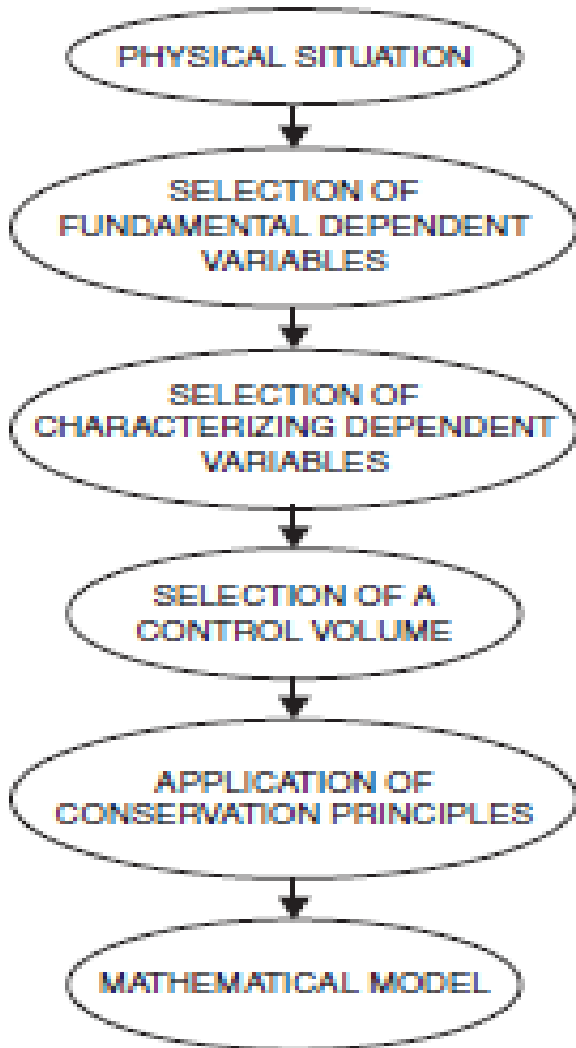
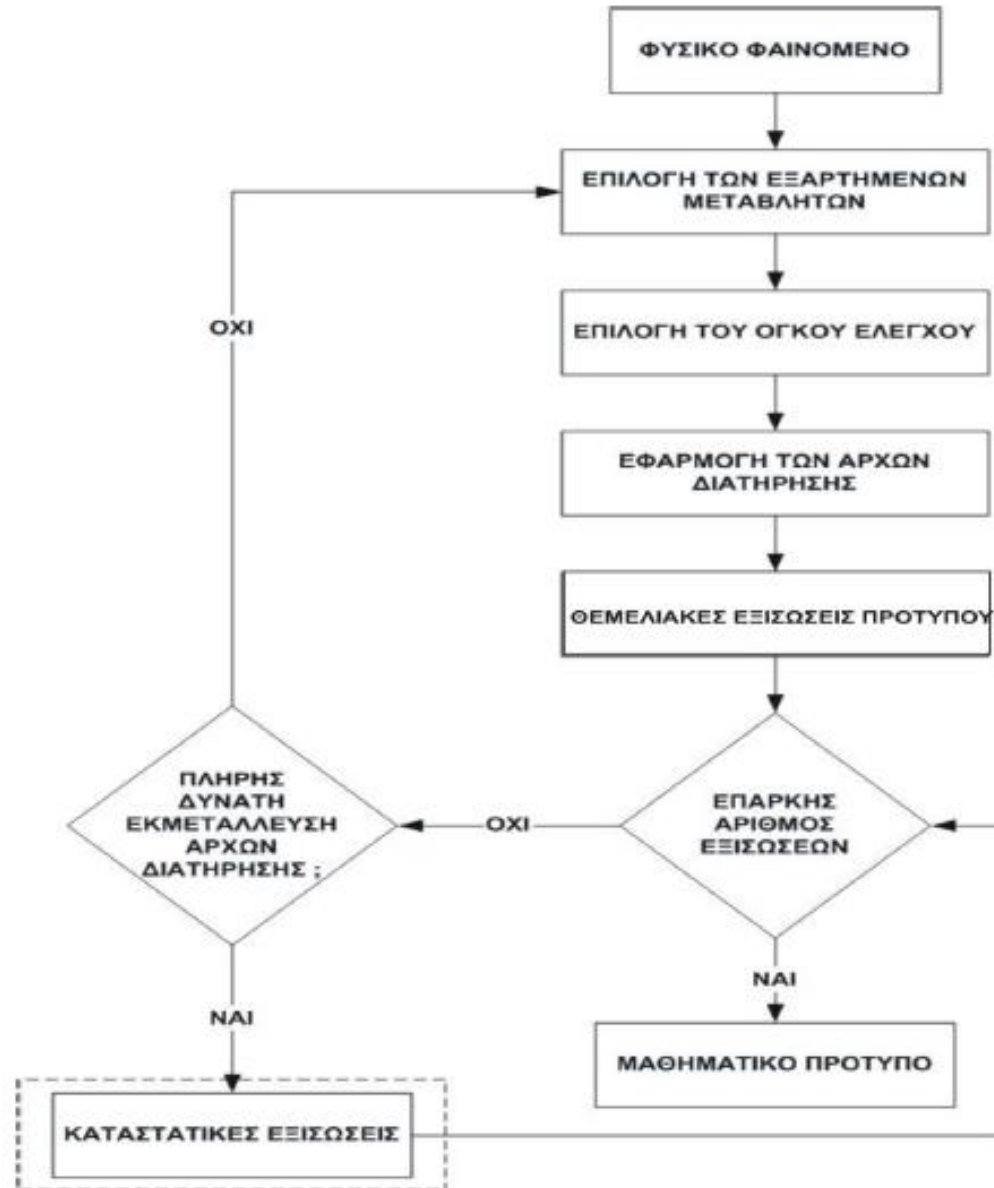


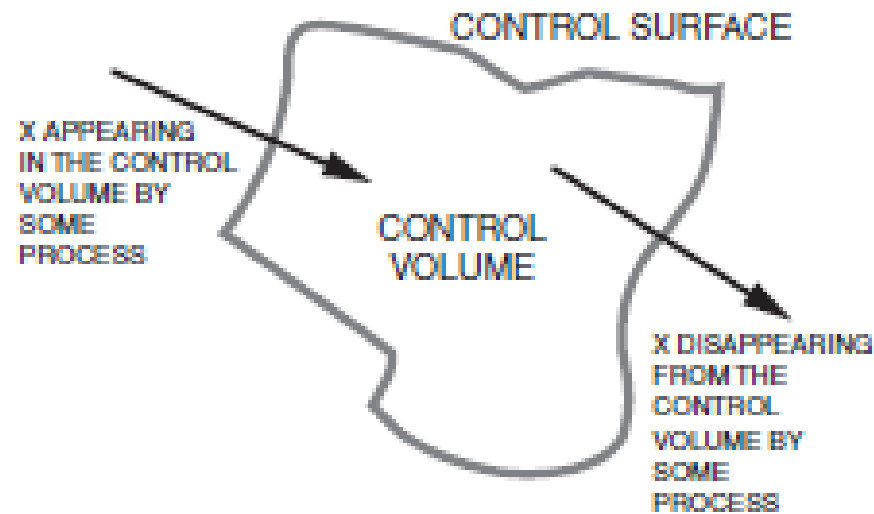
ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ



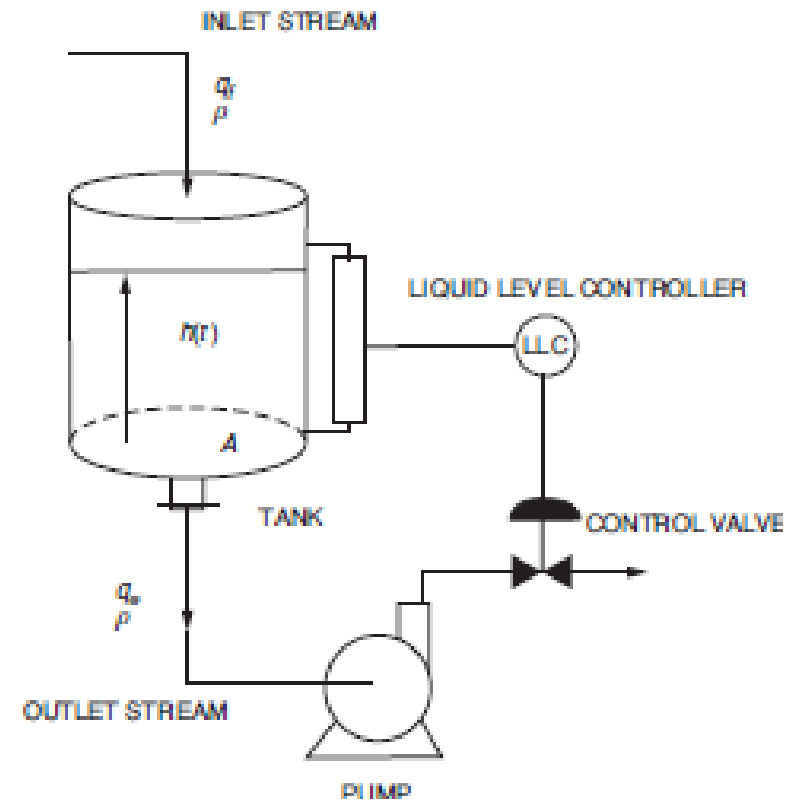
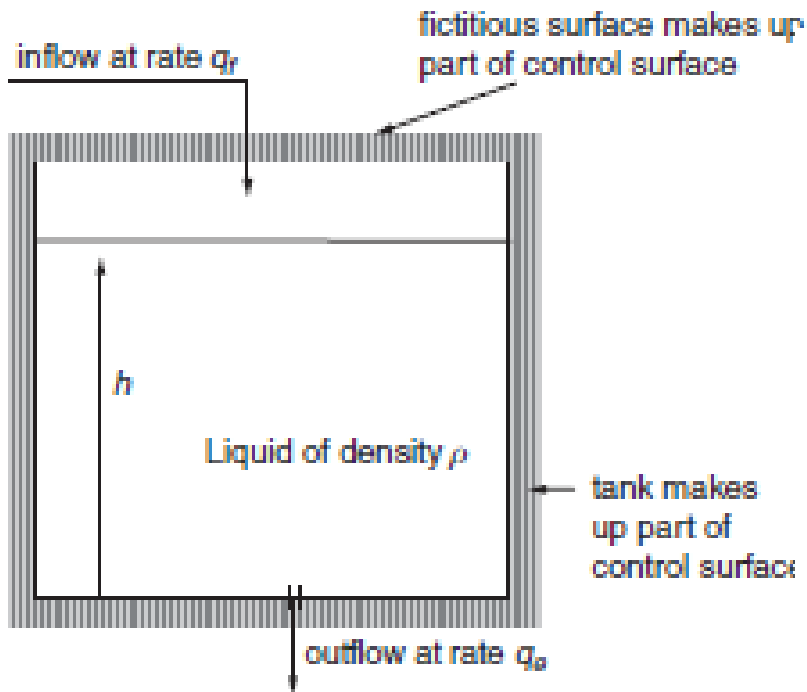
ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Καταστατικές εξισώσεις



