



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ Ι

Ενότητα 7: Θεωρήματα και σχέσεις μερικών
παραγώγων – Σχέσεις Maxwell – Θερμοδυναμικές
Καταστατικές Εξισώσεις

Σογομών Μπογοσιάν
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

Σκοποί ενότητας

- Σκοπός της ενότητας αυτής είναι η ανάπτυξη μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των θερμοδυναμικών συναρτήσεων



Περιεχόμενα ενότητας

- Μηχανική ισορροπία
- Ισορροπία σε ανοικτό σύστημα
- Μέγιστο έργο
- Θεωρήματα και σχέσεις μεταξύ μερικών παραγώγων
- Θερμοδυναμικές συναρτήσεις H , A , G
- Σχέσεις Maxwell
- Θερμοδυναμικές καταστατικές εξισώσεις



Ενδεικτική βιβλιογραφία

Χημική Θερμοδυναμική

Σ. Μπογοσιάν

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2008.



7

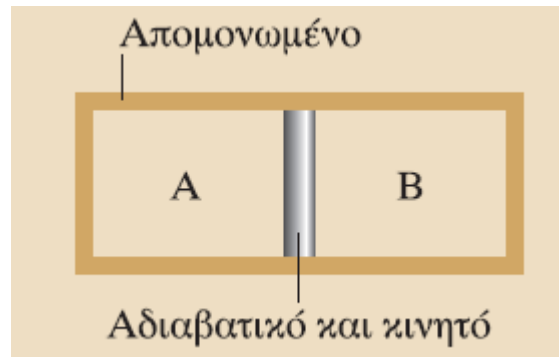
Θεωρήματα και σχέσεις μερικών
παραγώγων – Σχέσεις Maxwell –
Θερμοδυναμικές Καταστατικές
Εξισώσεις

Μηχανική ισορροπία

Θεωρήστε ένα απομονωμένο σύστημα/δοχείο με σταθερά τοιχώματα όμοιο με αυτό που δείχνει το Σχήμα. Μέσα στα υποσυστήματα A και B περιέχονται δύο ρευστά σε σταθερή θερμοκρασία ($T_A = T_B$).

Υπό συνθήκες σταθερού όγκου και θερμοκρασίας, η ελεύθερη ενέργεια Helmholtz A , ελαχιστοποιείται στην ισορροπία ($dA=0$).

Το συνολικό σύστημα (A+B) είναι απομονωμένο. Το τοίχωμα που χωρίζει τα A και B είναι αδιαβατικό και κινητό.



Θεωρήστε τώρα μια μικρή διαταραχή στην κατάσταση του συστήματος που προκύπτει από μια μετακίνηση του τοιχώματος, όπως δείχνει το Σχήμα.

Αποδείξτε ότι στην κατάσταση ισορροπίας, οι πιέσεις μέσα στα A και B θα είναι ίσες, $p_A = p_B$. Λάβετε υπόψη σας ότι η σύσταση μέσα στα υποσυστήματα A και B παραμένει σταθερή.

Ισορροπία σε ανοικτό σύστημα - 1

Θεωρείστε ένα σύστημα που περιέχει δύο φάσεις σε θερμική ισορροπία και σε σταθερή θερμοκρασία. Κάθε φάση αποτελεί ένα τυπικό ανοικτό σύστημα, καθώς μπορεί να ανταλλάξει ουσίες με τη γειτονική φάση. Θα δείξουμε ότι η συνθήκη ισορροπίας για τη μεταφορά ύλης μεταξύ φάσεων είναι η εξίσωση των χημικών δυναμικών των ουσιών σε κάθε φάση.

Θεωρούμε τώρα μία παραλλαγή του συστήματος κατά την οποία μια ποσότητα dn_{iB} του συστατικού i περνάει από τη φάση B στη φάση A. Υπό σταθερή θερμοκρασία, η μεταβολή της A για το συνολικό σύστημα είναι:

$$dA = dA_A + dA_B = -p_A dV_A - p_B dV_B + (\mu_{iA} - \mu_{iB}) dn_{iB}$$

όπου ο τελευταίος όρος προκύπτει επειδή $dn_{iA} = -dn_{iB}$.

