

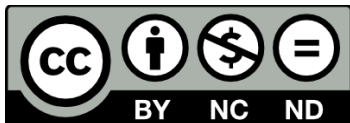


Εφαρμοσμένη Θερμοδυναμική

Ενότητα 11: Μίγματα

Χατζηαθανασίου Βασίλειος
Καδή Στυλιανή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



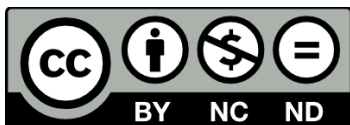
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.





Μίγματα



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Ενεργειακές ιδιότητες μιγμάτων
2. Μίγματα αέρα – υδρατμών
3. Ψυχομετρικό διάγραμμα



Μίγμα (1/7)

- Σύνολο ομάδων σωματιδίων με διαφορετική χημική δομή.
- Μίγμα ανεξαρτήτων συστατικών: τα συστατικά δεν αντιδρούν χημικά και οι ιδιότητες τους δεν επηρεάζονται από την παρουσία των άλλων.
- Νόμος Gibbs – Dalton: Σε μίγμα τελείων αερίων κάθε συστατικό συμπεριφέρεται σαν να έχει τη θερμοκρασία του μίγματος και να καταλαμβάνει τον όγκο του μίγματος.
- Σύσταση μίγματος: προσδιορίζεται από την γραμμομοριακή ή την βαρυμετρική ανάλυση.



Μίγμα (2/7)

- Κλάσμα μάζας m_f :

$$m_f_i \equiv \frac{m_i}{m_m} \quad m_m = \sum_i m_i$$

- Γραμμομοριακό κλάσμα y :

$$y_i \equiv \frac{N_i}{N_m} \quad N_m = \sum_i N_i$$

- m_m : μάζα μίγματος
- N_m : αριθμός γραμμομορίων μίγματος



Μίγμα (3/7)

- Προφανώς:

$$\sum_i mf_i = 1 \quad \sum_i y_i = 1$$

- Μέση γραμμομοριακή μάζα:

$$M_m = \frac{m_m}{N_m} = \sum_i y_i M_i \quad (\text{kg/kmol})$$

- Μέση σταθερά αερίου:

$$R_m = \frac{\mathfrak{R}}{M_m}$$



Μίγμα (4/7)

- Η θερμοκρασία T_i οποιουδήποτε συστατικού του μίγματος σε θερμοδυναμική ισορροπία είναι ίση με τη θερμοκρασία T του μίγματος:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \dots = T$$



Μίγμα (5/7)

- Νόμος Dalton: Η πίεση P_m μίγματος σε ισορροπία είναι ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων P_i των συστατικών του μίγματος:

$$P_m = \sum_i P_i$$

- Μερική πίεση (πίεση συστατικού): η πίεση που θα είχε κάθε ένα από τα συστατικά του μίγματος αν καταλάμβανε μόνο του ολόκληρο τον όγκο του μίγματος και είχε τη θερμοκρασία του μίγματος.



Μίγμα (6/7)

- Νόμος Amagat: Ο όγκος V_m μίγματος σε ισορροπία είναι ίσος με το άθροισμα των μερικών όγκων V_i των συστατικών του μίγματος:

$$V_m = \sum_i V_i$$

- Μερικός όγκος (όγκος συστατικού): ο όγκος που θα είχε κάθε ένα από τα συστατικά του μίγματος αν βρισκόταν μόνο του στη θερμοκρασία και στην πίεση του μίγματος.



Μίγμα (7/7)

- Οι νόμοι Dalton και Amagat είναι ακριβείς για ιδανικά αέρια και προσεγγιστικοί για πραγματικά αέρια.