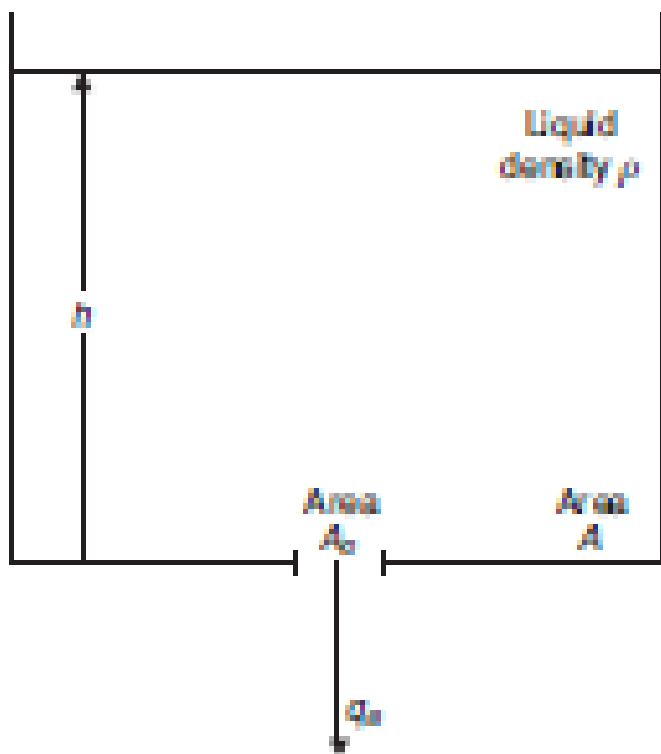


$$\frac{X|_{t+\Delta t} - X|_t}{\Delta t} = \text{rate at which } X \text{ enters} - \text{rate at which } X \text{ leaves.}$$



$$\frac{d}{dt} \rho A h = \rho q_f - \rho q_o$$

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ



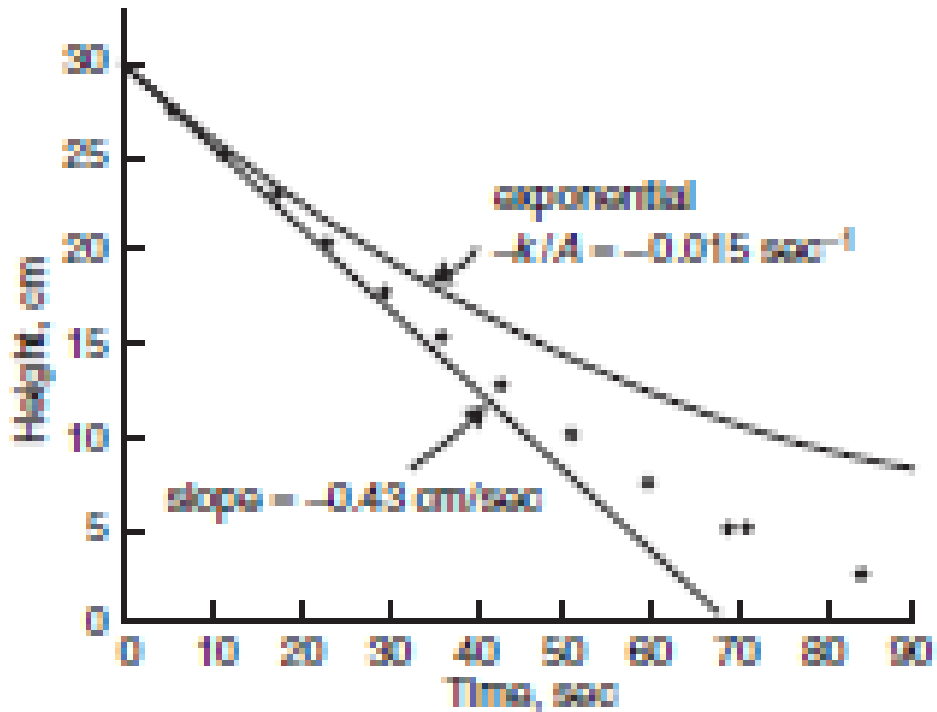
$$\frac{dh}{dt} = \frac{-q_e}{A}$$

$$h(t) = h_0 e^{-\frac{kt}{A}}$$

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Height of liquid (centimeters)	Time (seconds)	Height of Liquid (centimeters)	Time (seconds)
30.5	0	15.2	36.4
0		35.8	
0		36.4	
27.9	5.8	12.7	43.8
6.1		42.8	
5.9		43.8	
25.4	10.9	10.2	51.0
11.5		50.5	
11.6		51.6	
22.9	16.6	7.6	60.2
17.8		59.2	
17.2		60.6	
20.3	23.0	5.1	71.0
23.5		69.8	
23.0		71.4	
17.8	30.	0	85.0
29.2		84.0	
29.8		85.2	