Ισορροπία σε ανοικτό σύστημα - 2

Εάν η διεργασία είναι επαρκώς αργή, ώστε οι πιέσεις να είναι σταθερές, οι δύο πρώτοι όροι εκφράζουν το έργο που γίνεται στο σύστημα δw .

Άρα:

$$dA = \delta w + (\mu_{iA} - \mu_{iB})dn_{iB}$$

$$\text{Όμως } dA \leq \delta w \text{ και επομένως } (\mu_{iA} - \mu_{iB})dn_{iB} \leq 0$$

Συνεπώς, το πρόσημο της διαφοράς $(\mu_{iA} - \mu_{iB})$ είναι αντίθετο του προσήμου του dn_{iB} . Άρα εάν έχουμε μεταφορά του συστατικού από τη φάση B στη φάση A ($dn_{iB} > 0$), έπεται ότι το χημικό δυναμικό του συστατικού είναι μικρότερο στη φάση A.

Ισορροπία σε ανοικτό σύστημα - 3

Γενικά: Κάθε συστατικό τείνει να περάσει από περιοχές υψηλού προς περιοχές χαμηλού χημικού δυναμικού

Επιπλέον, για μια αντιστρεπτή μεταβολή του συνολικού συστήματος υπό σταθερά V, T θα έχουμε $dA = \delta w$ και:

$$\mu_{iA} = \mu_{iB}$$

Άρα

Συνθήκη χημικής ισορροπίας μεταξύ φάσεων: το χημικό δυναμικό κάθε συστατικού έχει την ίδια τιμή σε όλες τις φάσεις στις οποίες μπορεί να παρευρεθεί

Μέγιστο έργο - 1

Μεταβολή: $A \rightarrow B$

1ος Νόμος: $U_B - U_A = q + w$

οι τιμές τους εξαρτώνται
από τη «διαδρομή»

Ο 2^{ος} Νόμος βάζει έναν **περιορισμό στο μέγιστο έργο** που μπορούμε να πάρουμε από ένα σύστημα

Η συνολική μεταβολή της S , όταν το σύστημα απορροφά θερμότητα δq από το περιβάλλον είναι

$$dS_{ολ} = dS + dS_{\pi} \geq 0 \quad \text{με} \quad dS_{\pi} = \frac{-\delta q}{T_{\pi}}$$

$$\text{άρα} \quad dS = \frac{\delta q}{T_{\pi}} + d\sigma$$

θετική
ποσότητα

$$\text{αλλά:} \quad \delta q = dU - \delta w$$

$$dS = \frac{(dU - \delta w)}{T_{\pi}} + d\sigma$$

Μέγιστο έργο - 2

$$-\delta w = T_\pi dS - dU - T_\pi d\sigma \quad \text{που μπορεί να γραφεί}$$

$$-\delta w \leq T_\pi dS - dU \quad \text{Εάν } T_\pi = \text{σταθ.}, \text{ με ολοκλήρωση παίρνουμε:}$$

$$-w \leq T_\pi (S_B - S_A) - (U_B - U_A) \quad (1)$$

{ έργο που
γίνεται από το
σύστημα }

Έχει συγκεκριμένη τιμή για τη δράση $A \rightarrow B$

Μέγιστο έργο - 3

άρα το *έργο που γίνεται από το σύστημα* μένει πάντα μικρότερο από μια καθορισμένη τιμή που ορίζουν τα $S_B - S_A$ και $U_B - U_A$

Η *μέγιστη τιμή του*, $-w_{max}$, καθορίζεται όταν η (1) ισχύει ως ισότητα (δηλ. για *αντιστρεπτή* μεταβολή)

$$-w \leq -w_{max} = -w_{αντ}$$

Δεχόμενοι θερμική ισορροπία συστήματος-περιβάλλοντος ($T=T_{\pi}$):

Μέγιστο έργο που μπορούμε να πάρουμε *από σύστημα* σε σταθερή θερμοκρασία:

$$-w_{max} = T(S_B - S_A) - (U_B - U_A)$$

Τέλεια διαφορικά

Σχέσεις μεταξύ μερικών παραγώγων:

