \cdot \text{K})$].

Ιδανικό αέριο: το αέριο του οποίου τα μόρια μπορούν να θεωρηθούν σαν απόλυτα ελαστικές σφαίρες

Πειραματικά βρέθηκε ότι για αέριο σε πολύ χαμηλές πιέσεις ($P \rightarrow 0$) ή για ατμούς υγρού ή στερεού πολύ υψηλότερες της κρίσιμης ισχύει η σχέση:

$$P \cdot V = n \cdot R_u \cdot T \Rightarrow P \cdot V = \frac{m \cdot R_u \cdot T}{MB} \Rightarrow P \cdot V = m \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \rho \cdot R \cdot T$$

όπου: $n = \frac{m}{MB}$, ο αριθμός των *mols*,

m : η μάζα,

MB : το μοριακό βάρος του αερίου (kg/kmol),

ρ : η πυκνότητα του αερίου,

$R = R_u / MB$, η σταθερά των αερίων, [για τον αέρα $R=287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ή $287(\text{Pa} \cdot \text{m}^3)/(\text{kg} \cdot \text{K})$],

R_u : παγκόσμια σταθερά των αερίων,

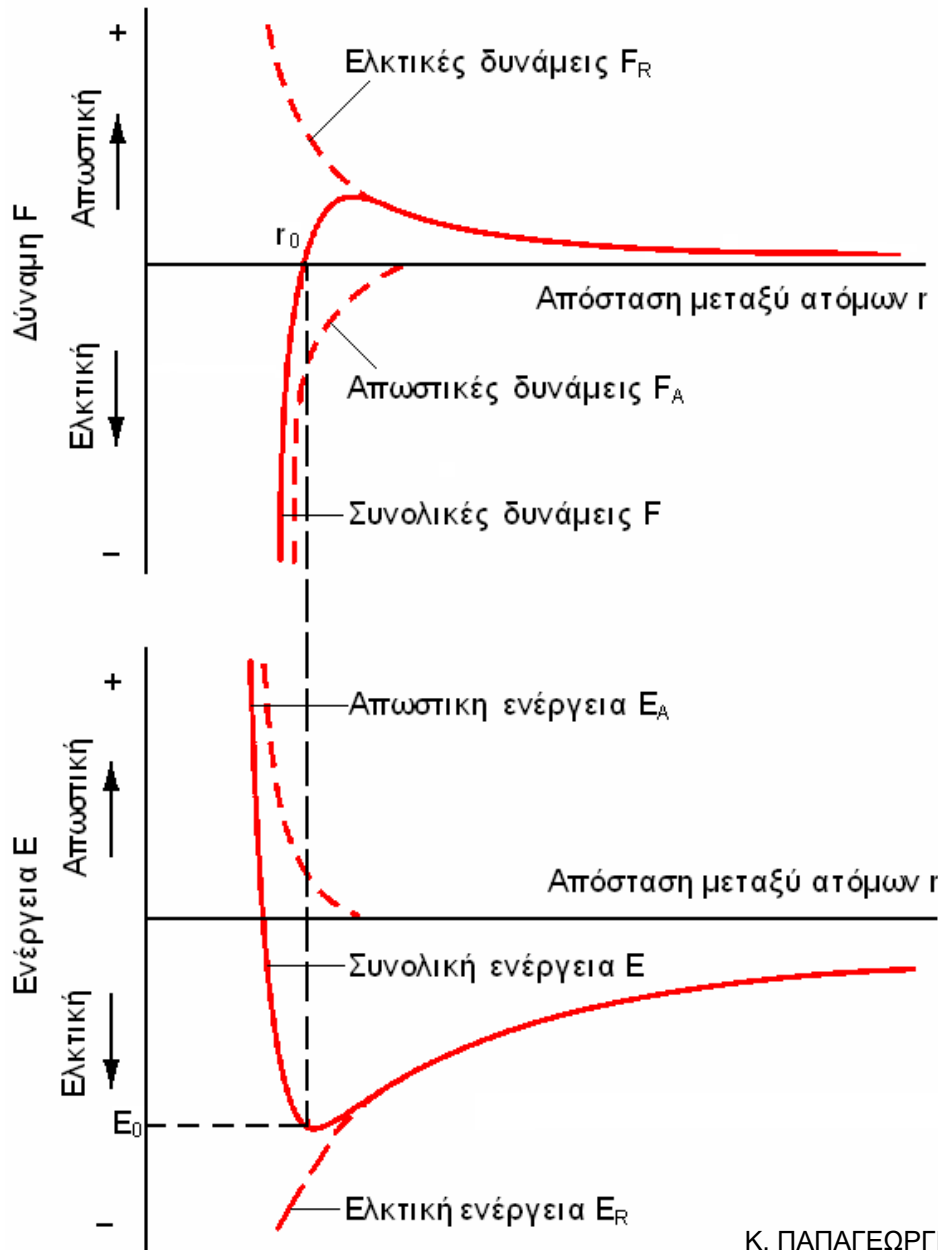
$[R_u=8.314 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{K})=8.314(\text{kPa} \cdot \text{m}^3)/(\text{kmol} \cdot \text{K})$].