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

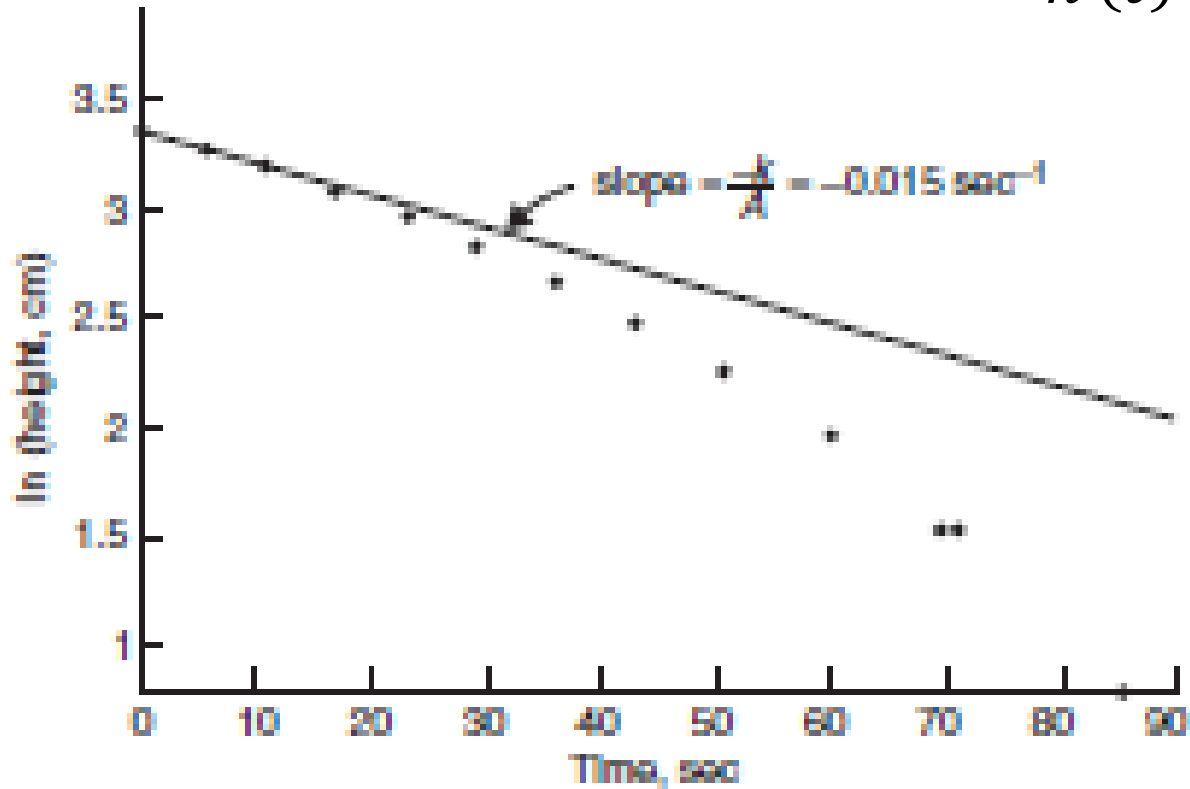


$$q = Kh$$

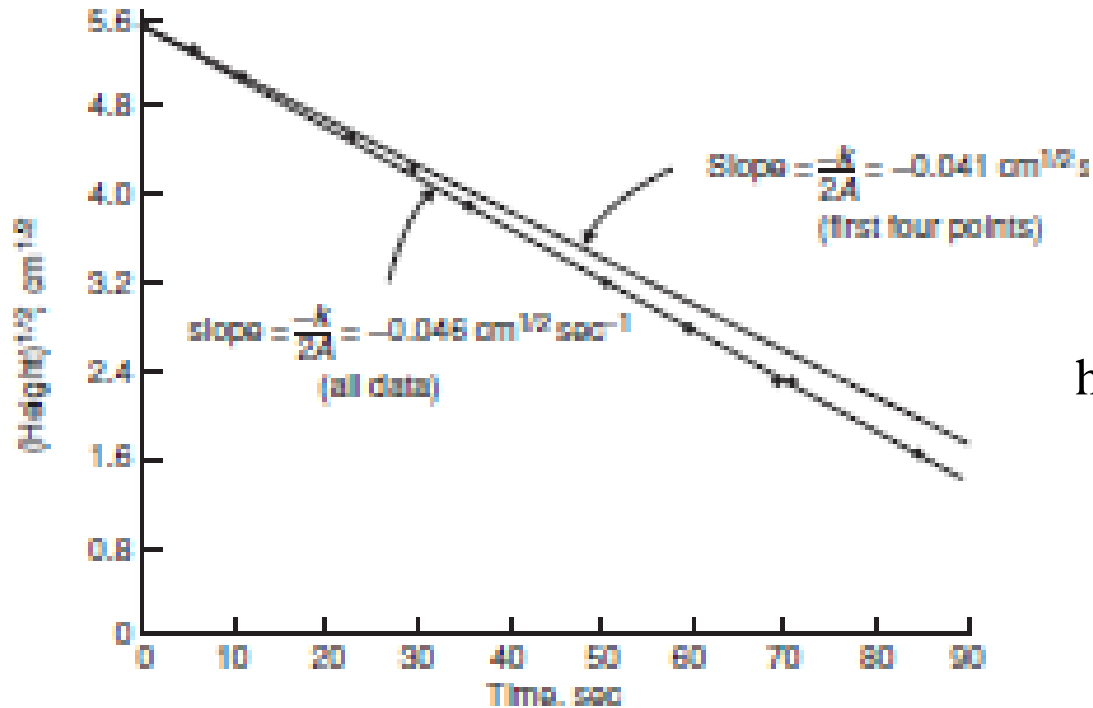
$$h(t) = h_0 e^{-\frac{kt}{A}}$$

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

$$h(t) = h_0 e^{-\frac{kt}{A}}$$



ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

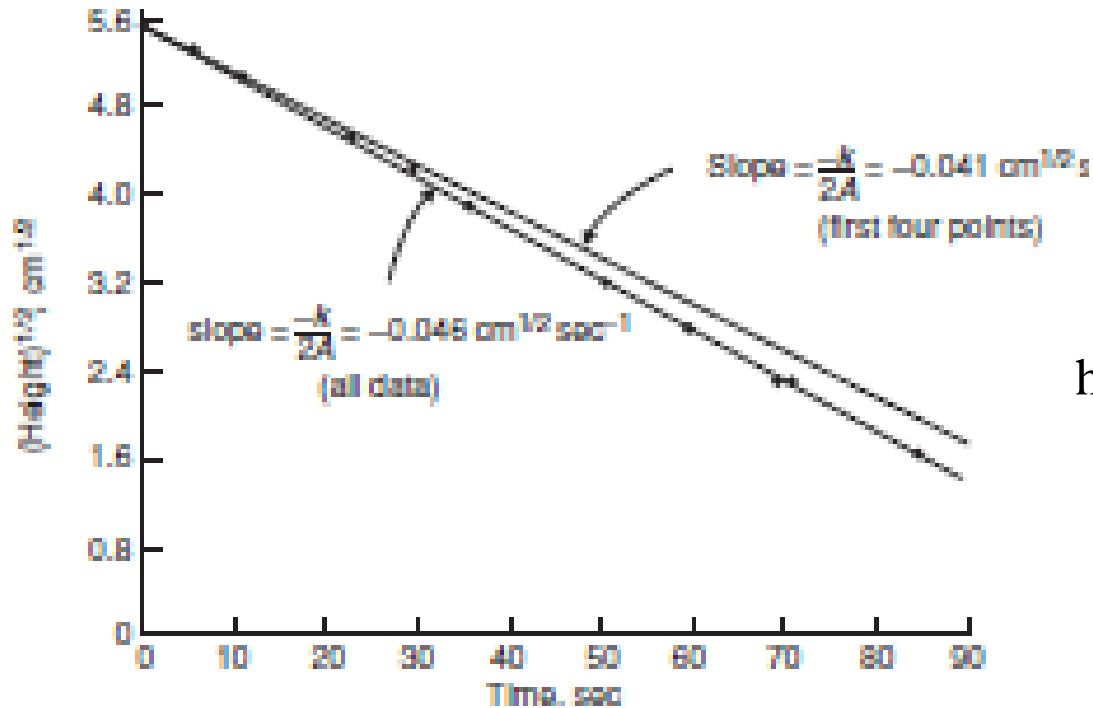


$$q = Kh^n$$

$$h = h_0 \left[1 - \frac{kt}{2Ah_0^{1/2}} \right]^2$$

$$h(t) = h_0 \left[1 - \frac{k[1-n]t}{Ah_0^{1-n}} \right]^{1/[1-n]}$$

ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ



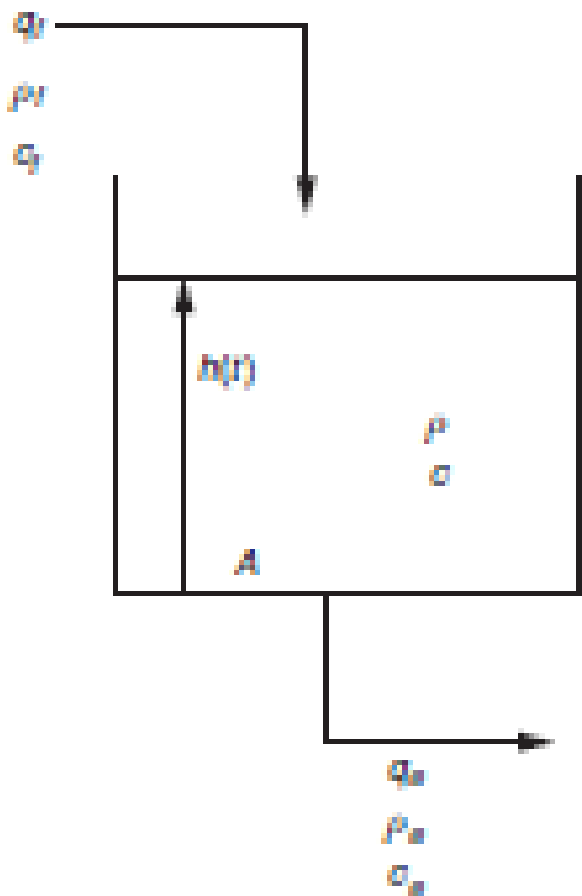
$$q = Kh^n$$

$$h = h_0 \left[1 - \frac{kt}{2Ah_0^{1/2}} \right]^2$$

$$h(t) = h_0 \left[1 - \frac{k[1-n]}{Ah_0^{1-n}} t \right]^{1/[1-n]}$$



ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

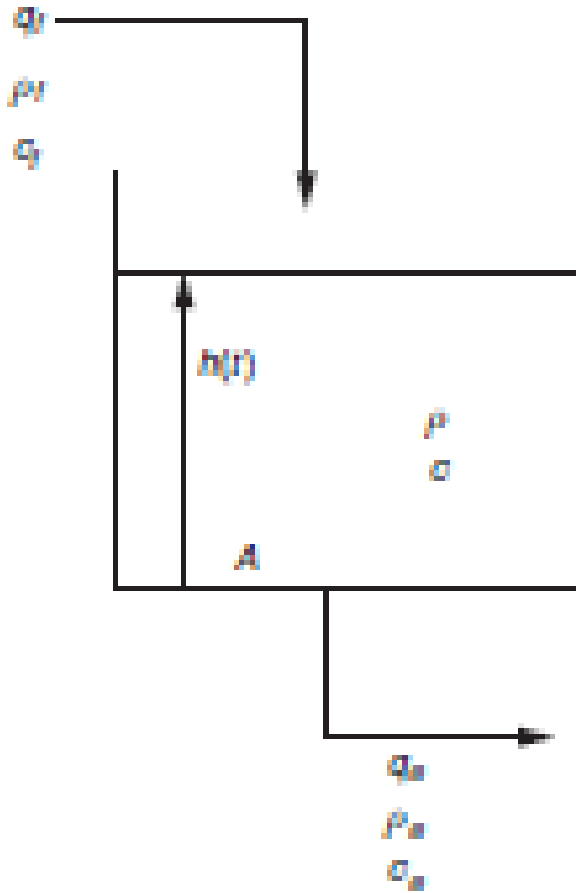


$$\frac{d\rho Ah}{dt} = \rho_f q_f - \rho q_e$$

$$\frac{dCAh}{dt} = C_f q_f - C q_e$$



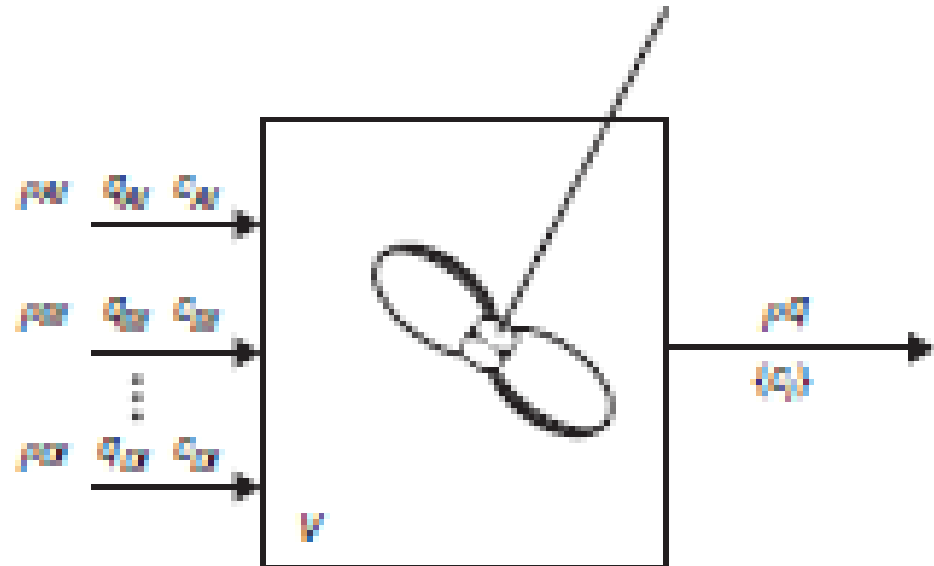
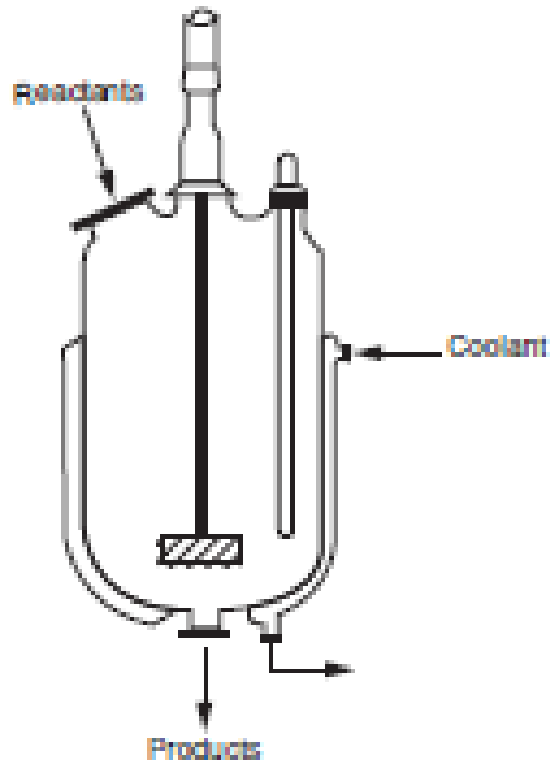
ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



$$\frac{d\rho Ah}{dt} = \rho_f q_f - \rho q_e$$

$$\frac{dCAh}{dt} = C_f q_f - C q_e$$

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ





ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



$$\frac{d}{dt}c_A V = c_{Af}q_{Af} - c_{Aq} - r_A V,$$

$$\frac{d}{dt}c_B V = c_{Bf}q_{Bf} - c_{Bq} - r_B V,$$

$$\frac{d}{dt}c_M V = -c_{Mq} + r_M V.$$

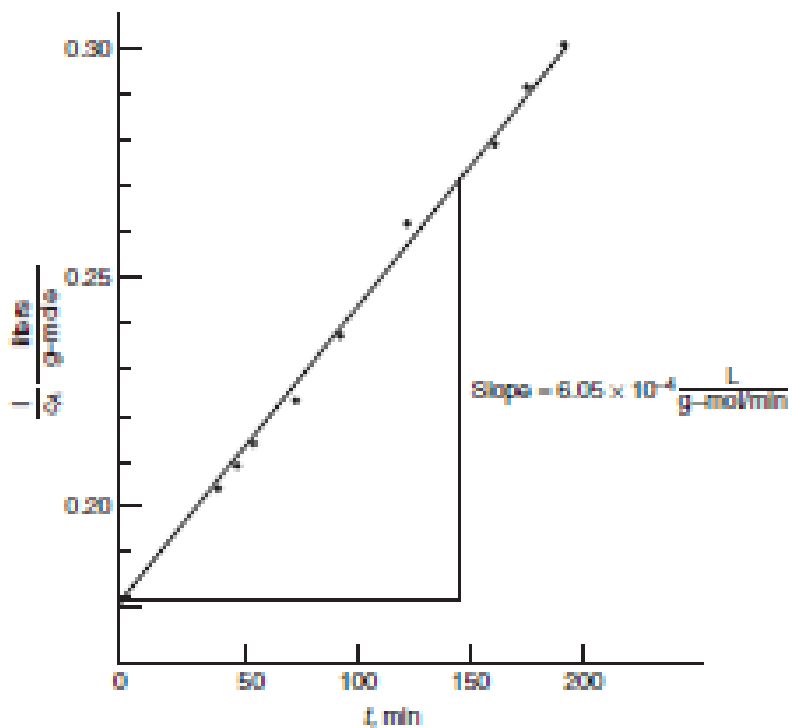
$$\frac{d}{dt}\rho V = \rho_{Af}q_{Af} + \rho_{Bf}q_{Bf} - \rho q.$$

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



Table 6.1. Concentration of H_2SO_4 versus time for the reaction of sulfuric acid with diethyl sulfate in aqueous solution at 22.9°C. Data of Hellin and Jangers, Bull. Soc. Chim. France, No. 2, pp. 386-400 (1957).

Time, t (min)	Concentration of H_2SO_4 , $c_A(t)$ (g-mol/L)
0	5.50
41	4.91
48	4.81
55	4.69
75	4.38
96	4.12
127	3.84
162	3.59
180	3.44
194	3.34

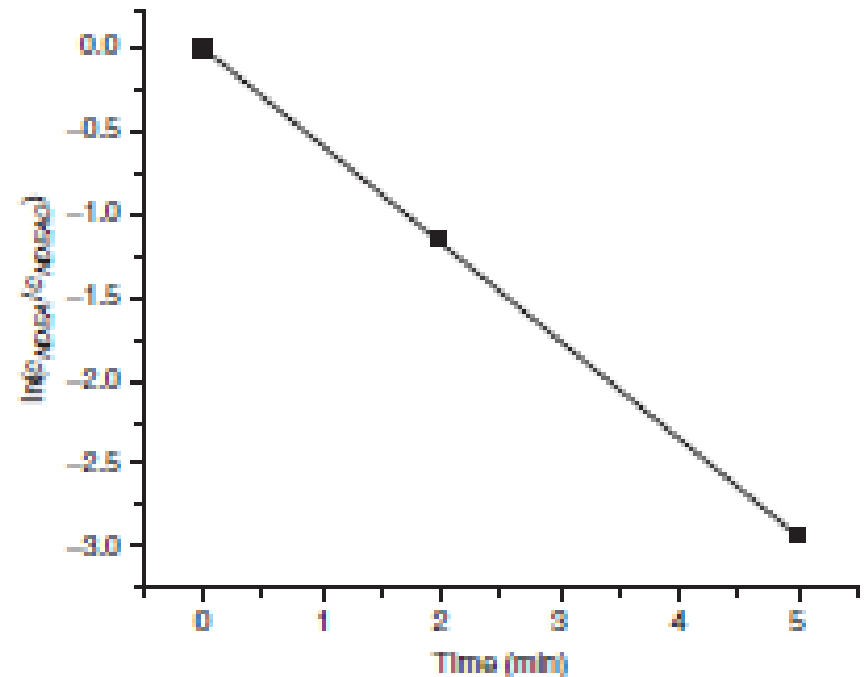


ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

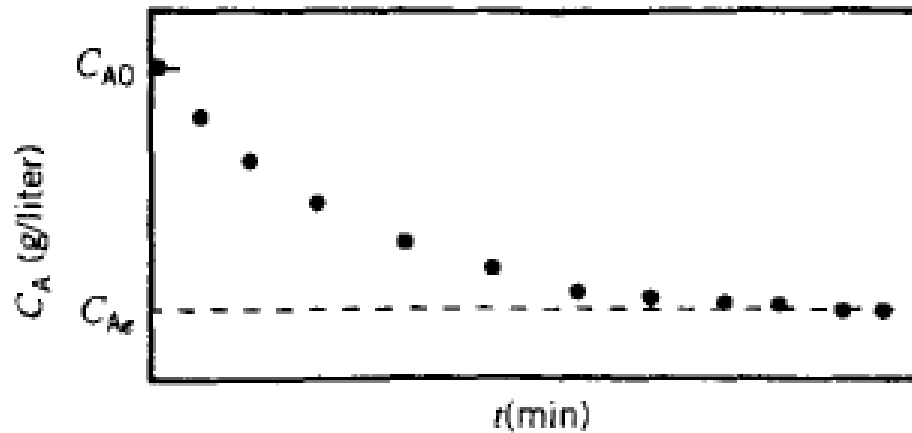


Table 6.3. Data for the decomposition of NDEA with ultraviolet radiation, read from a graph in B. Xu, Z. Chen, F. Qi, J. Ma, and F. Wu, *J. Hazardous Materials*, 179, 976–982 (2010).