Ενεργειακές ιδιότητες μιγμάτων

$$u_m = \sum_i mf_i u_i$$

$$\bar{u} = \sum_i y_i \bar{u}_i$$

$$u_i = \frac{U_i}{m_i}, \bar{u} = \frac{U_m}{N_m}$$

$$h_m = \sum_i mf_i h_i$$

$$\bar{h} = \sum_i y_i \bar{h}_i$$

$$s_m = \sum_i mf_i s_i$$

$$\bar{s} = \sum_i y_i \bar{s}_i$$

$$c_{p,m} = \sum_i mf_i c_{p_i}$$

$$\bar{c}_p = \sum_i y_i \bar{c}_{p_i}$$

$$c_{v,m} = \sum_i mf_i c_{v_i}$$

$$\bar{c}_v = \sum_i y_i \bar{c}_{v_i}$$



Μίγματα τελείων αερίων (1/2)

$$P_i V_m = N_i \mathcal{R}T$$

$$V_m \sum_i P_i = \mathcal{R}T \sum_i N_i \Rightarrow P V_m = N_m \mathcal{R}T$$

$$\frac{P_i}{P_m} = \frac{N_i}{N_m} \equiv y_i$$



Μίγματα τελείων αερίων (2/2)

$$V_i \equiv \frac{N_i \mathcal{R}T}{P_m}$$

$$V_i = \frac{N_i}{N_m} \frac{N_m \mathcal{R}T}{P_m} = y_i V_m$$

$$\frac{V_i}{V_m} = \frac{N_i}{N_m} = \frac{P_i}{P_m} = y_i$$



Μίγματα αέρα – υδρατμών (1/5)

- Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι μίγμα:
 - ξηρού αέρα (μίγμα αζώτου, οξυγόνου κλπ).
 - υδρατμών.
- Η ποσότητα των υδρατμών στον αέρα είναι σημαντική παράμετρος για τις κλιματιστικές εφαρμογές.



Μίγματα αέρα – υδρατμών (2/5)

- Θερμοκρασία αέρα στις κλιματιστικές εφαρμογές:
 - -10 ως 50 °C.
- Στη περιοχή αυτή θερμοκρασιών ο ξηρός αέρας θεωρείται τέλειο αέριο με $c_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$.
- Άρα:
 - $h_{\xi,\alpha} = c_p T = (1.005 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C})T$ (kJ/kg)
 - $\Delta h_{\xi,\alpha} = c_p \Delta T = (1.005 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C})\Delta T$ (kJ/kg)
 - Θερμοκρασία αναφοράς 0 °C
 - Η θερμοκρασία T σε °C.



Μίγματα αέρα - υδρατμών (3/5)

- Υδρατμός: Η πίεση κορεσμού του νερού στους 50 °C είναι 12.3 kPa. Σε πιέσεις κάτω από αυτή τη τιμή κορεσμού ο υδρατμός μπορεί να θεωρηθεί **τέλειο αέριο**.
- Άρα ο αέρας θεωρείται μίγμα τελείων αερίων με πίεση ίση με το άθροισμα των μερικών πιέσεων ξηρού αέρα και υδρατμού

$$P = P_{\alpha} + P_{\upsilon}$$

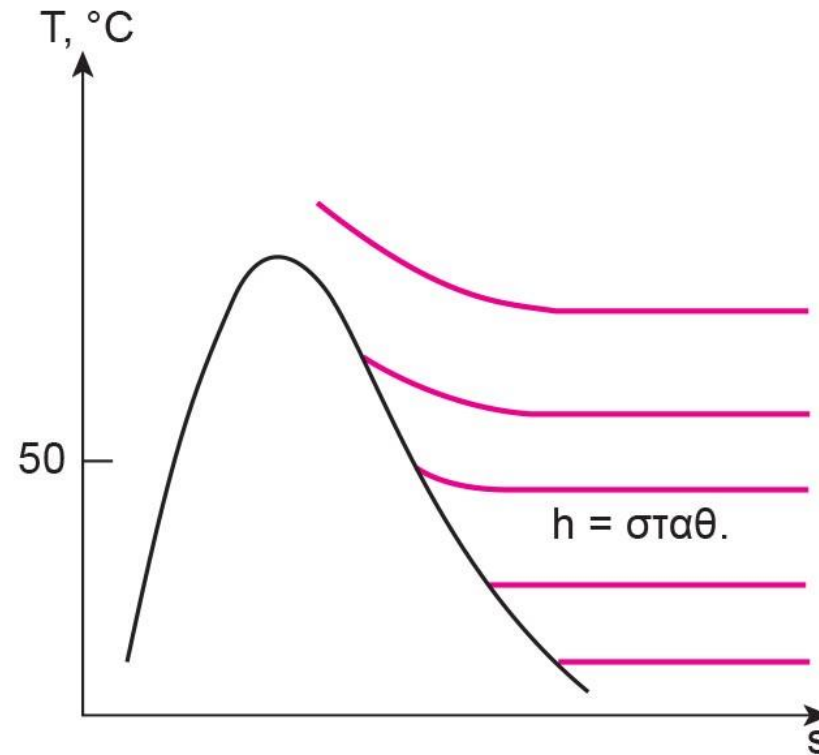


Μίγματα αέρα - υδρατμών (4/5)