Πραγματικά αέρια → Ιδανικό αέριο όταν αυτά βρίσκονται σε χαμηλές πυκνότητες, δηλαδή σε σχετικά χαμηλές πιέσεις και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στις συνθήκες που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον πολλά από τα γνωστά αέρια, όπως ο αέρας, το άζωτο, το οξυγόνο, το υδρογόνο, το ήλιο, το αργό, το νέο, το κρυπτό, αλλά ακόμα και αέρια με μεγαλύτερο μοριακό βάρος, όπως το CO_2 , μπορούν να θεωρηθούν ως ιδανικά αέρια με αμελητέο σφάλμα (συχνά $<0.1\%$).

Όταν αέρια με υψηλή πυκνότητα όπως ο υδρατμός στις θερμοηλεκτρικές μονάδες και τα ψυκτικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στα ψυγεία αντιμετωπίζονται σαν ιδανικά αέρια τότε προκύπτουν σχετικά σημαντικά σφάλματα. Για τις ουσίες αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι **Πίνακες ιδιοτήτων**

Μοντέλο των δύο ατόμων



$$\vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_R$$

$$\vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_R = 0$$

$$E = \int_{\infty}^r F dr \longrightarrow E = \int_{\infty}^r F_A dr + \int_{\infty}^r F_R dr \Rightarrow E = E_A + E_R$$

Ο παράγοντας συμπίεστικότητας (Z): ένα μέτρο της απόκλισης από την ιδανική συμπεριφορά ενός αερίου:

$$Z = \frac{Pv_{\text{real}}}{RT} \Rightarrow Z = \frac{v_{\text{real}}}{v_{\text{ideal}}} = \frac{v_{\text{real}}}{\left(\frac{RT}{P}\right)}$$

$Z=1$ πρόκειται για ιδανικό αέριο,

$Z \neq 1$ για πραγματικό αέριο

όσο πιο πολύ αποκλίνει ο Z από την μονάδα, τόσο το αέριο αποκλίνει από την ιδανική συμπεριφορά

Πειραματικά αποδεικνύεται:

- σε πολύ χαμηλές πιέσεις, τα αέρια συμπεριφέρονται ιδανικά, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία,
- σε υψηλές θερμοκρασίες η συμπεριφορά πλησιάζει την ιδανική ανεξάρτητα από την πίεση,
- στην περιοχή του κρίσιμου σημείου η απόκλιση είναι μεγαλύτερη.

Μονοφασικές περιοχές

Γενικά η καταστατική εξίσωση: $f(P, V, T) = 0$

$$V = V(T, P) \rightarrow dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP = 0$$

Συντελεστής θερμικής διαστολής, ή εκτατικότητα όγκου: $a = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

Συντελεστής ισόθερμης συμπιεστότητας, ή συμπιεστότητα: $k_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -1 \Rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T = -1 \Rightarrow \beta = \frac{a}{Pk_T}$$

Όπου ο συντελεστής μεταβολής πίεσης: $\beta = \frac{1}{P} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$

Μονοφασικές περιοχές

Ειδικά για ιδανικό αέριο:

$$\begin{array}{l}
 a = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \\
 k_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \\
 PV = RT
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 \Rightarrow a = \frac{1}{V} \left(\frac{VR}{P} \right)_P \Rightarrow a = \frac{1}{T} \\
 \Rightarrow k_T = -\frac{1}{V} \left(-\frac{VRT}{P^2} \right) \Rightarrow k_T = \frac{1}{P}
 \end{array} \right.$$

οπότε $a = \beta = 1/T$

Ασυμπίεστο ρευστό. Ισχύει $\alpha = k_T = 0$.

$$\frac{dV}{V} = \alpha dT - k_T dP$$

Οι ισόθερμες της υγρής φάσης που βρίσκονται στο αριστερό τμήμα του P - v έχουν μεγάλη κλίση και οι αποστάσεις μεταξύ τους είναι πολύ μικρές

Η εξίσωση *van der Waals* (χρήσιμη μόνο για αρχικό υπολογισμό)

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$

$$a = \frac{27R^2 T_{cr}^2}{64P_{cr}} \qquad b = \frac{RT_{cr}}{8P_{cr}}$$

δύο σταθερές που υπολογίζονται από τη συμπεριφορά της ουσίας στο κρίσιμο σημείο.

Ο δείκτης (*cr*) δηλώνει τις τιμές των καταστατικών μεγεθών στο κρίσιμο σημείο.

όρος a/v^2 : διόρθωση της πίεσης λόγω των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των μορίων (πίεση συνοχής ή αλλιώς εσωτερική πίεση)

σταθερά *b*: διόρθωση του ειδικού όγκου λόγω του όγκου που καταλαμβάνουν τα ίδια τα μόρια - ειδικά σε μεγάλες πιέσεις- (ίδιος όγκος), που δε λαμβάνονται υπόψη από το πρότυπο του ιδανικού αερίου.

Ενεργός Καταστατική Εξίσωση

$$Pv = RT + \left[1 + A(T) \frac{1}{v} + B(T) \frac{1}{v^2} + C(T) \frac{1}{v^3} + \dots \right]$$

Οι συντελεστές $A(T)$, $B(T)$, $C(T)$ κ.λπ. είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας και ονομάζονται ενεργοί συντελεστές.

Οι συντελεστές αυτοί μπορούν να υπολογιστούν είτε πειραματικά είτε θεωρητικά με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων.

Όταν η πίεση προσεγγίζει το μηδέν, οι ενεργοί συντελεστές απαλείφονται και η εξίσωση ανάγεται στην καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων. Με την ενεργή εξίσωση, η συμπεριφορά των πραγματικών αερίων μπορεί να προσεγγιστεί με μεγάλη ακρίβεια σ' ένα μεγάλο εύρος συνθηκών, εάν συμπεριληφθούν σε αυτή αρκετοί όροι.