Time (min)	Concentration
0	1.0
2	0.31
5	0.053
10	too small to read from graph



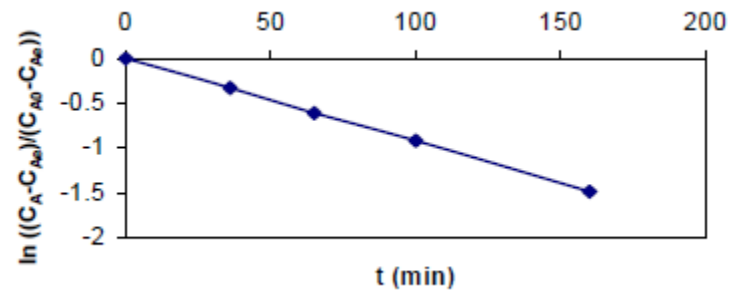
ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ



$t(\text{min})$	0	36	65	100	160	∞
$C_A(\text{g/liter})$	0.1823	0.1453	0.1216	0.1025	0.0795	0.0495

C_{A0}

\ln



$K=?$

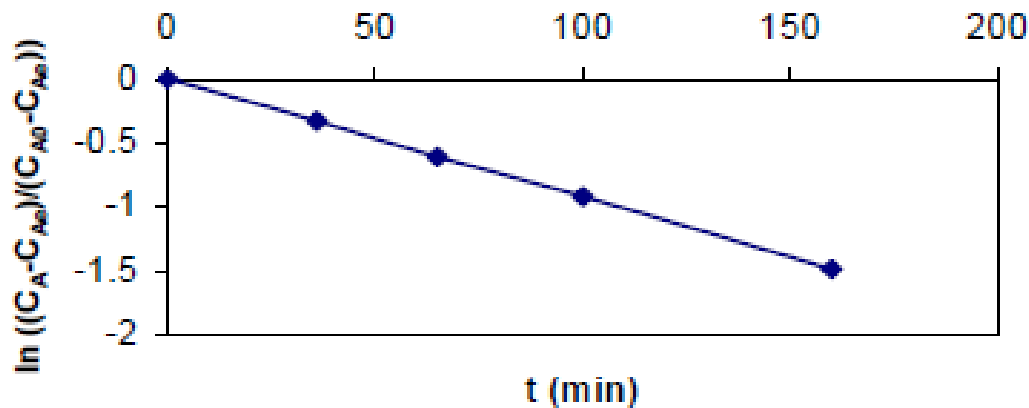
$V=50 \text{ gal},$

$T=2\text{h}, B(\text{g})=?$



ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

F 2.34



$$K = \kappa\lambda\sigma\eta = 9.3 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

$$\ln\left[\frac{(C_A - C_{Ae})}{(C_{A0} - C_{Ae})}\right] = -kt \Rightarrow C_A = (C_{A0} - C_{Ae})e^{-kt} + C_{Ae}$$

K=?

V=50 gal,

T=2h , B(g)=?

ΑΕΡΙΑ

ΙΔΑΝΙΚΑ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ
ΑΕΡΙΑ

ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

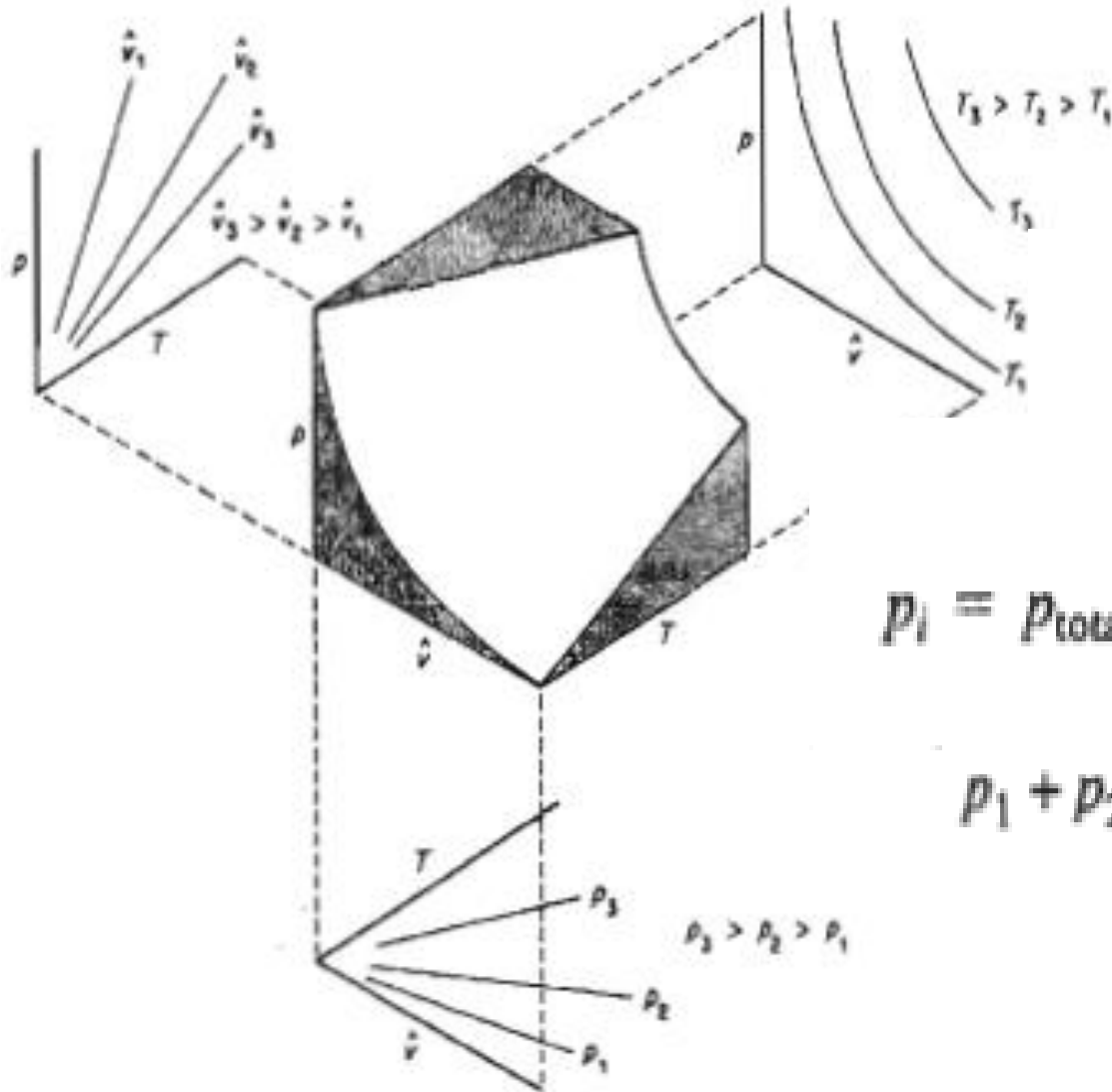
TABLE 13.1 Common Standard Conditions for the Ideal Gas

System	T	P	\hat{v}
SI	273.15K	101.325 kPa	22.415m ³ /kg mol
Universal scientific	0.0°C	760 mm Hg	22.415 liters/g mol
Natural gas industry	59.0°F (15.0°C)	14.696 psia (101.325 kPa)	379.4 ft ³ /lb mol
American engineering	491.67°R (32°F)	1 atm	359.05 ft ³ /lb mol

Table 5.2-1 Standard Conditions for Gases

System	T_s	P_s	V_s	n_s
SI	273 K	1 atm	0.022415 m ³	1 mol
CGS	273 K	1 atm	22.415 L	1 mol
American Engineering	492°R	1 atm	359.05 ft ³	1 lb-mole

ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ



$$pV = nRT$$

$$p_i = p_{\text{total}} \frac{n_i}{n_{\text{total}}} = p_{\text{total}} Y_i$$

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n = p_{\text{total}}$$



ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

F 5.2.5

Liquid acetone (C_3H_6O) is fed at a rate of 400 L/min into a heated chamber, where it evaporates into a nitrogen stream. The gas leaving the heater is diluted by another nitrogen stream flowing at a measured rate of 419 m^3 (STP)/min. The combined gases are then compressed to a total pressure $P = 6.3$ atm gauge at a temperature of 325°C. The partial pressure of acetone in this stream is $p_a = 501$ mm Hg. Atmospheric pressure is 763 mm Hg.

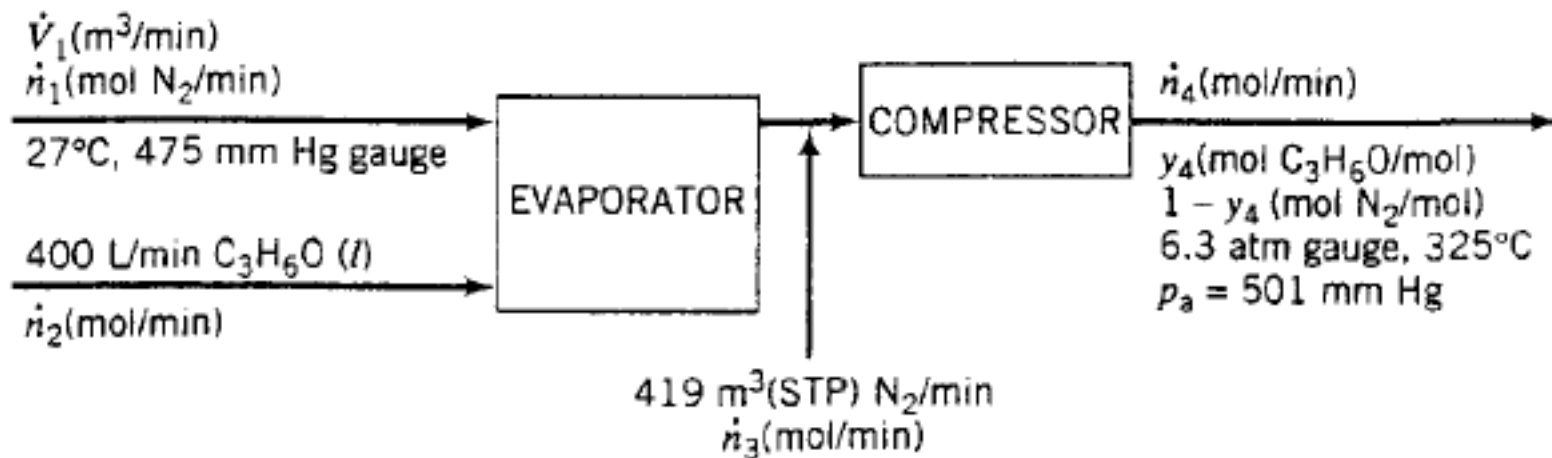
1. What is the molar composition of the stream leaving the compressor?
2. What is the volumetric flow rate of the nitrogen entering the evaporator if the temperature and pressure of this stream are 27°C and 475 mm Hg gauge?