- - Εάν f είναι μια συνάρτηση των x και y , τότε εάν τα x και y μεταβληθούν κατά dx και dy , η f μεταβάλλεται κατά :

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_x dy$$

- Εάν έχουμε μία μερική παράγωγο και θέλουμε να εισάγουμε μια μεταβλητή $z=z(x,y)$ το κάνουμε ως εξής:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y = \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)_y \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y$$

Οι δεύτερες παράγωγοι υπολογίζονται με οποιαδήποτε σειρά:

$$\partial^2 f / \partial x \partial y = \partial^2 f / \partial y \partial x$$

Ανάπτυξη τέλειου διαφορικού σε συνεισφορές - 1

Εστω τώρα ότι η z είναι μια μεταβλητή από την οποία εξαρτώνται τα x και y . (Για παράδειγμα τα x, y, z μπορεί να αντιστοιχούν στα p, V, T .)
- όταν το x μεταβάλλεται υπό σταθερό z :

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_z = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)_y + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)_x \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z$$

- Επίσης ισχύει η σχέση της αντιστροφής:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \frac{1}{\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z}$$

- Ισχύει ακόμη η “σχέση του (-1)”

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

Ανάπτυξη τέλειου διαφορικού σε συνεισφορές - 2

Εάν η f είναι συνάρτηση των x, y, z , το διαφορικό της γράφεται:

$$df = gdx + hdy + kdz$$

Το διαφορικό αυτό είναι **τέλειο** εάν:

$$\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)_{x,z} = \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_{y,z}$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial z}\right)_{y,x} = \left(\frac{\partial k}{\partial y}\right)_{z,x}$$

$$\left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)_{x,y} = \left(\frac{\partial k}{\partial x}\right)_{z,y}$$

Βασικές θερμοδυναμικές εξισώσεις με βάση τις H, A, G

Η βασική θερμοδυναμική εξίσωση για κλειστό σύστημα: $dU = TdS - pdV$
μπορεί να αναδιαταχτεί με χρήση των ορισμών των
 H, A, G

Π.χ.

$$dH = d(U + pV) = dU + pdV + Vdp = (TdS - pdV) + pdV + Vdp$$

$$dA = d(U - TS) = dU - TdS - SdT = (TdS - pdV) - TdS - SdT$$

$$dG = d(U + pV - TS) = dU + pdV + Vdp - TdS - SdT = (TdS - pdV) + pdV + Vdp - TdS - SdT$$

$$dU = TdS - pdV$$

$$dA = -SdT - pdV$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$dG = -SdT + Vdp$$

Το χημικό δυναμικό - 1

Το χημικό δυναμικό – Βασικές θερμοδυναμικές εξισώσεις για συστήματα μεταβαλλόμενης σύστασης

Εξετάζουμε μια ομογενή φάση με k συστατικά.

Οι αριθμοί των γραμμομορίων των συστατικών είναι n_1, n_2, \dots, n_k .

Εάν αυτοί οι αριθμοί ήταν σταθεροί τότε η U θα ήταν συνάρτηση μόνο των V και S .

Για μεταβαλλόμενη σύσταση: $U = U(S, V, n_1, n_2, \dots, n_k)$

και

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, n_i} dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, n_i} dV + \sum_{i=1}^{i=k} \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_j} dn_i$$

Το χημικό δυναμικό - 2

για σταθερή σύσταση:

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{V,n_i} = T, \quad \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_{S,n_i} = -p$$

και ορίζουμε το **χημικό δυναμικό**
του συστατικού i ως:

$$\mu_i \equiv \left(\frac{\partial U}{\partial n_i}\right)_{S,V,n_j}$$

και έτσι

$$dU = TdS - pdV + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

Το χημικό δυναμικό - 3

Το **χημικό δυναμικό** είναι **εντατική** ιδιότητα και όπως τα T, p καθορίζουν την κατεύθυνση που θα μεταφερθεί θερμότητα ή θα κινηθεί ένα έμβολο, αυτό καθορίζει την κατεύθυνση που θα γίνει η διάχυση μιας ουσίας μεταξύ δύο φάσεων ή μπορεί να θεωρηθεί η αιτία για μια χημική αντίδραση