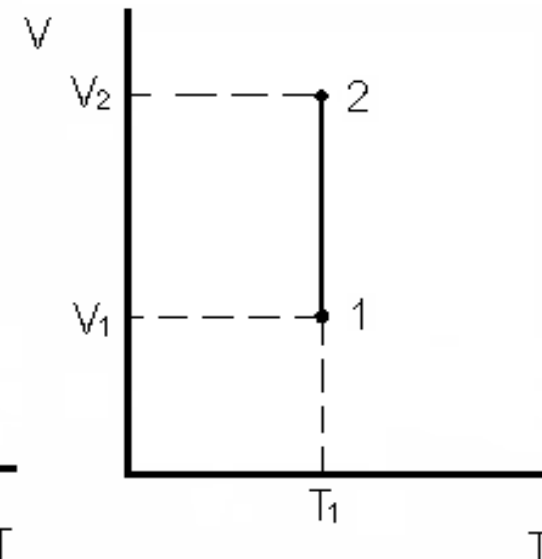
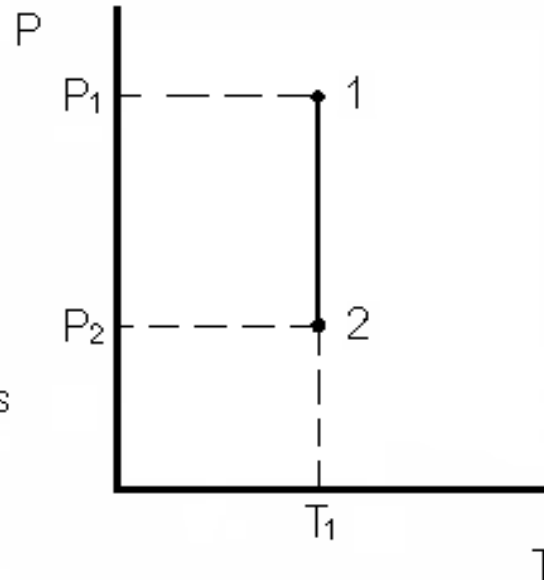
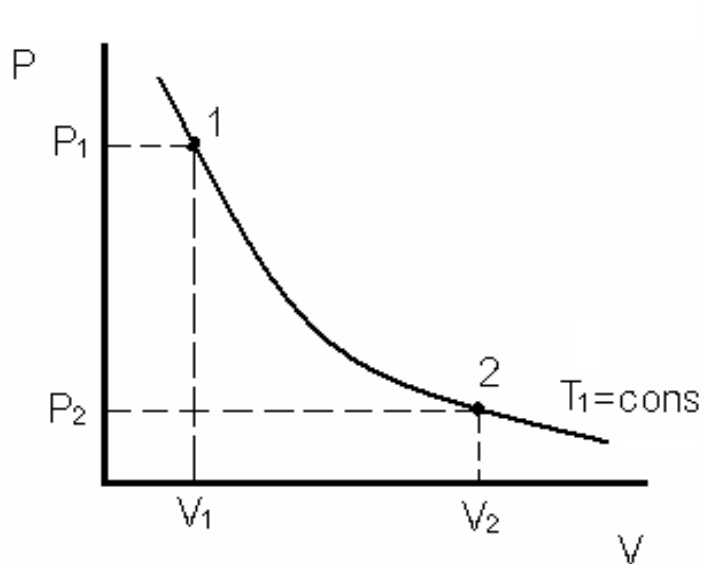
Οι καταστατικές εξισώσεις, που εξετάστηκαν μέχρι τώρα, αφορούν μόνο στην αέρια φάση των διαφόρων ουσιών και όχι ουσίες σε υγρή φάση ή μίγματα υγρών-ατμών.

Ισόθερμη: η μεταβολή της κατάστασης μιας ποσότητας ιδανικού αερίου, στην οποία μεταβάλλεται η πίεση και ο όγκος της ποσότητας του αερίου, η θερμοκρασία όμως παραμένει σταθερή.

Το 1662 ο *Boyle* : Η πίεση ορισμένης μάζας ιδανικού αερίου σε σταθερή θερμοκρασία, είναι αντιστρόφως ανάλογη του όγκου:

$$(P)_{n,T} = \frac{c}{V} \Rightarrow (PV)_{n,T} = c = \text{σταθερή}$$

Η σταθερή c εξαρτάται από την θερμοκρασία T και τον αριθμό των *mols* (n) και μάλιστα $c = nRT$, (καταστατική εξίσωση $PV = nRT$).