Υγρή ακετόνη τροφοδοτείται με παροχή 400 L/min σε θερμαινόμενο θάλαμο όπου εξατμίζεται σε ρεύμα αζώτου. Το αέριο που εξέρχεται από τον εξατμιστήρα αραιώνεται με ρεύμα αζώτου με παροχή 419 m^3 /min (ΚΣ). Τα συνολικά αέρια τότε συμπιέζονται σε ολική πίεση μανομετρική 6.3 atm σε θερμοκρασία 325 οC. Η μερική πίεση της ακετόνης στην έξοδο είναι 501 mmHg. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι 763 mmHg. 1

- (1). Ποια είναι η μολαρική σύσταση του ρεύματος εξόδου από τον συμπιεστή.
- (2). Ποια είναι η ογκομετρική παροχή του αζώτου που εισέρχεται στον εξατμιστήρα αν η θερμοκρασία είναι 27°C και η πίεση 475 mmHg μανομετρική?

ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

F 5.2.5



$n_4, n_1, n_2, n_3, y_4, V_1 = ???$

ρ ακετόνης = 0.791 g/cm³, $M_r = 58.08$

ΥΠΟΘΕΣΗ ΙΔΑΝΙΚΑ ΑΕΡΙΑ
 ΜΟΛΑΡΙΚΕΣ ΡΟΕΣ

$V_1 = 550$ m³/min N₂

HIM 7.4-7.5

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ

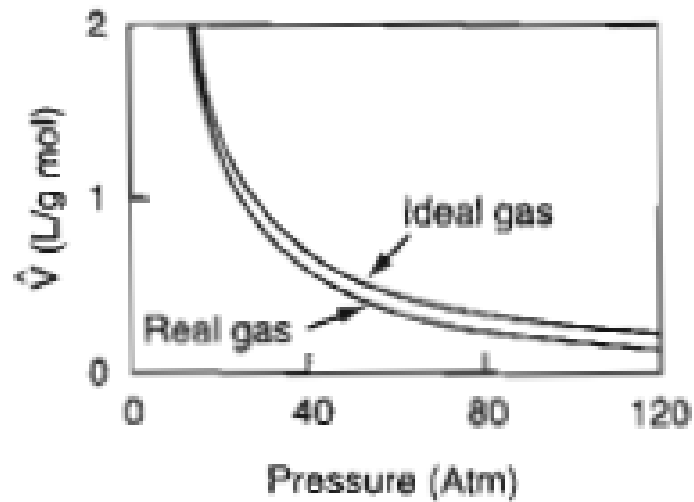
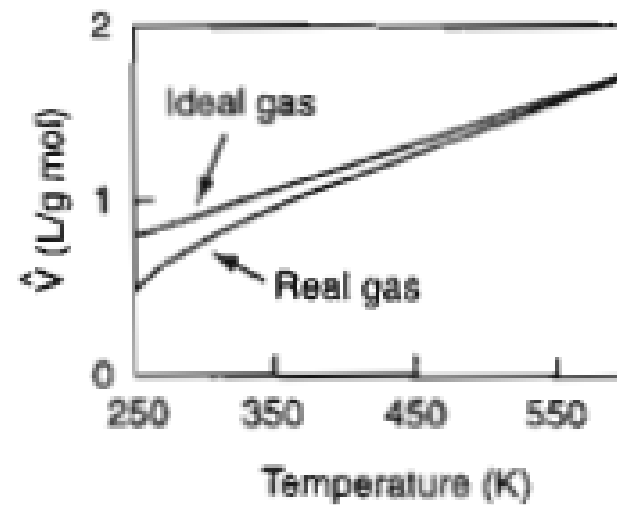
**a.****b.**

TABLE 15.1 Examples of Equations of State (for 1 g mole)*

van der Waals:

$$\left(p + \frac{a}{\hat{V}^2}\right)(\hat{V} - b) = RT$$

$$a = \left(\frac{27}{64}\right) \frac{R^2 T_c^2}{p_c}$$

$$b = \left(\frac{1}{8}\right) \frac{RT_c}{p_c}$$

Peng-Robinson (PR equation):

$$p = \frac{RT}{\hat{V} - b} - \frac{a\alpha}{\hat{V}(\hat{V} + b) + b(\hat{V} - b)}$$

$$a = 0.45724 \left(\frac{R^2 T_c^2}{p_c}\right)$$

$$b = 0.07780 \left(\frac{RT_c}{p_c}\right)$$

$$\alpha = [1 + \kappa(1 - T_r^{1/2})]^2$$

$$\kappa = 0.37464 + 1.54226\omega - 0.26992\omega^2$$

Benedict-Webb-Rubin (BWR equation):

$$p\hat{V} = RT + \frac{\beta}{\hat{V}} + \frac{\sigma}{\hat{V}^2} + \frac{\eta}{\hat{V}^4} + \frac{\omega}{\hat{V}^5}$$

$$\beta = RTB_0 - A_0 - \frac{C^0}{T^2}$$

$$\sigma = bRT - a + \frac{c}{T^2} \exp\left(-\frac{\gamma}{\hat{V}^2}\right)$$

$$\eta = cy \exp\left(-\frac{\gamma}{\hat{V}^2}\right)$$

$$\omega = a\alpha$$

Soave-Redlich-Kwong (SRK equation):

$$p = \frac{RT}{\hat{V} - b} - \frac{a'\lambda}{\hat{V}(\hat{V} + b)}$$

$$a' = \frac{0.42748 R^2 T_c^2}{p_c}$$

$$b = \frac{0.08664 RT_c}{p_c}$$

$$\lambda = [1 + \kappa(1 - T_r^{1/2})]^2$$

$$\kappa = (0.480 + 1.574\omega - 0.176\omega^2)$$

Redlich-Kwong (RK equation):

$$p = \frac{RT}{(\hat{V} - b)} - \frac{a}{T^{1/2}\hat{V}(\hat{V} + b)}$$

$$a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{2.5}}{p_c}$$

$$b = 0.08664 \frac{RT_c}{p_c}$$

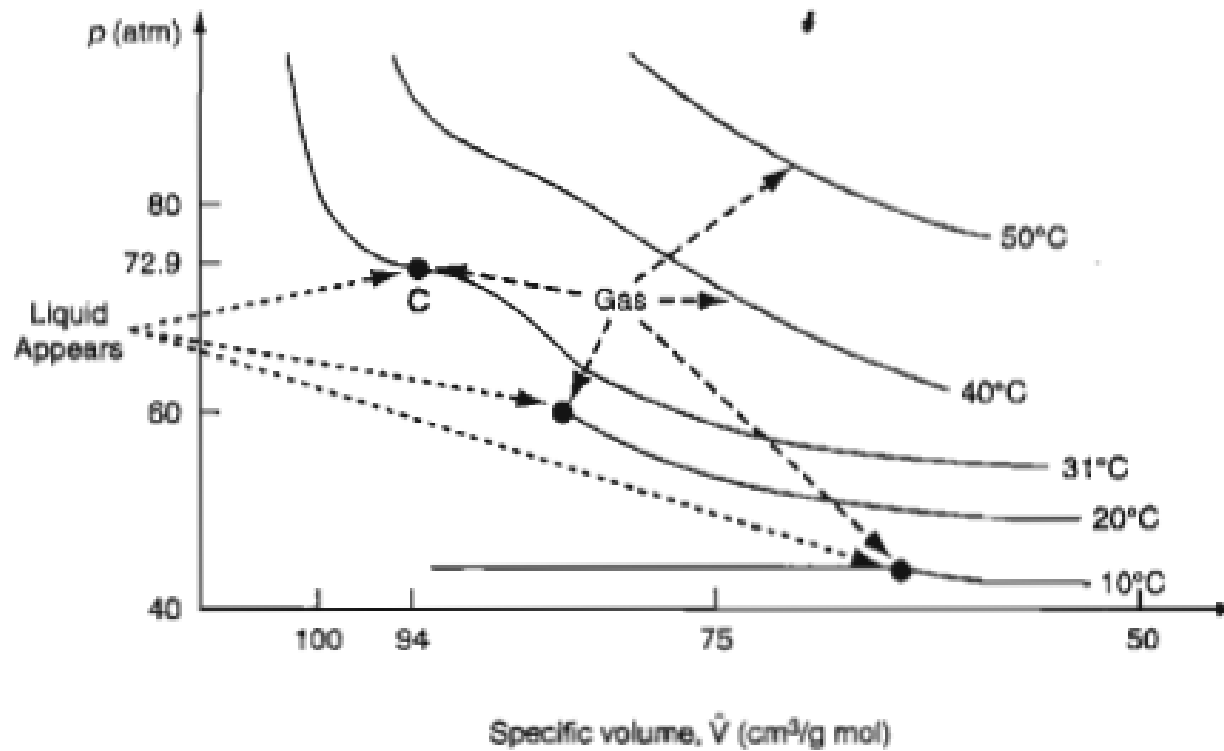
Kammerlingh-Onnes (a virial equation):

$$p\hat{V} = RT \left(1 + \frac{B}{\hat{V}} + \frac{C}{\hat{V}^2} + \dots\right)$$

Holborn (a virial equation):

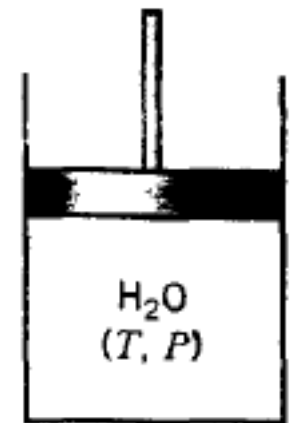
$$p\hat{V} = RT(1 + B'p + C'p^2 + \dots)$$

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΚΡΙΣΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΚΡΙΣΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Run	$T(^{\circ}\text{C})$	$P_{\text{cond}}(\text{atm})$	$\rho_v(\text{kg/m}^3)$	$\rho_l(\text{kg/m}^3)$
1	25.0	0.0329	0.0234	997.0
2	100.0	1.00	0.5977	957.9
3	201.4	15.8	8.084	862.8
4	349.8	163	113.3	575.0
5	373.7	217.1	268.1	374.5
6	374.15	218.3	315.5	315.5
7	>374.15	<i>No condensation occurs!</i>		



$$\frac{P\hat{V}}{RT} = 1 + \frac{B}{\hat{V}} + \frac{C}{\hat{V}^2} + \frac{D}{\hat{V}^3} + \dots$$

$$z = \frac{P\hat{V}}{RT}$$

$$PV = znRT$$

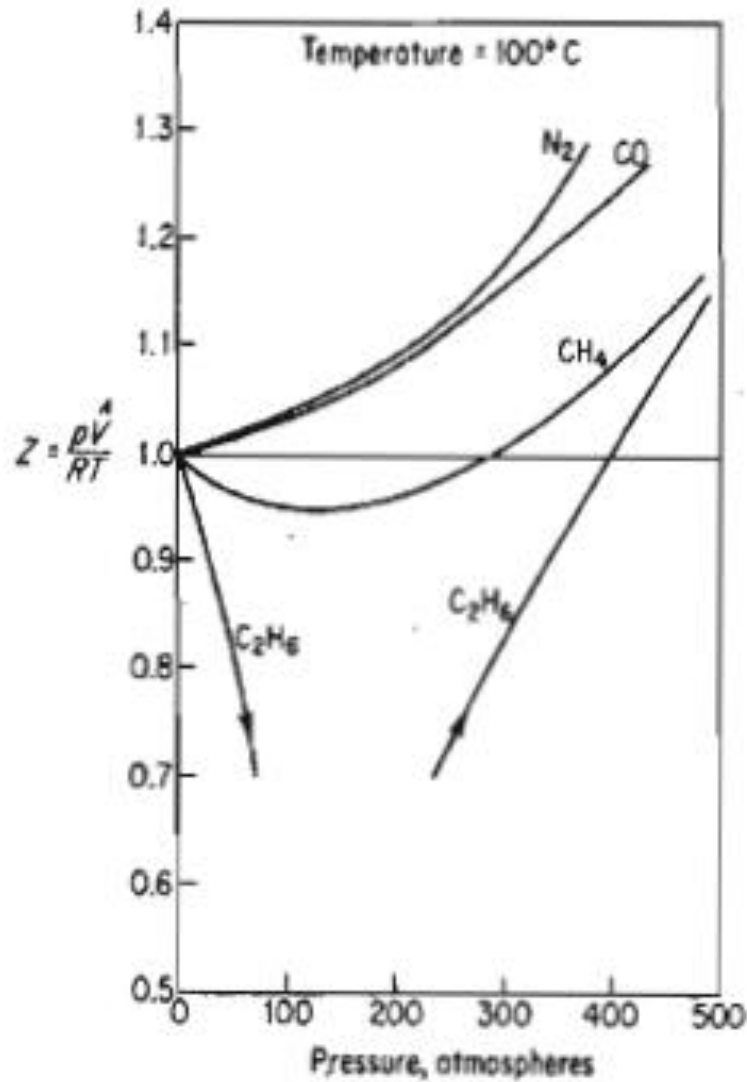
$$P\dot{V} = znRT$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