- Επειδή ο υδρατμός συμπεριφέρεται σαν τέλειο αέριο η ενθαλπία του είναι συνάρτηση μόνο της θερμοκρασίας. Επομένως, η ενθαλπία του λαμβάνεται ίση με την ενθαλπία του κορεσμένου ατμού στην ίδια θερμοκρασία:
- $h_u(T, \text{χαμ. } P) = h_g(T)$



Μίγματα αέρα - υδρατμών (5/5)



Εικόνα 1: Σε θερμοκρασίες άνω των 50°C οι γραμμές ενθαλπίας συμπίπτουν με τις γραμμές σταθερής θερμοκρασίας στην περιοχή του υπέρθερμου ατμού



Ειδική – σχετική υγρασία (1/2)

- Ειδική υγρασία:

$$\omega \equiv \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{kg H}_2\text{O/kg ξ.α})$$

- ή

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / (R_v T)}{P_a V / (R_a T)} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v}$$



Ειδική – σχετική υγρασία (2/2)

- Σχετική υγρασία: $\varphi \equiv \frac{p_v}{p_{SAT}}$
- Υδρατμός: τέλειο αέριο

$$p_v = \frac{m_v R_v T}{V}$$

$$p_{SAT} = \frac{m_{SAT} R_v T}{V}$$

$$\varphi = \frac{m_v}{m_{SAT}}$$



Μίγματα αέρα – υδρατμών (1/2)

- Σχετική υγρασία: από 0 (ξηρός αέρας) ως 1 (κορεσμένος αέρας).
- Η ποσότητα υγρασίας που μπορεί να κατακρατήσει ο αέρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Άρα, η σχετική υγρασία μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία (έστω και αν η ω είναι σταθερή).



Μίγματα αέρα - υδρατμών (2/2)

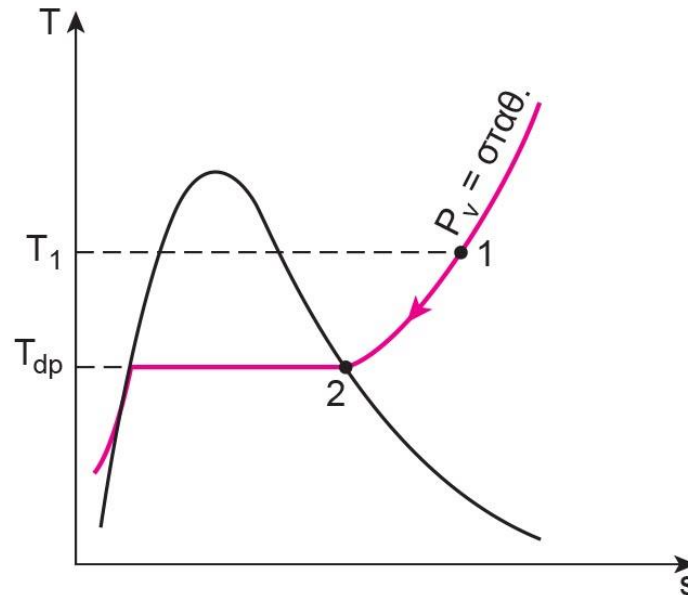
- Στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές η ποσότητα του ξηρού αέρα παραμένει σταθερή. Για το λόγο αυτό η ενθαλπία του ατμοσφαιρικού αέρα εκφράζεται ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα:

$$h^* = h_a + \omega h_g \quad \text{kJ / kg ξηρού αέρα}$$



Θερμοκρασία δρόσου T_{dp}

- Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει η συμπύκνωση των υδρατμών όταν ο αέρας ψύχεται σε σταθερή πίεση.