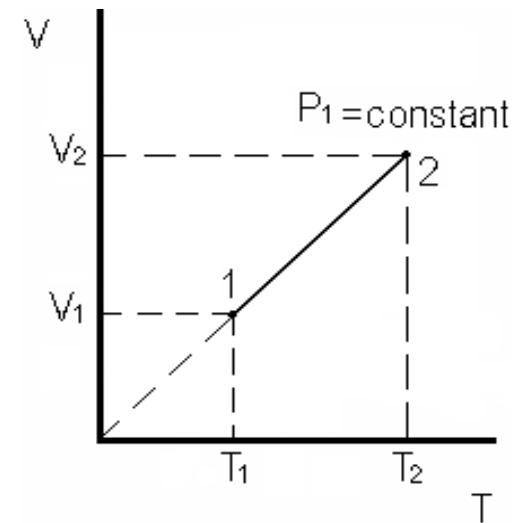
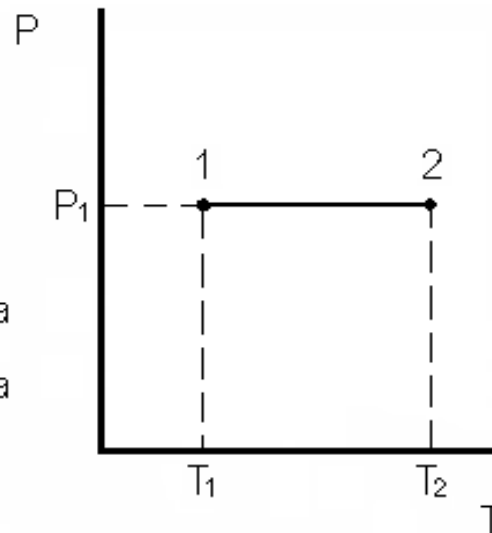
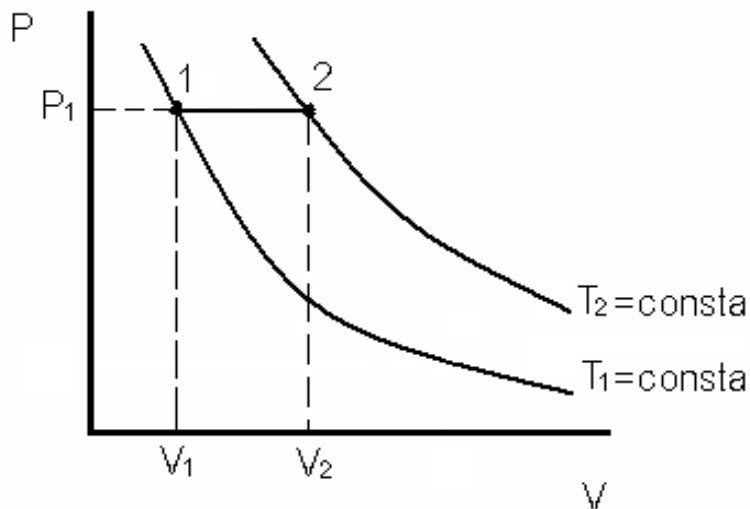
Ισοβαρής: μεταβάλλεται ο όγκος και η θερμοκρασία της ποσότητας του αερίου, η πίεση όμως παραμένει σταθερή.

Το 1802 ο *Gay-Lussac*: Ο όγκος ορισμένης μάζας ιδανικού αερίου σε σταθερή πίεση, είναι ανάλογος της θερμοκρασίας:

$$(V)_{n,P} = cT \Rightarrow \left(\frac{V}{T}\right)_{n,P} = c$$

Η σταθερή c εξαρτάται από την πίεση P και τον αριθμό των *mols* (n):

$$c = \frac{nR}{P} \quad \left(PV = nRT \Rightarrow \frac{V}{T} = \frac{nR}{P} = c \right)$$

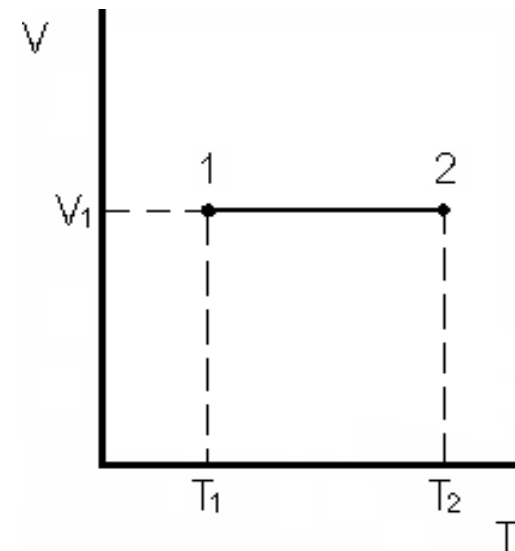
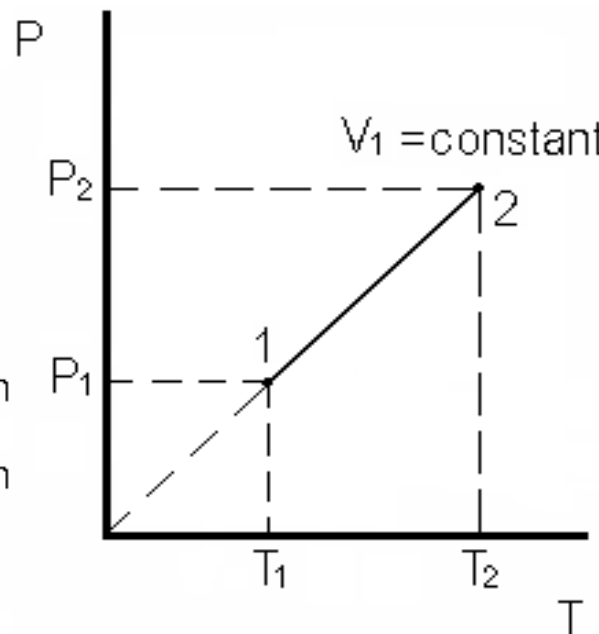
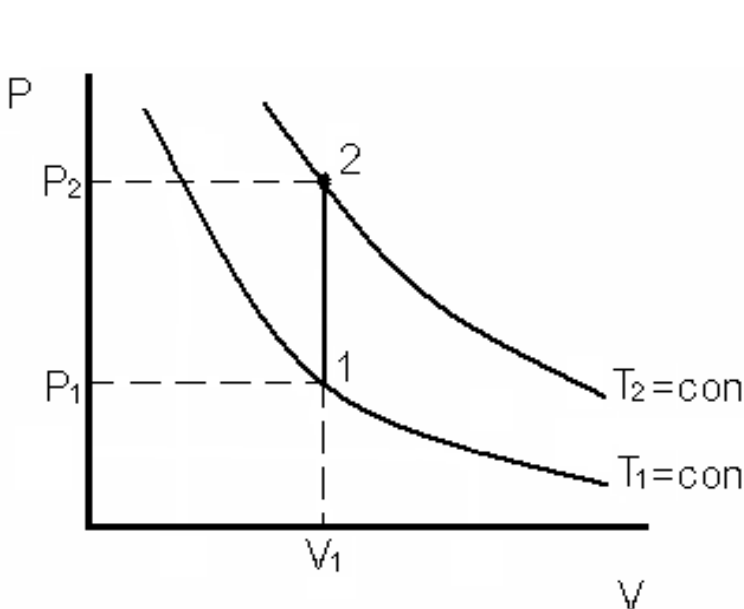