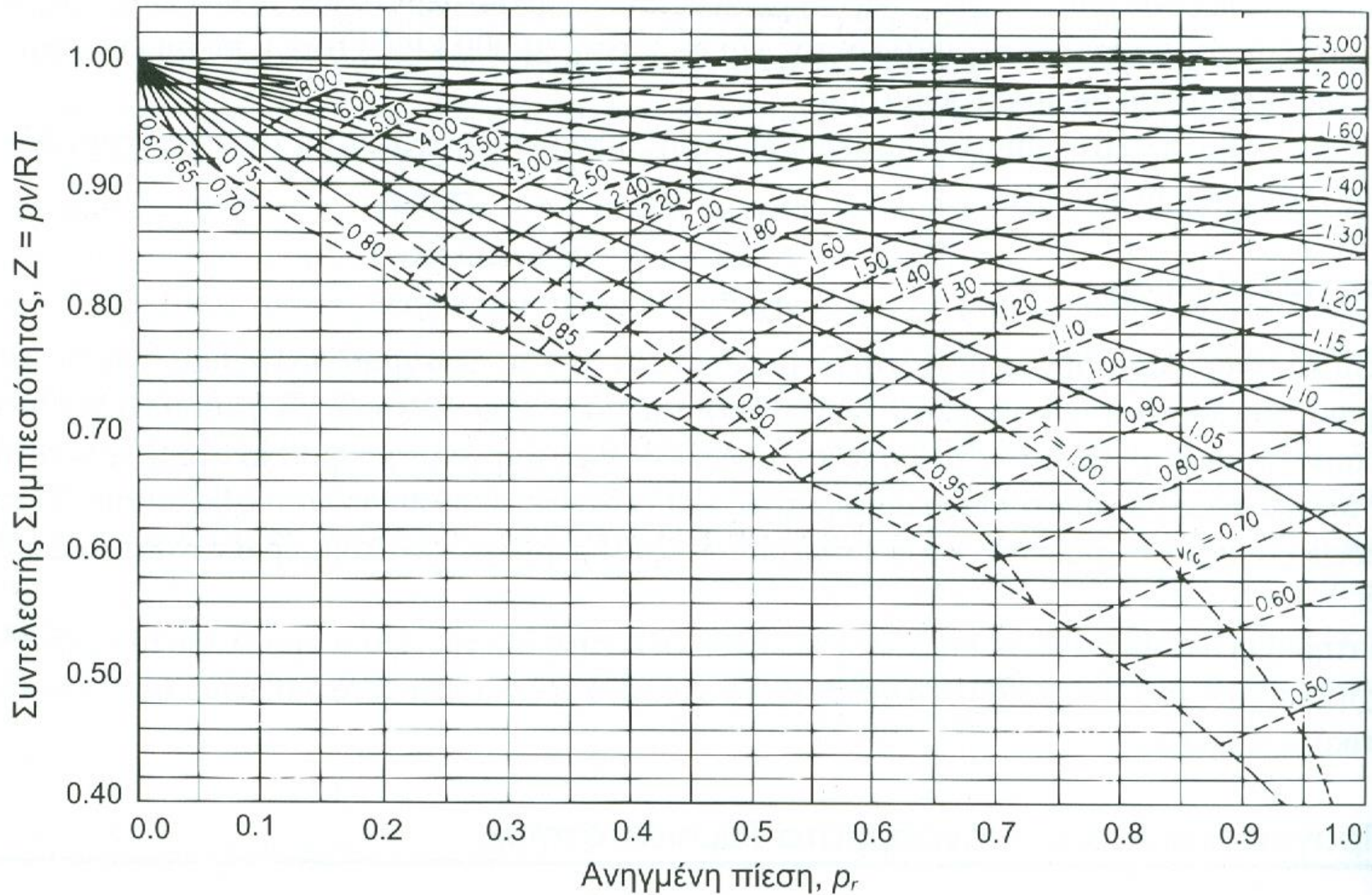
$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

$$V_r^{\text{ideal}} = \frac{P_c \hat{V}}{RT_c}$$

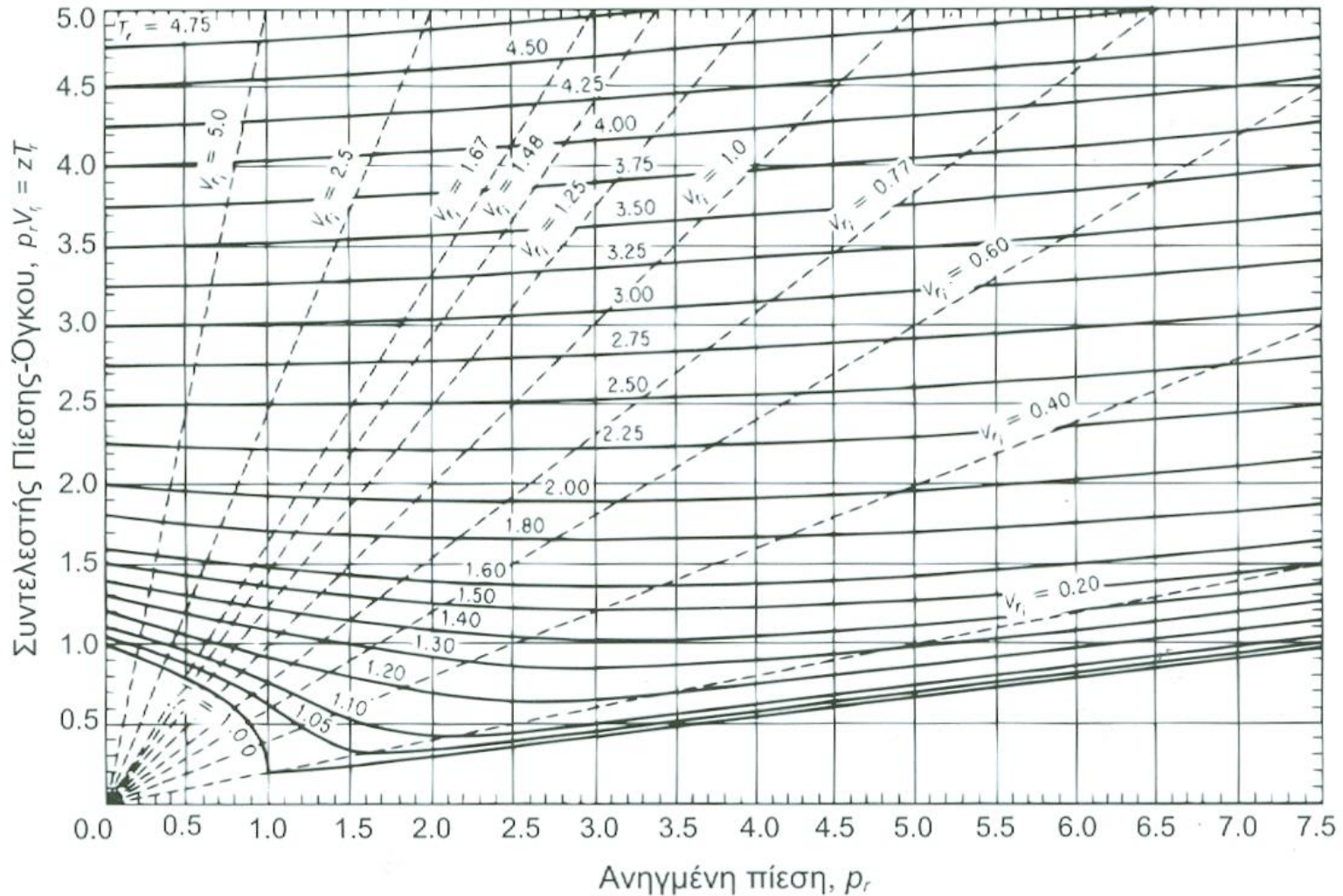
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ



ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΚΡΙΣΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΜΙΓΜΑΤΑ

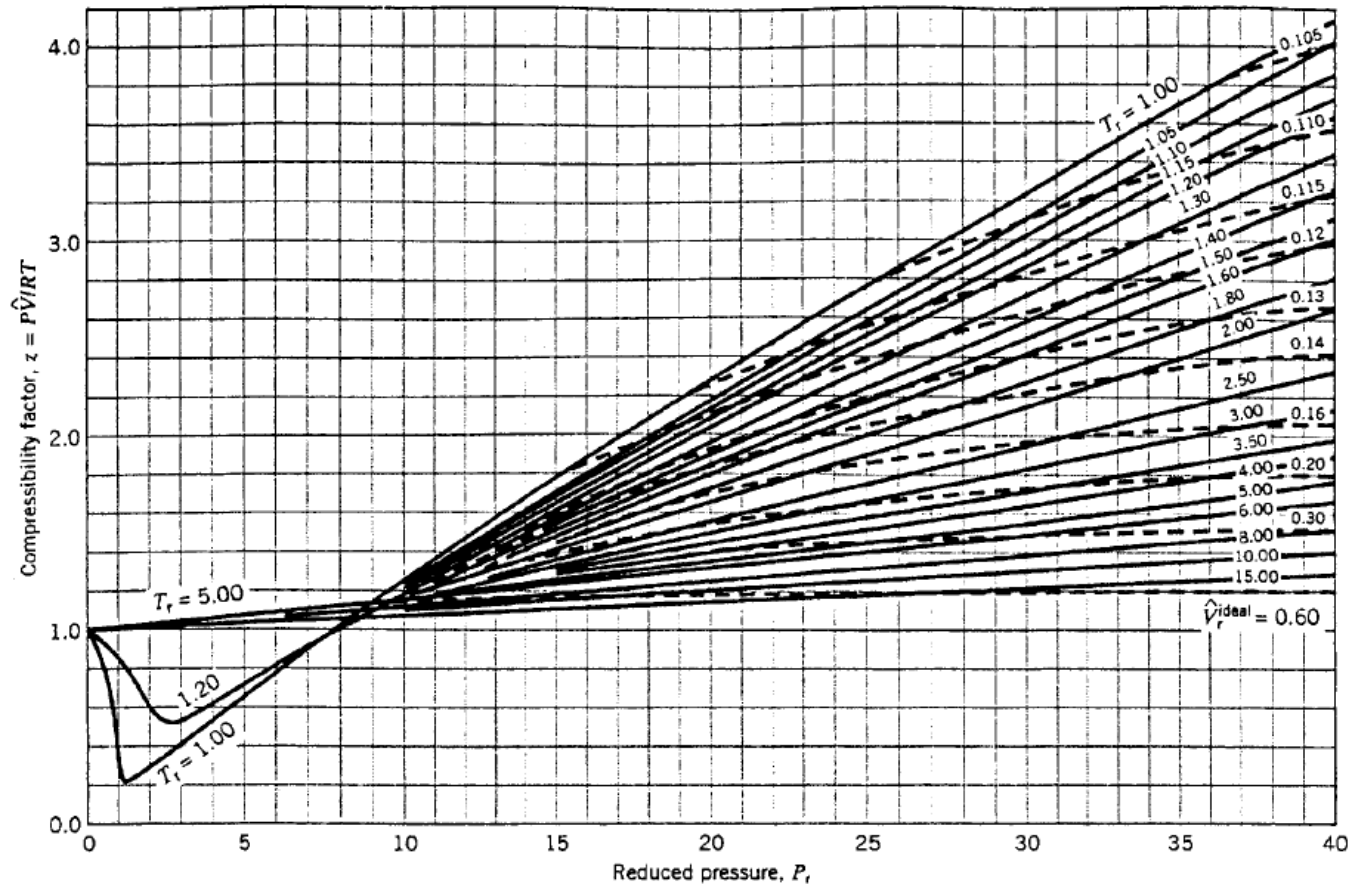


ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΚΡΙΣΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