Εικόνα 2: Η ισοβαρής ψύξη του υγρού αέρα και το σημείο δρόσου στο διάγραμμα T-s του νερού



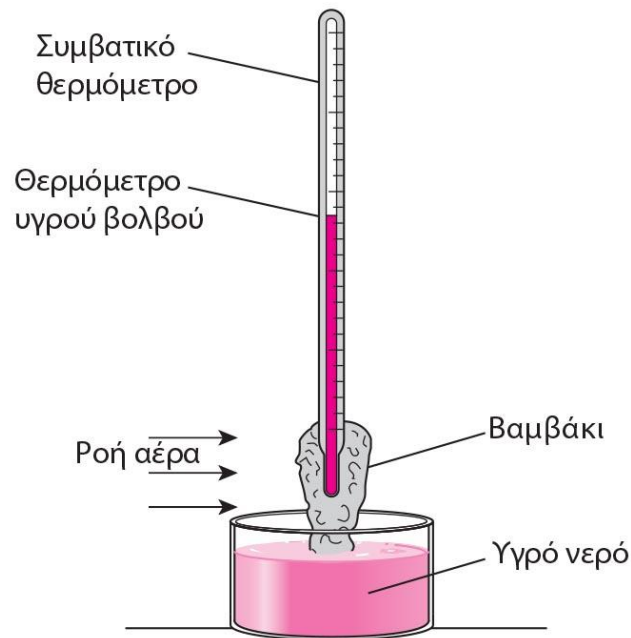
Υγρομετρία (1/2)

- Μέτρηση της σχετικής και ειδικής υγρασίας μέσω της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου ή της θερμοκρασίας αδιαβατικού κορεσμού.



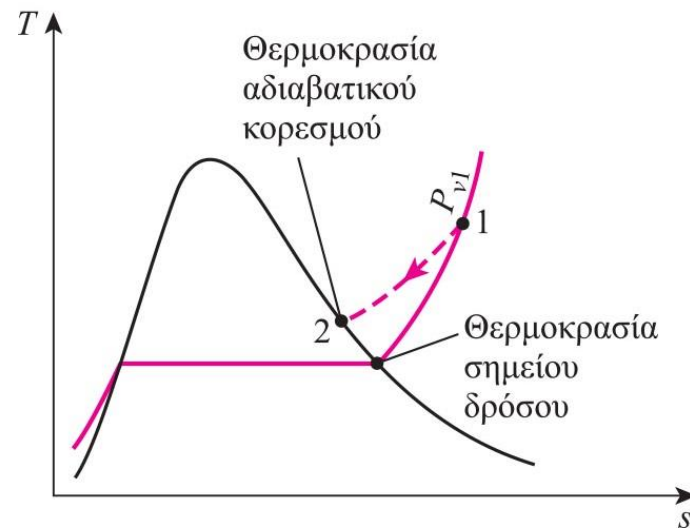
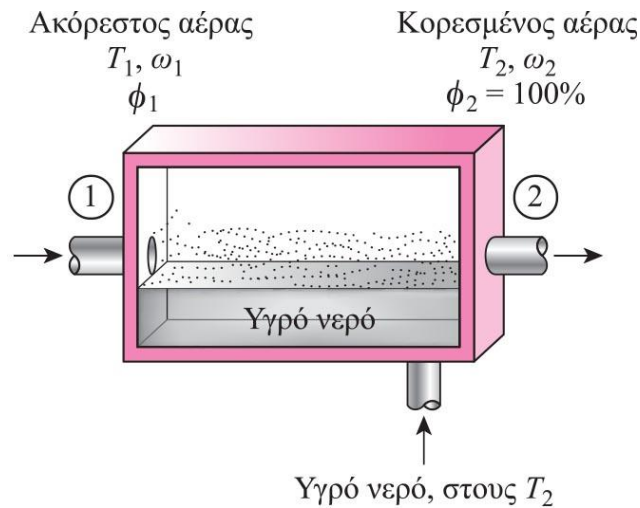
Υγρομετρία (2/2)

- Θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου T_{DB}
- Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_{WB}



Εικόνα 3: Απλή διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας υγρού βολβού

Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού (1/5)



Εικόνα 4: Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού και αναπαράστασή της σε ένα διάγραμμα T-s του νερού



Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού (2/5)