Αν ξεκινάγαμε από την G («φυσική» συνάρτηση των T, p):

$$dG = -SdT + Vdp$$

Για μεταβαλλόμενη σύσταση: $G = G(T, p, n_1, n_2, \dots, n_k)$

και

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{p, n_i} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_{T, n_i} dp + \sum_{i=1}^{i=k} \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, p, n_j} dn_i$$

Το χημικό δυναμικό - 4

για σταθερή σύσταση:

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_{p,n_i} = -S, \quad \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_{T,n_i} = V$$

και το διαφορικό της G

$$dG = -SdT + Vdp + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

όπου το μ_i τώρα ορίζεται ως $\mu_i \equiv \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T,p,n_j}$

για ένα συστατικό:

$$(dG)_{T,p} = \mu dn$$

Το χημικό δυναμικό - 5

Με ανάλογο τρόπο μπορεί να εκφραστεί το χημικό δυναμικό και ως συνάρτηση των H , A . Συνοπτικά παίρνουμε:

$$\mu_i \equiv \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V,n_j} = \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S,p,n_j} = \left(\frac{\partial A}{\partial n_i} \right)_{T,V,n_j} = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,p,n_j}$$

Βασικές θερμοδυναμικές εξισώσεις

$$dU = TdS - pdV + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

$$U = U(S, V, n_1, n_2, \dots, n_k)$$

$$dH = TdS + Vdp + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

$$H = H(S, p, n_1, n_2, \dots, n_k)$$

$$dA = -SdT - pdV + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

$$A = A(T, V, n_1, n_2, \dots, n_k)$$

$$dG = -SdT + Vdp + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$$

$$G = G(T, p, n_1, n_2, \dots, n_k)$$

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V, n_i} = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_{p, n_i}$$

$$S = - \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{p, n_i} = - \left(\frac{\partial A}{\partial T} \right)_{V, n_i}$$

$$p = - \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S, n_i} = - \left(\frac{\partial A}{\partial V} \right)_{T, n_i}$$

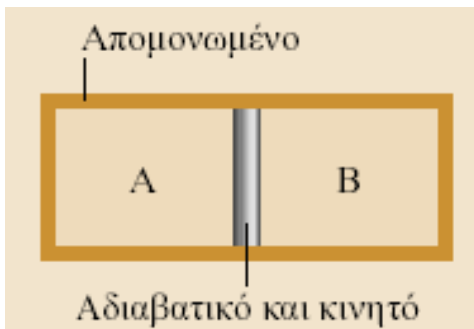
$$V = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_{T, n_i} = \left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_{S, n_i}$$

Συνθήκες ισορροπίας με βάση τις T , p και μ

- **Θερμική ισορροπία**

όταν δύο συστήματα/σώματα A και B βρίσκονται σε θερμική ισορροπία, τότε θα ισχύει $T_A = T_B$

- **Μηχανική ισορροπία**



Σε περίπτωση διαταραχής που προκαλεί μετακίνηση του τοιχώματος, αυτό θα σταματήσει όταν οι πιέσεις στα A και B γίνουν ίσες: $p_A = p_B$

- **Ισορροπία στη μεταφορά ύλης μεταξύ φάσεων – Χημική Ισορροπία**
Κάθε συστατικό τείνει να περάσει από περιοχές υψηλού προς περιοχές χαμηλού χημικού δυναμικού

Συνθήκη Χημικής Ισορροπίας: Το χημικό δυναμικό κάθε συστατικού έχει την ίδια τιμή σε όλες τις φάσεις όπου μπορεί να παρευρεθεί

Σχέσεις μεταξύ μερικών παραγώγων

Παράδειγμα 1: έστω ότι γνωρίζετε ή έχετε τρόπο να μετρήσετε την εξάρτηση της U από την T υπό σταθερό V και ζητάτε την αντίστοιχη εξάρτηση υπό σταθερή p .