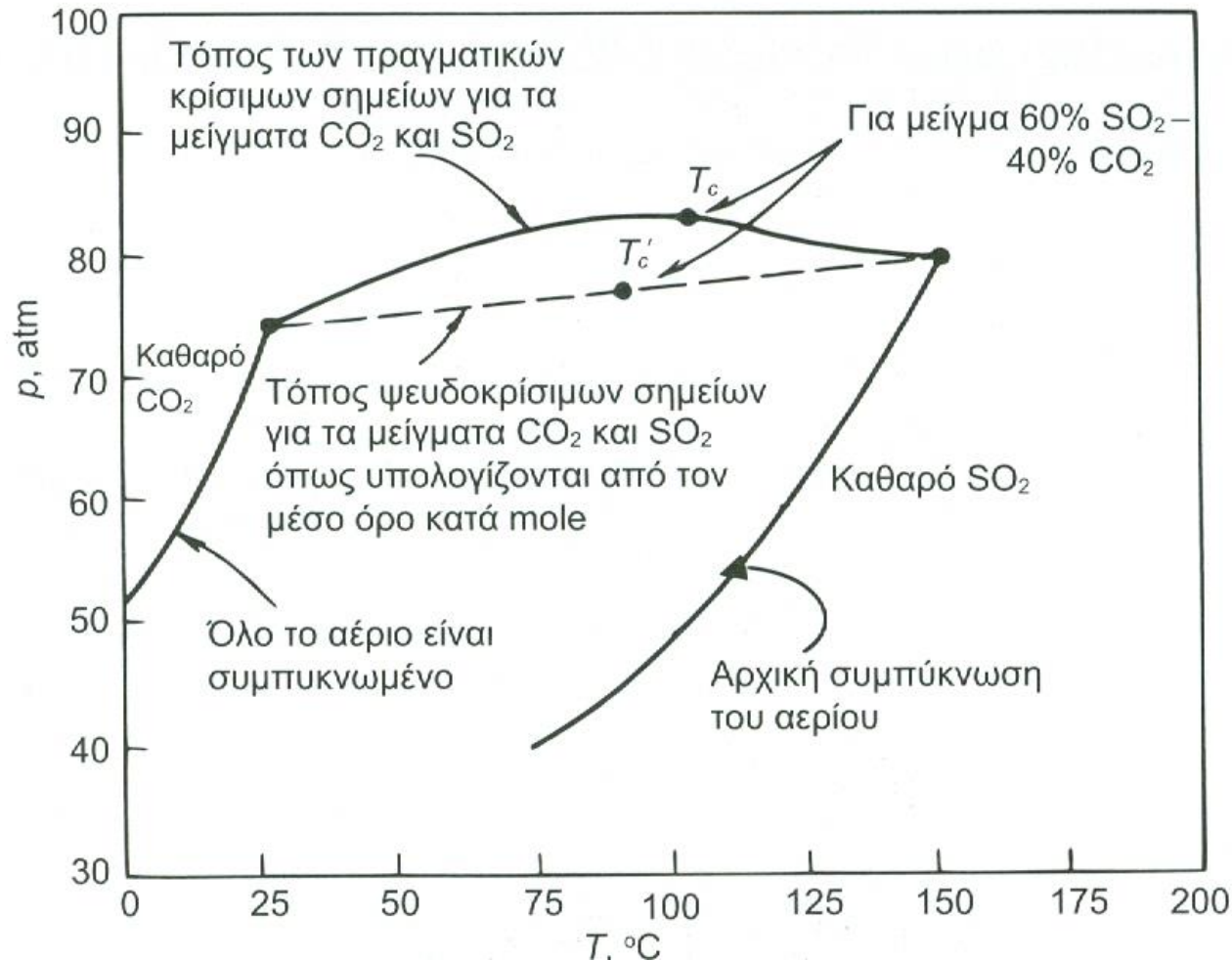
ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΚΡΙΣΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ



ΜΕΓΑΛΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΕΡΙΩΝ



Ασκήσεις

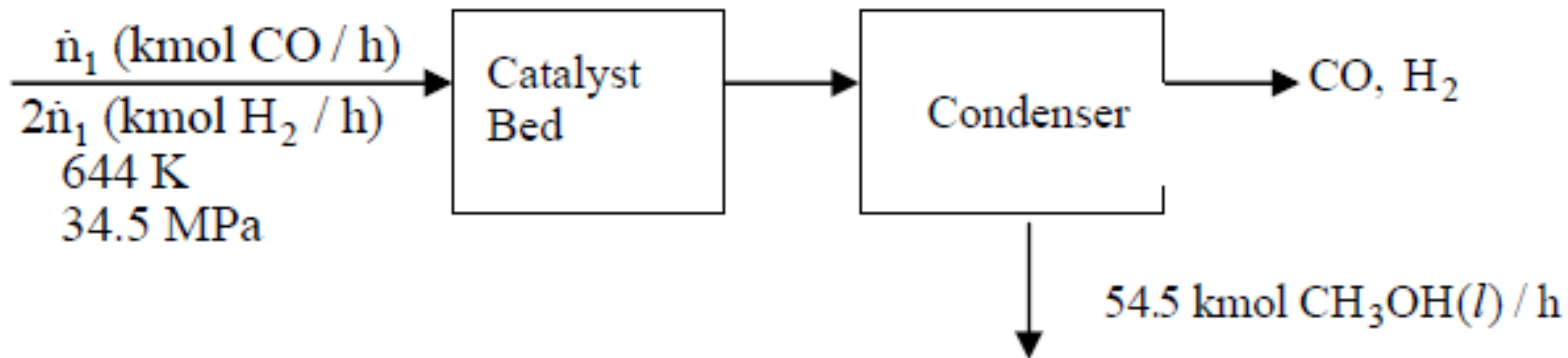
- Him. 7.4.4
- Him. 7.4.5

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΕΡΙΩΝ F 5.78

- 5.78. Methanol is produced by reacting carbon monoxide and hydrogen at 644 K over a $\text{ZnO-Cr}_2\text{O}_3$ catalyst. A mixture of CO and H_2 in a ratio 2 mol H_2 /mol CO is compressed and fed to the catalyst bed at 644 K and 34.5 MPa absolute. A single-pass conversion of 25% is obtained. The **space velocity**, or ratio of the volumetric flow rate of the feed gas to the volume of the catalyst bed, is $(25,000 \text{ m}^3/\text{h})/(1 \text{ m}^3 \text{ catalyst bed})$. The product gases are passed through a condenser, in which the methanol is liquefied.
- (a) You are designing a reactor to produce 54.5 kmol $\text{CH}_3\text{OH}/\text{h}$. Estimate the volumetric flow rate that the compressor must be capable of delivering if no gases are recycled, and the required volume of the catalyst bed. (Use Kay's rule for pressure-volume calculations.)
- (b) If (as is done in practice) the gases from the condenser are recycled to the reactor, the compressor is then required to deliver only the fresh feed. What volumetric flow rate must it deliver assuming that the methanol produced is completely recovered in the condenser? (In practice it is not; moreover, a purge stream must be taken off to prevent the buildup of impurities in the system.)

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΑΕΡΙΑ-ΜΙΓΜΑΤΑ ΑΕΡΙΩΝ $F_{5.78}$

Basis: 54.5 kmol CH₃OH/h $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$



ΚΛΑΣΜΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΠΕΡΑΣΜΑ=25%

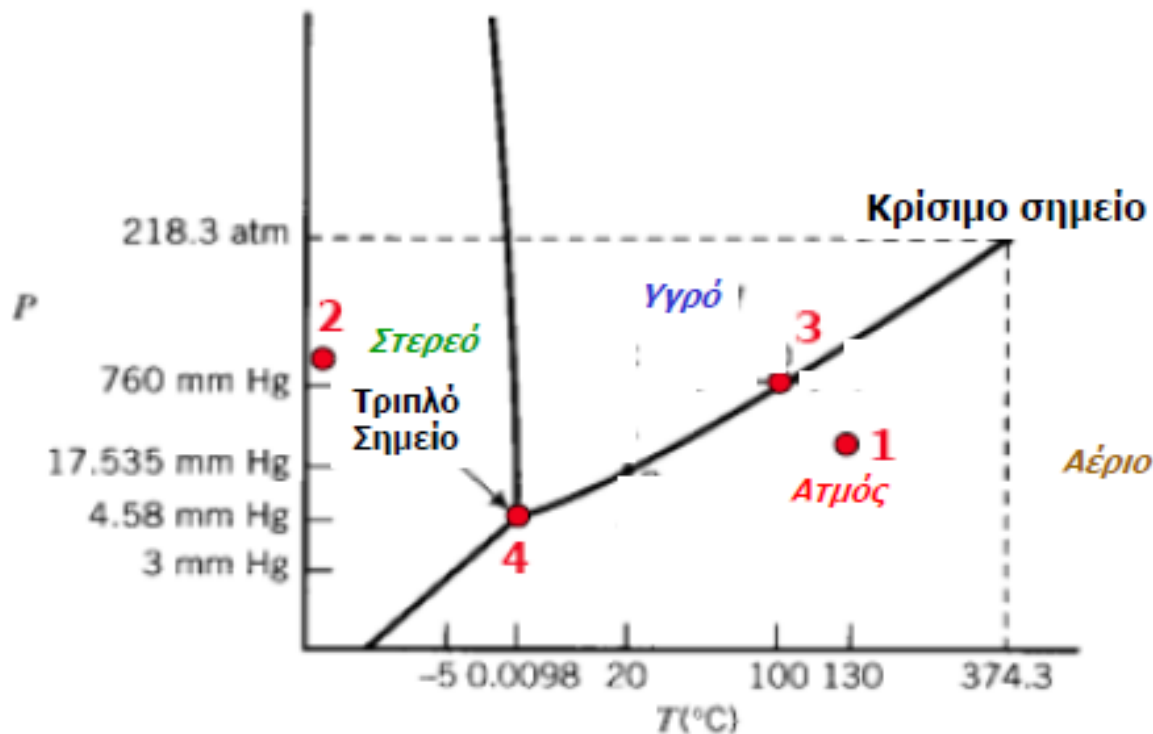
1)? $n_1 + 2n_1$, $V_{\text{τροφ}}$?

2) $V_{\text{τροφ}}$?

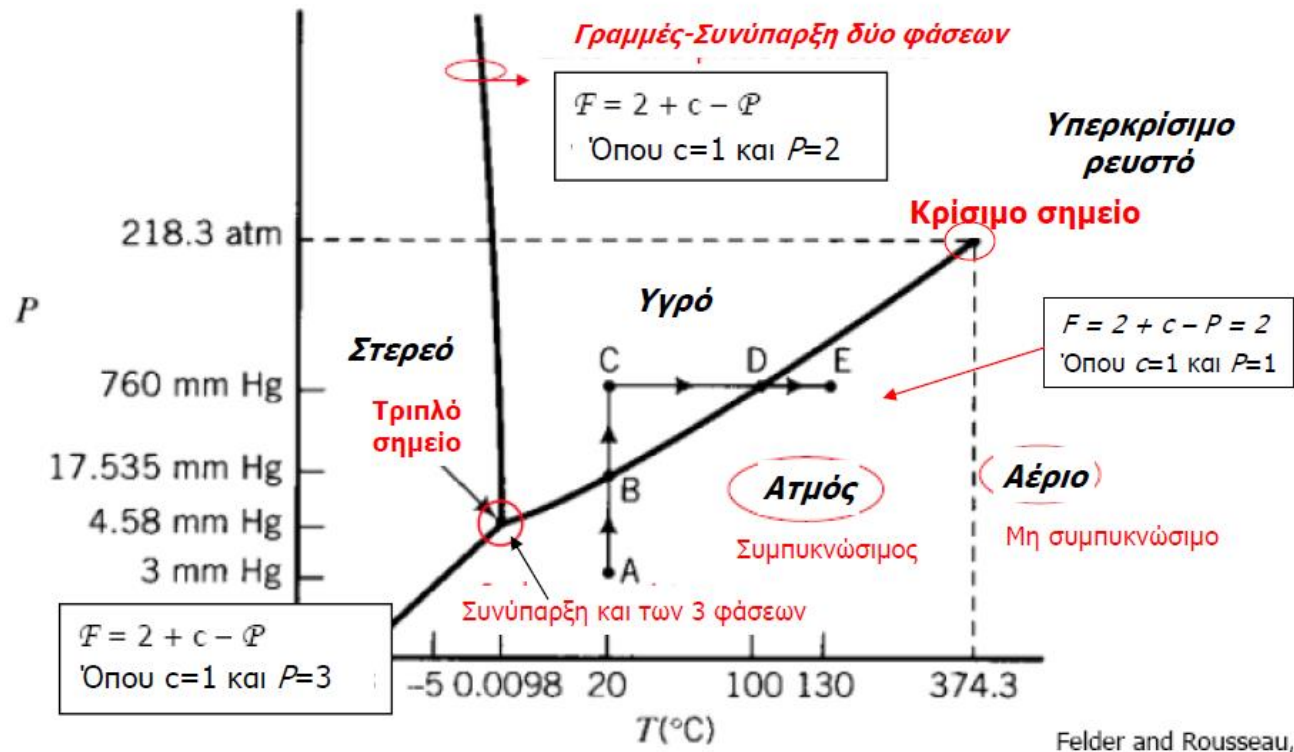
ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΣΗ ΑΤΜΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