- Ισοζύγια μάζας:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_f = \dot{m}_{v2} \quad \text{ή} \quad \dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_f = \dot{m}_a \omega_2$$

- Οπότε:

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1)$$



Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού (3/5)

- Ισοζύγιο ενέργειας:

$$\dot{m}_\alpha h_1 + \dot{m}_f h_{f2} = \dot{m}_\alpha h_2$$

ή

$$\dot{m}_\alpha h_1 + \dot{m}_\alpha (\omega_2 - \omega_1) h_{f2} = \dot{m}_\alpha h_2$$

- Διαιρώντας με \dot{m}_α :

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_{f2} = h_2$$

ή

$$(c_p T_1 + \omega_1 h_{g1}) + (\omega_2 - \omega_1) h_{f2} = (c_p T_2 + \omega_2 h_{g2})$$



Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού (4/5)

- Από τη τελευταία εξίσωση προκύπτει:

$$\omega_1 = \frac{c_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

- όπου:

$$\omega_2 = \frac{0.622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}}$$

- Αφού ($\phi_2=100\%$)

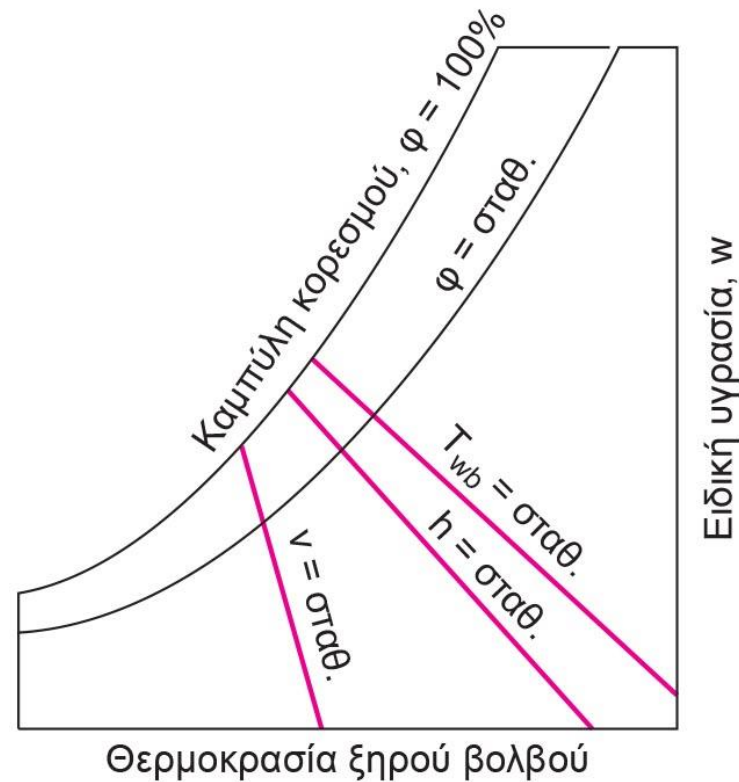


Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού (5/5)

- Από τη θερμοκρασία T_2 που κατά προσέγγιση είναι ίση με τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου T_{wb} , υπολογίζεται η h_{fg2} και σε συνδυασμό με τη τελευταία σχέση η ω_2 .
- Από τη θερμοκρασία T_1 υπολογίζεται η h_{g1} .
- Επομένως, αν μετρηθούν οι θερμοκρασίες T_1 και T_2 , όλα τα μεγέθη είναι γνωστά για τον υπολογισμό της ω_1 .