Ισόχωρη ή ισόογκη: μεταβάλλεται η πίεση και η θερμοκρασία της ποσότητας του αερίου, ο όγκος όμως παραμένει σταθερός.

Το 1772 ο J. A. Charles διατύπωσε για την ισόχωρη μεταβολή των ιδανικών αερίων τον εξής νόμο: Η πίεση ορισμένης ποσότητας ιδανικού αερίου υπό σταθερό όγκο είναι ανάλογη της απόλυτης θερμοκρασίας του.

$$(P)_{n,V} = cT \Rightarrow \left(\frac{P}{T}\right)_{n,V} = c$$

$$c = \frac{nR}{V} \left(PV = nRT \Rightarrow \frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = c \right)$$



Αδιαβατική: καμία ανταλλαγή θερμότητας του αερίου (συστήματος) με το περιβάλλον του.

Ο *Poisson* απέδειξε για ορισμένη μια ποσότητα ιδανικού αερίου σε μία αδιαβατική μεταβολή ($Q=0$) ισχύει:

$$PV^\gamma = c$$

όπου $\left(\gamma = \frac{c_P}{c_V} \right)$ που εξαρτάται από το είδος του αερίου.

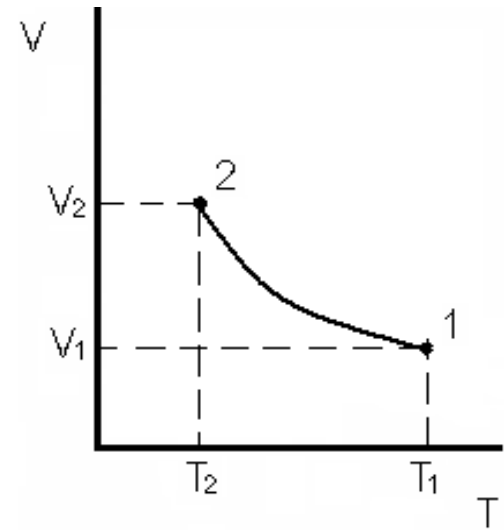
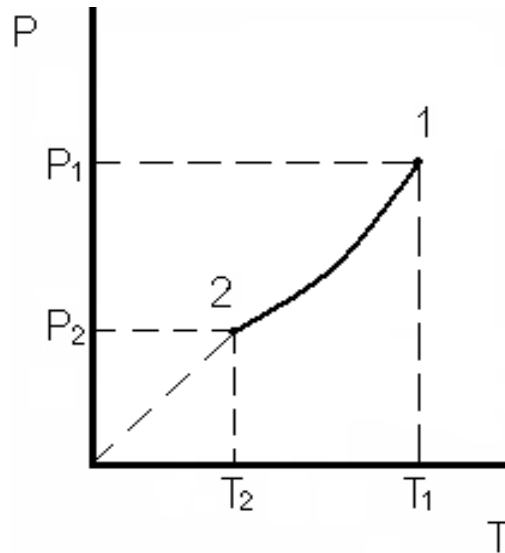
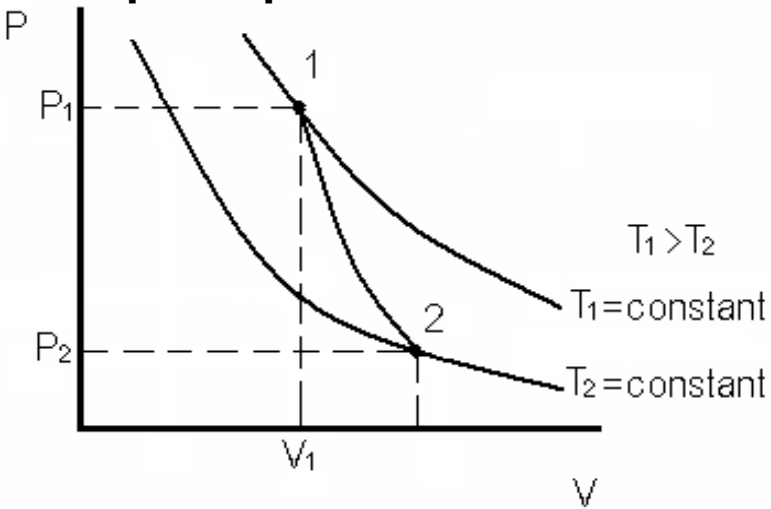
Επομένως, όταν μία ποσότητα μεταβάλλεται αδιαβατικά $1 \rightarrow 2$, θα ισχύει:

$$\begin{array}{l} P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma \\ PV = nRT \end{array} \quad \Bigg| \quad \Rightarrow$$