Λύση: γνωρίζουμε την $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ Ζητάμε την $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p$

$$U = U(T, V) \Rightarrow dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV \quad (1)$$

και παραγωγίζοντας ως προς T υπό σταθερό p

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

← μπορεί φυσικά να εφαρμοστεί και για άλλες μεταβλητές

Από την (1) βλέπουμε ότι για σταθερή U : $0 = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$

Σχέσεις του Maxwell

άρα

$$\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_U \left(\frac{\partial V}{\partial U}\right)_T = -1$$

Σχέση του «-1»

Κυκλική εμφάνιση
Μεταβλητών. Μπορεί
να γραφεί και για άλλες
μεταβλητές

$$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V = -1$$

π.χ

Σχέσεις του Maxwell

$$\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_{S, n_i} = -\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_{V, n_i} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_{T, n_i} = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_{p, n_i}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_{S, n_i} = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_{p, n_i} \quad \left(\frac{\partial S}{\partial \mathcal{V}}\right)_{T, n_i} = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_{V, n_i}$$

Οι πλέον
χρήσιμες

Θερμοδυναμικές καταστατικές εξισώσεις

$$dU = TdS - pdV + \sum_{i=1} \mu_i dn_i \Rightarrow \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{T, n_i} = T \underbrace{\left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_{T, n_i}} - p$$

και με βάση μια σχέση του Maxwell $\rightarrow \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_{V, n_i}$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{T, n_i} = T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_{V, n_i} - p$$

1^η Θερμοδυναμική καταστατική
εξίσωση

Ανάλογα, ξεκινώντας από: $dH = TdS + Vdp + \sum_{i=1} \mu_i dn_i$ παίρνουμε

$$\left(\frac{\partial H}{\partial p} \right)_{T, n_i} = -T \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_{p, n_i} + V$$

2^η Θερμοδυναμική καταστατική
εξίσωση

Άσκηση

Να αποδείξετε ότι:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[p + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \right] \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

Λύση: $H = U + pV$

Παραγωγίζουμε ως προς T υπό σταθερή p

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + p \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \quad (1)$$

$$\underbrace{\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p}$$

Άσκηση

Θερμοδυναμική εξίσωση με βάση την S

Ξεκινώντας από:

$$S = S(V, U, n_i) \quad \text{να αναπτύξετε το διαφορικό της } S$$

και να δείξετε ότι
$$dS = \frac{p}{T} dV + \frac{1}{T} dU - \sum_i \frac{\mu_i}{T} dn_i$$

Λύση: Αναπτύσσουμε το dS

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial V} \right)_{U, n_i} dV + \left(\frac{\partial S}{\partial U} \right)_{V, n_i} dU + \sum_i \left(\frac{\partial S}{\partial n_i} \right)_{V, n_k, U} dn_i$$

$$dS = \underbrace{\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{U, n_i}}_{\frac{p}{T}} dV + \underbrace{\left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{V, n_i}}_{\frac{1}{T}} dU + \sum_i \underbrace{\left(\frac{\partial S}{\partial n_i}\right)_{V, n_k, U}}_{-\frac{\mu_i}{T}} dn_i$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_U \underbrace{\left(\frac{\partial V}{\partial U}\right)_S}_{-\frac{1}{p}} \underbrace{\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V}_T = -1$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial n_i}\right)_{U, V, n_k} \underbrace{\left(\frac{\partial n_i}{\partial U}\right)_{S, V, n_k}}_{\frac{1}{\mu_i}} \underbrace{\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{n_i, V, n_k}}_T = -1$$

$$dS = \frac{p}{T} dV + \frac{1}{T} dU - \sum_i \frac{\mu_i}{T} dn_i$$

Αναφορές

Οι εικόνες στις διαφάνειες 6 και 23 είναι από το βιβλίο
Μπογοσιάν, Σ. (2008) Χημική Θερμοδυναμική, Πάτρα: ΕΑΠ, σ. 78.



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών. Καθηγητής, Σογομών Μπογοσιάν.
«Θερμοδυναμική Ι». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2180/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.