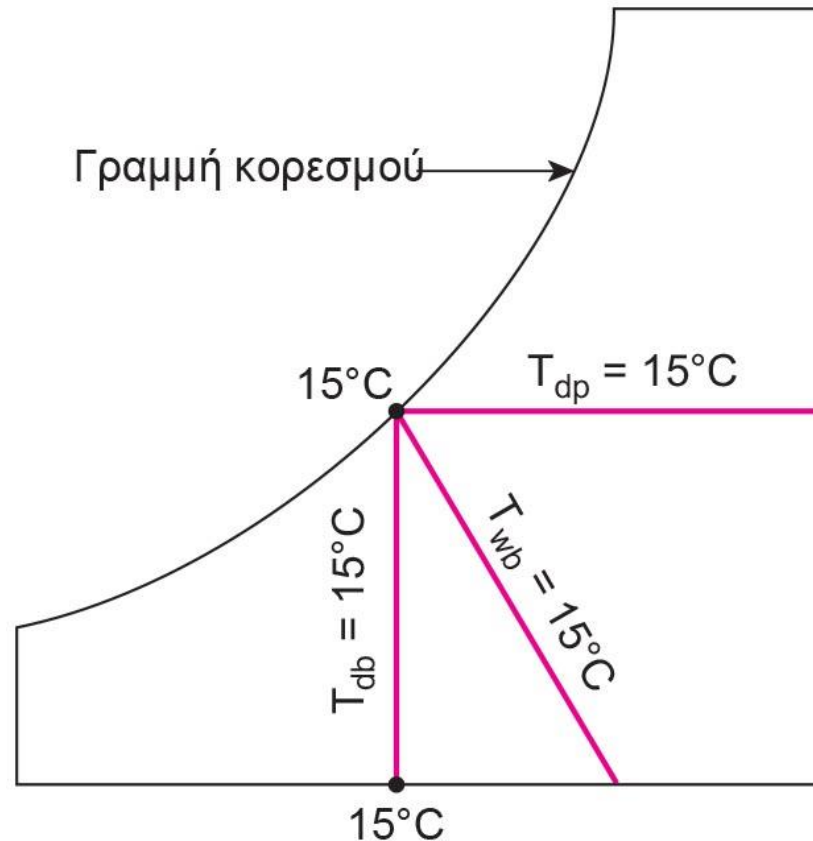


Ψυχομετρικό διάγραμμα (1/5)



Εικόνα 5: Σχηματική μορφή ενός ψυχομετρικού διαγράμματος

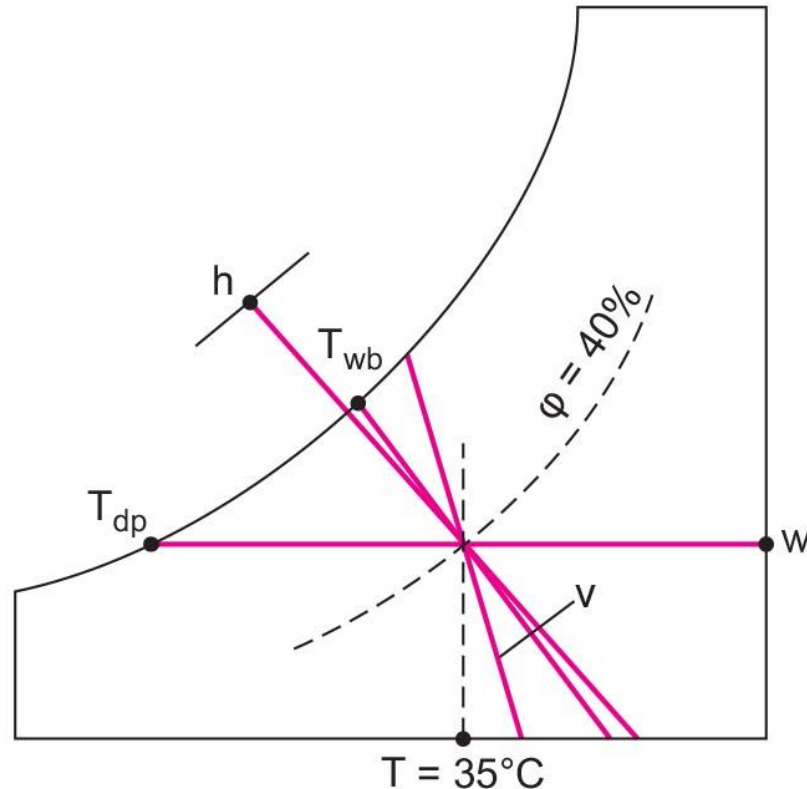
Ψυχομετρικό διάγραμμα (2/5)



Εικόνα 6: Για κορεσμένο αέρα οι θερμοκρασίες ξηρού βολβού, υγρού βολβού και σημείου δρόσου ταυτίζονται