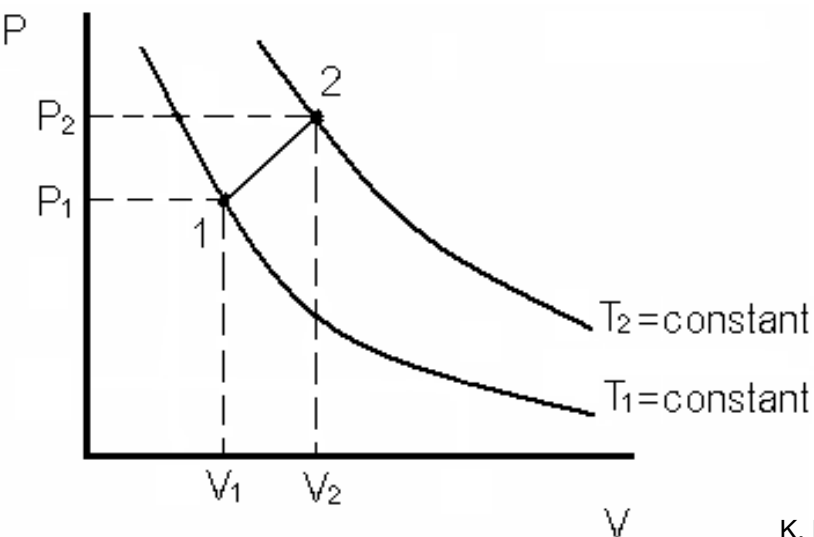
$$\Rightarrow \frac{nRT_1}{V_1} V_1^\gamma = \frac{nRT_2}{V_2} V_2^\gamma \Rightarrow T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow P_1 \left(\frac{nRT_1}{P_1} \right)^\gamma = P_2 \left(\frac{nRT_2}{P_2} \right)^\gamma \Rightarrow P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$$

Αδιαβατική :



Τυχαία: Όταν σε μία μεταβολή δεν μένει σταθερό κανένα από τα μεγέθη P, V και T αλλά και επίσης $Q \neq 0$



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \left(PV = nRT \Rightarrow \frac{PV}{T} = nR = c \right)$$

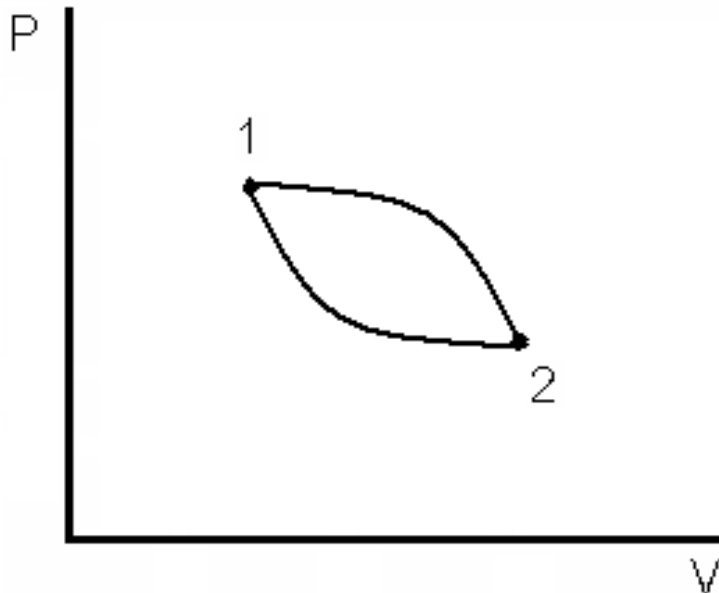
Πολυτροπική μεταβολή εισάγεται για να προσομοιώσει κάποιες μεταβολές που δεν μπορούν να χαρακτηριστούν σαν ισόθερμη, ισοβαρής ή ισόχωρη αλλά και ούτε και τυχαία. Ο νόμος που την διέπει είναι:

$$PV^n = c$$

όπου n μία σταθερά που ονομάζεται πολυτροπικός εκθέτης.

Στην ουσία αποτελεί μία γενίκευση των νόμων που διέπουν τις γνωστές μεταβολές που προαναφέρθηκαν.

Κυκλική: μία συνεχής, κλειστή μεταβολή, που αποτελείται από τυχαίες ή όχι επιμέρους μεταβολές. Στην κυκλική μεταβολή η αρχική και τελική κατάσταση ταυτίζονται.



Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Μορφές ενέργειας: κινητική + δυναμική = μηχανική
θερμική
ηλεκτρική
μαγνητική
χημική
πυρηνική

Ολική ενέργεια, E

Ειδική ολική ενέργεια ενός συστήματος ανά μονάδα μάζας (ειδικό μέγεθος): $e = E/m$

Στη Θερμοδυναμική:

$$E = U + KE + PE = U + \frac{m\vec{V}^2}{2} + mgz \quad (\text{J})$$

ολική ενέργεια ανά μονάδα μάζας, e:

$$e = u + ke + pe = u + \frac{\vec{V}^2}{2} + gz \quad (\text{J/kg})$$

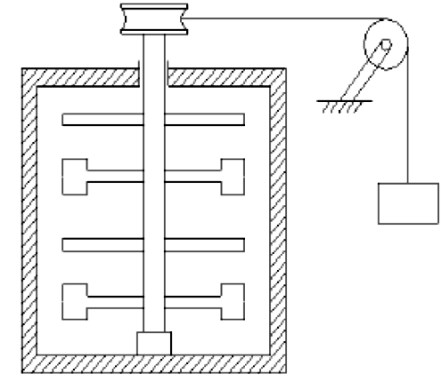
Γενικά: $u = u(T)$

Για **ιδανικά αέρια**: $u = c_v \cdot T$

όπου c_v είναι ειδική θερμότητα υπό σταθερό όγκο

Πειράματα *Joule*:

διερεύνηση της φύσης της θερμότητας και του έργου



- απαιτούνταν κάθε φορά ένα συγκεκριμένο ποσό έργου ανά μονάδα μάζας νερού για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω της ανάδευσης) κατά ένα βαθμό
- το νερό θα μπορούσε να αποκτήσει ξανά την αρχική του θερμοκρασία, αν ερχόταν σε επαφή με ένα πιο ψυχρό σώμα.

Συμπέρασμα: Υπάρχει μια ποσοτική σχέση ανάμεσα στο έργο και τη θερμότητα και για το λόγο αυτό η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας.

Θερμότητα που αποθηκεύεται = Εσωτερική ενέργεια μιας ουσίας :

- δεν περιλαμβάνει την ενέργεια που μπορεί να προέρχεται από τη μακροσκοπική θέση της ή την κίνηση της, αλλά
- αναφέρεται στην ενέργεια των μορίων που αποτελούν την ουσία και τα οποία βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, κατέχοντας κινητική ενέργεια λόγω μετακίνησης, (μικροσκοπική ενέργεια)

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Η **θερμότητα** που προσδίδεται ή αφαιρείται από ένα σύστημα δίνεται από την **εξίσωση της θερμιδομετρίας**:

$$Q = n \cdot C \cdot \Delta T$$

n αριθμός *moles* του συστήματος,

C η **γραμμομοριακή θερμοχωρητικότητα** ή **γραμμομοριακή θερμότητα** (*molar heat capacity*)
μονάδες: J/(mol.K).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

m η **μάζα** του συστήματος

$c = C/M_B$ η **ειδική θερμοχωρητικότητα** ή **ειδική θερμότητα** (*specific heat capacity*)
μονάδες: J/(kg.K).

Η θερμότητα ανά μονάδα μάζας (ειδική θερμότητα) δίνεται από την σχέση:

$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{J/kg})$$

Τρόποι Μετάδοσης της θερμότητας:

Αγωγή (conduction): Επαφή

Νόμος Fourier:
$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -k_t \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (\text{W})$$

όπου η σταθερά αναλογίας k_t παριστάνει τη θερμική αγωγιμότητα του υλικού και αποτελεί μέτρο της ικανότητας του υλικού να άγει τη θερμότητα.

Συναγωγή (convection) : Σχετική κίνηση και επαφή

Νόμο ψύξης του Newton:
$$\dot{Q}_{\text{conv}} = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad (\text{W})$$

όπου

h , ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή,

A , το εμβαδόν της επιφάνειας διαμέσου της οποίας γίνεται η μεταφορά θερμότητας,

T_s η θερμοκρασία της επιφάνειας,

T_f η θερμοκρασία της κύριας μάζας του ρευστού.

Με ακτινοβολία (*radiation*)

Νόμος των Stefan-Boltzmann: $\dot{Q}_{\text{emit,max}} = \sigma \cdot A \cdot T_s^4$ (W)

T_s η απόλυτη θερμοκρασία επιφάνειας,

A το εμβαδόν της επιφανείας σ

$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ η σταθερά *Stefan-Boltzmann*.

Η ιδανική επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με το μέγιστο αυτό ρυθμό ονομάζεται μαύρο (**μέλαν**) σώμα και η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα τέτοιο σώμα ονομάζεται ακτινοβολία του μέλανος σώματος.

Πραγματική επιφάνεια (σώμα):

$$\dot{Q}_{\text{emit}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_s^4 \quad (\text{W})$$

όπου ο συντελεστής ε (0-1) ονομάζεται ικανότητα εκπομπής της επιφάνειας.

Για το μέλαν σώμα $\varepsilon = 1$.

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Έργο (μορφή ενέργειας): η ενέργεια που διασχίζει τα όρια ενός κλειστού συστήματος και δεν είναι θερμότητα είναι έργο

$$W_{12} \text{ ή απλώς } W \quad (\text{J})$$

Το έργο ανά μονάδα μάζας ή ειδικό έργο $w = \frac{W}{m}$ (J/kg)

Το έργο που παράγεται ανά μονάδα χρόνου ονομάζεται **ισχύς** και συμβολίζεται με

$$\dot{W} \quad (\text{J/s}) \text{ ή (Watt)}$$

δQ και δW αντίστοιχα και όχι dQ ή dW γιατί η τιμή τους εξαρτάται από την διαδρομή
Επομένως:

$$\int_1^2 \delta W = W_{12} \quad (\text{όχι } \Delta W)$$

Έργο μετακίνησης οριακών επιφανειών (**έργο ογκομεταβολής**):

$$W_b = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

Προϋπόθεση: να είναι γνωστή η $P = f(V)$. Δηλαδή η εξίσωση της διαδρομής που ακολουθεί η διεργασία στο διάγραμμα P-V.