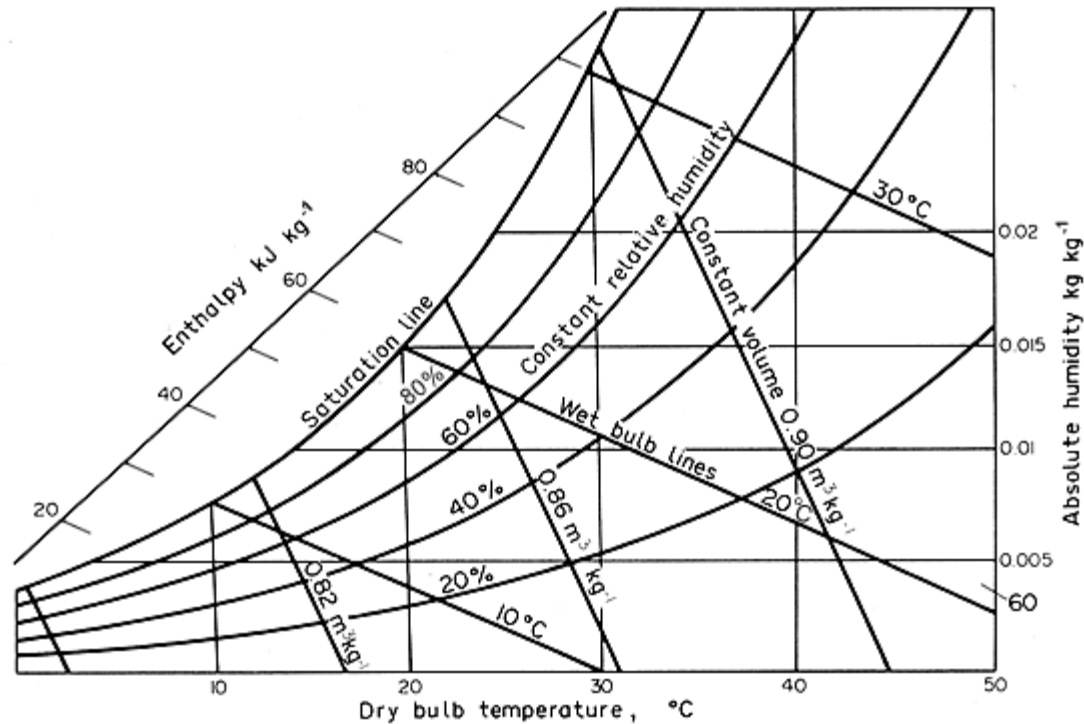


Ψυχομετρικό διάγραμμα (3/5)



Εικόνα 7: Ψυχομετρικό διάγραμμα

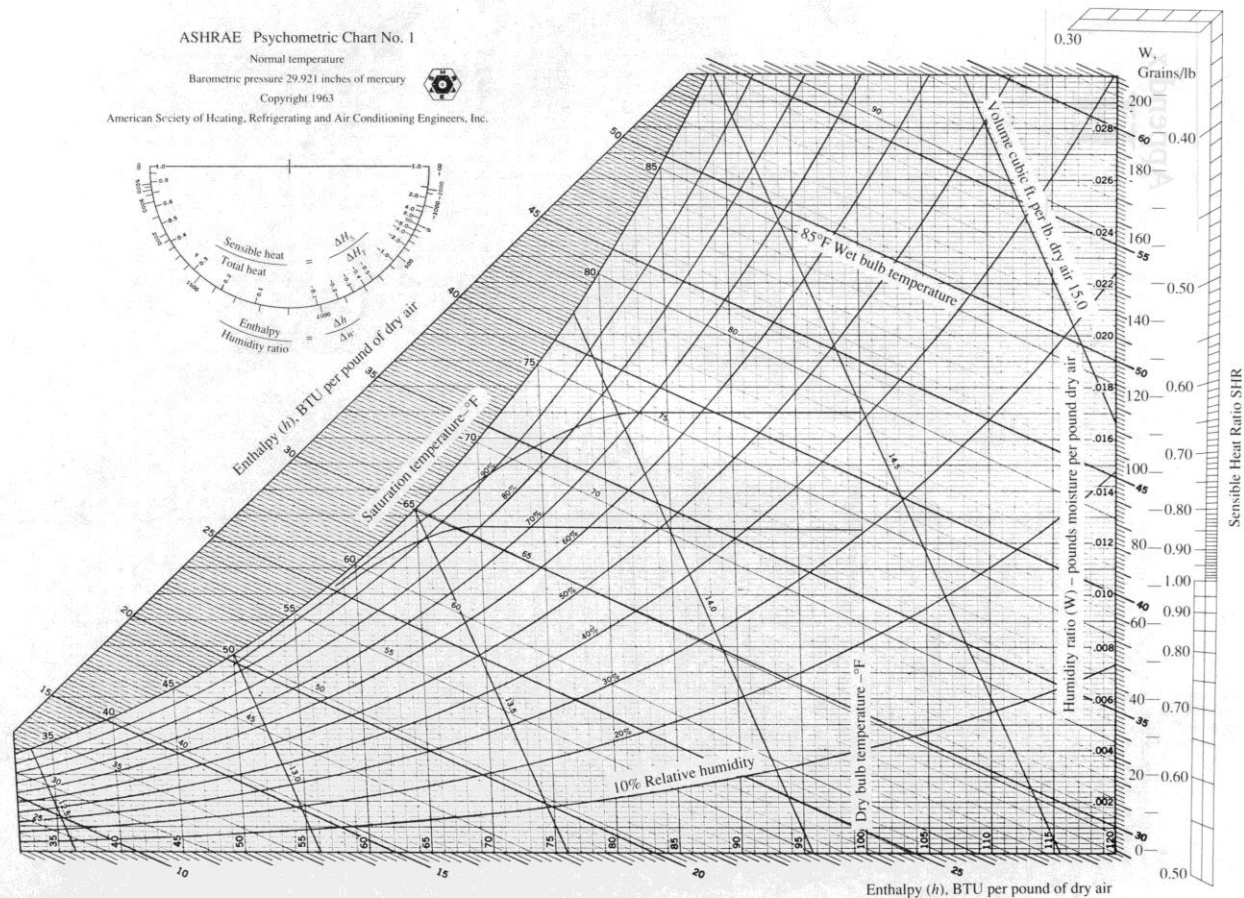
Ψυχομετρικό διάγραμμα (4/5)



Εικόνα 8: Ψυχομετρικό διάγραμμα



Ψυχομετρικό διάγραμμα (5/5)



APPENDIX II.1 Psychrometric Chart.
Based on ASHRAE Psychrometric Chart No. 1. Reprinted with permission from ASHRAE Inc.
Sensible heat ratio (SHR), humidity ratio scale in grains/lb, and two cooling and dehumidifying curves were added by author.

Εικόνα 9: Ψυχομετρικό διάγραμμα



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Σε θερμοκρασίες άνω των 50°C οι γραμμές ενθαλπίας συμπίπτουν με τις γραμμές σταθερής θερμοκρασίας στην περιοχή του υπέρθερμου ατμού: Σελίδα 764, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 2:

Η ισοβαρής ψύξη του υγρού αέρα και το σημείο δρόσου στο διάγραμμα T-s του νερού: Σελίδα 768, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 3:

Απλή διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας υγρού βολβού: Σελίδα 770, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 4:

Διεργασία αδιαβατικού κορεσμού και αναπαράστασή της σε ένα διάγραμμα T-s του νερού: Σελίδα 769, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/3)

- Εικόνα 5:

Σχηματική μορφή ενός ψυχομετρικού διαγράμματος: Σελίδα 722, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 6:

Για κορεσμένο αέρα οι θερμοκρασίες ξηρού βολβού, υγρού βολβού και σημείου δρόσου ταυτίζονται: Σελίδα 722, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 7:

Ψυχομετρικό διάγραμμα: Σελίδα 773, Θερμοδυναμική για Μηχανικούς, Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, εκδόσεις Τζιόλα

- Εικόνα 8:

Ψυχομετρικό διάγραμμα:

<http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/drying3.htm>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/3)

- Εικόνα 9:

Ψυχομετρικό διάγραμμα: <http://the-ec-way.com/uh-ashrae-psychrometric-chart.shtml>



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζηαθανασίου Βασίλειος, Καδή Στυλιανή. «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ. Μίγματα». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS423/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 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».



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

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

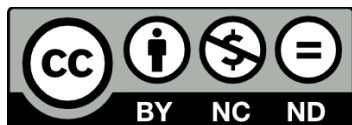
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