Έργο μετακίνησης οριακών επιφανειών (έργο ογκομεταβολής):

Κλειστά συστήματα:
$$W_b = \int_1^2 P dV \quad (\text{J})$$

Προϋπόθεση: να είναι γνωστή η $P = f(V)$. Δηλαδή η εξίσωση της διαδρομής που ακολουθεί η διεργασία στο διάγραμμα P-V.

Τεχνικό έργο ατράκτου (μηχανισμού):

Ανοικτά συστήματα:
$$w_{12}^t = - \int_1^2 v dP \quad (\text{J})$$

Έργο βαρύτητας

το έργο για την ανύψωση ενός σώματος από το επίπεδο z_1 στο επίπεδο z_2 :

$$W_g = \int_1^2 F dz = m \cdot g \int_1^2 dz = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1) \quad (\text{J})$$

όπου $z_2 - z_1$ είναι η κατακόρυφη απόσταση που διανύθηκε.

Το βαρυτικό έργο εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική κατάσταση δηλ. την διαφορά της δυναμικής ενέργειας και είναι ανεξάρτητο από τη διαδρομή

Έργο επιτάχυνσης

$$W_a = \int_1^2 F ds = \int_1^2 \left(m \frac{d\vec{V}}{dt} \right) (V dt) = m \cdot \int_1^2 \vec{V} d\vec{V} = \frac{1}{2} m \cdot (\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2) \quad (\text{J})$$

Το έργο που απαιτείται για την επιτάχυνση ενός σώματος είναι ανεξάρτητο από τη διαδρομή που ακολουθείται και ισούται με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του σώματος

1^{ος} νόμος της θερμοδυναμικής, ή 1^ο θερμοδυναμικό αξίωμα (**I.Θ.Α.**) ή **αρχή διατήρησης της ενέργειας**: η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να παραχθεί ούτε να καταστραφεί, αλλά μόνο να αλλάξει μορφή.

$$\Delta E = E_{in} - E_{out} = (Q_{in} - Q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) + (E_{mass,in} - E_{mass,out})$$

Μεταβολή της ολικής ενέργειας ενός συστήματος κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας (όταν δεν υπάρχουν ηλεκτρικά, μαγνητικά φαινόμενα και φαινόμενα επιφανειακής τάσης δηλαδή για απλά, συμπίεστα συστήματα:

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

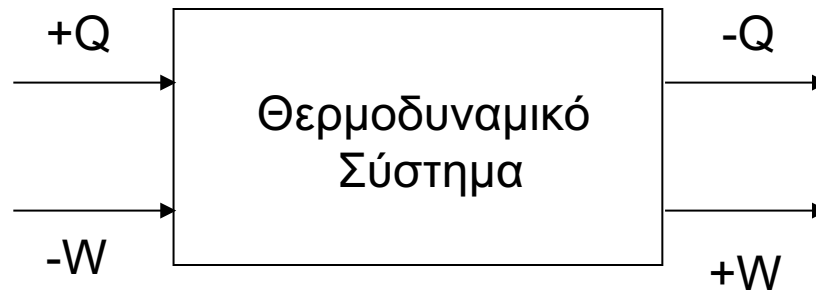
$$\text{όπου } \Delta U = m \cdot (u_2 - u_1), \quad \Delta KE = \frac{1}{2} m \cdot (\vec{V}_2^2 - \vec{V}_1^2) \text{ και } \Delta PE = m \cdot g \cdot (z_2 - z_1)$$

Για **στατικά** συστήματα (δεν περιλαμβάνουν αλλαγές ταχύτητας ή υψομετρικής διαφοράς, δηλαδή $\Delta KE = \Delta PE = 0$) προκύπτει:

$$\Delta E = \Delta U$$

για κλειστά συστήματα :

$$\Delta U = Q_{12} - W_{12} \Rightarrow Q_{12} = \Delta U + W_{12}$$



Τα μεγέθη Q_{12} και W_{12} , **θα πρέπει να αναγράφονται με τα πρόσημά τους**

Ενέργεια πίεσης» (*pressure potential energy, ppe*) ή **«ενέργεια ροής»** (*flow-work*) :

$$ppe \propto P$$

Αποδεικνύεται πως η σταθερά αναλογίας είναι ο ειδικός όγκος u και έτσι:

$$ppe = Pu = \frac{P}{\rho}$$

Για τα ιδανικά αέρια :

$$ppe = R \cdot T$$

Το **έργο ογκομεταβολής** σχετίζεται άμεσα με τη μεταβολή του όγκου, δηλαδή της μετακίνησης των οριακών επιφανειών όπως το έργο εκτόνωσης και συμπίεσης, ενώ το **τεχνικό έργο** με τη μεταβολή της πίεσης

$$w_{12}^t = - \int_1^2 v dP$$

όπου το μείον στην παραπάνω σχέση έχει να κάνει με τη σύμβαση ότι όταν το σύστημα (ρευστό) παράγει έργο όπως για παράδειγμα κατά την εκτόνωση, πρέπει το έργο να είναι θετικό