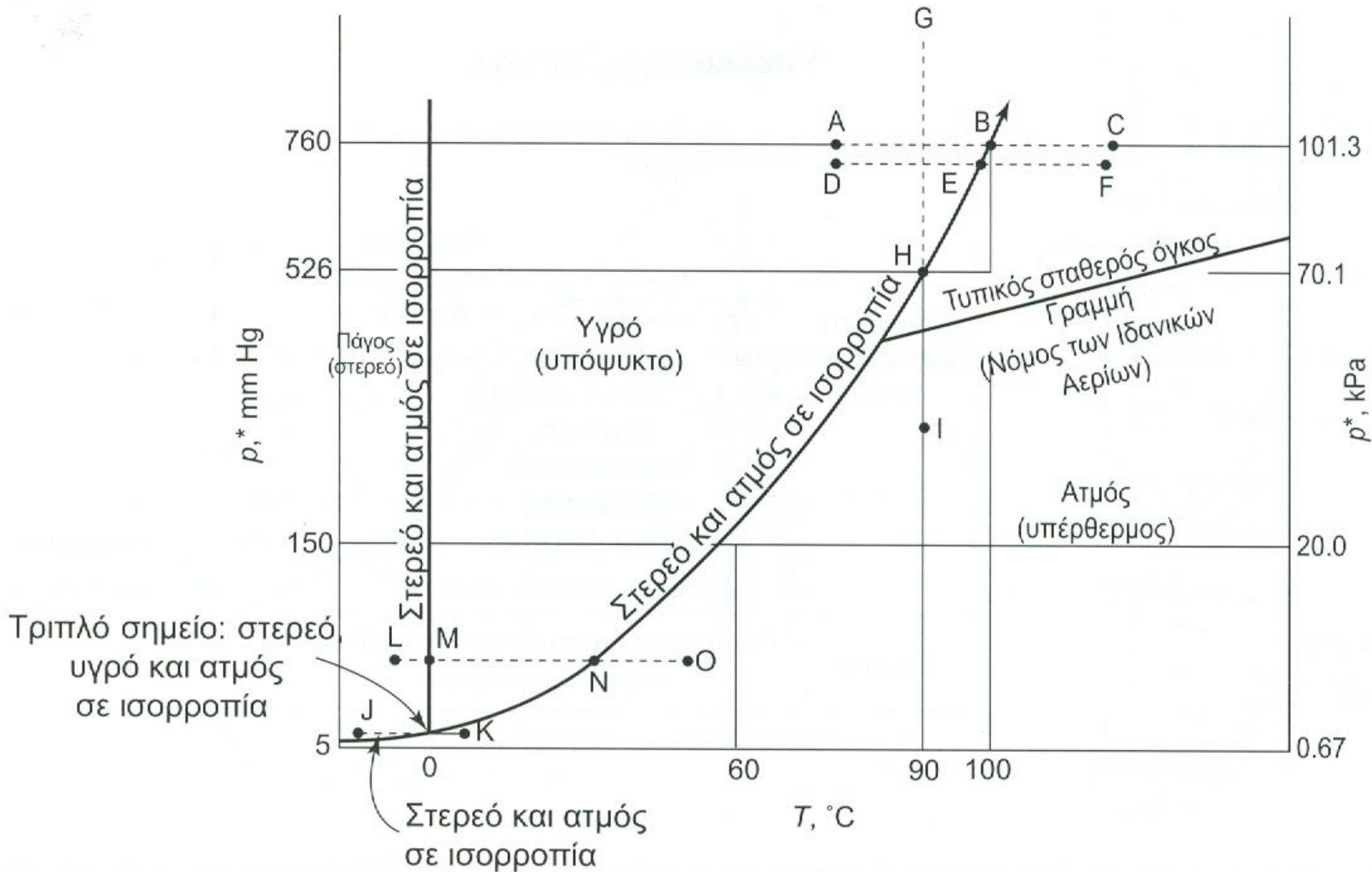
Για παράδειγμα το νερό στους $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση 100 mmHg είναι αέριο (1) ενώ στους $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση 10 atm (2) είναι στερεό. Στους $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση 1 atm μπορεί να είναι αέριο ή υγρό ή μίγμα των δύο (3). Ειδικά στους $0.0098\text{ }^{\circ}\text{C}$ και πίεση 4.58 mmHg μπορεί να είναι αέριο υγρό ή στερεό (4) συνδυασμός τους (τριπλό σημείο)



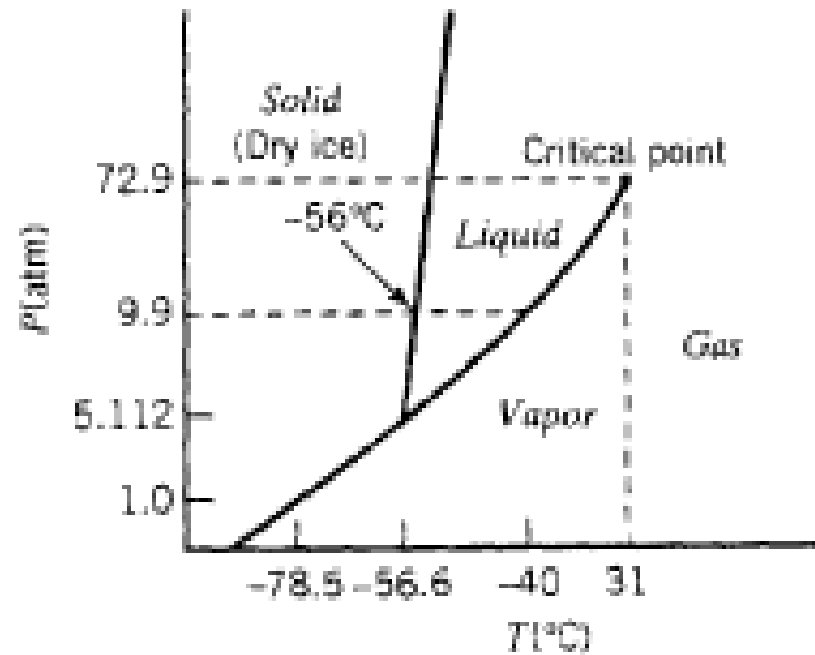
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

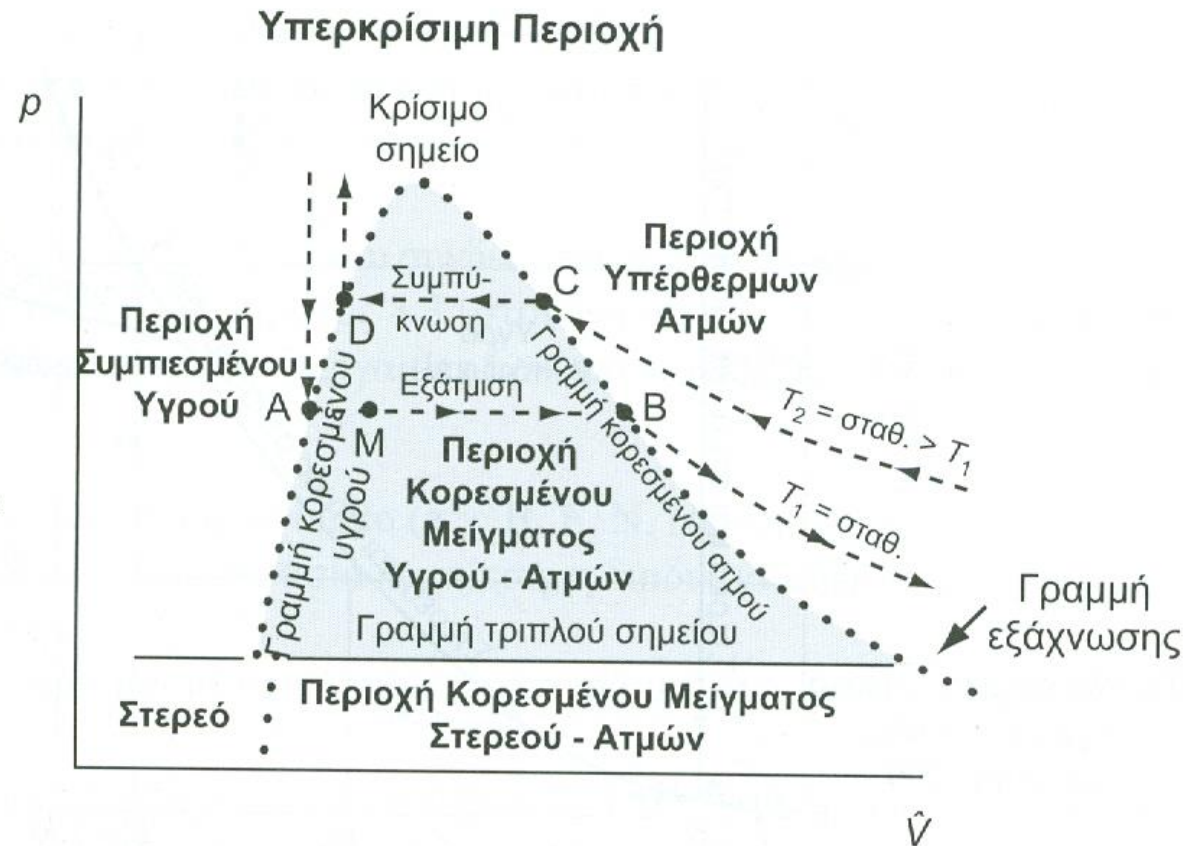
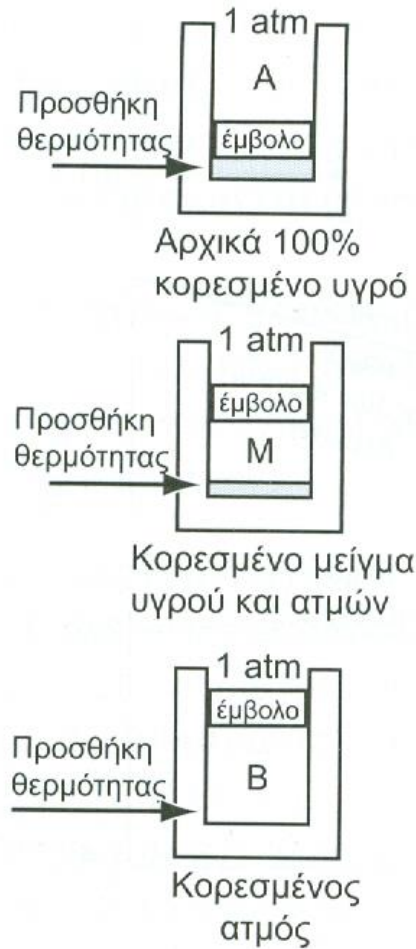


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

H₂O



ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΤΜΟΥ

Τάση ατμών

- Εξίσωση **Clapeyron**

$$dP^*/dT = \Delta H_v / T(v_G - v_L)$$

Αν υποθέσουμε ότι ΔH_v είναι ανεξάρτητο της T
τότε έχουμε την

εξίσωση **Clausius-Clapeyron**:

$$\ln P^* = -\Delta H_v / RT + B$$

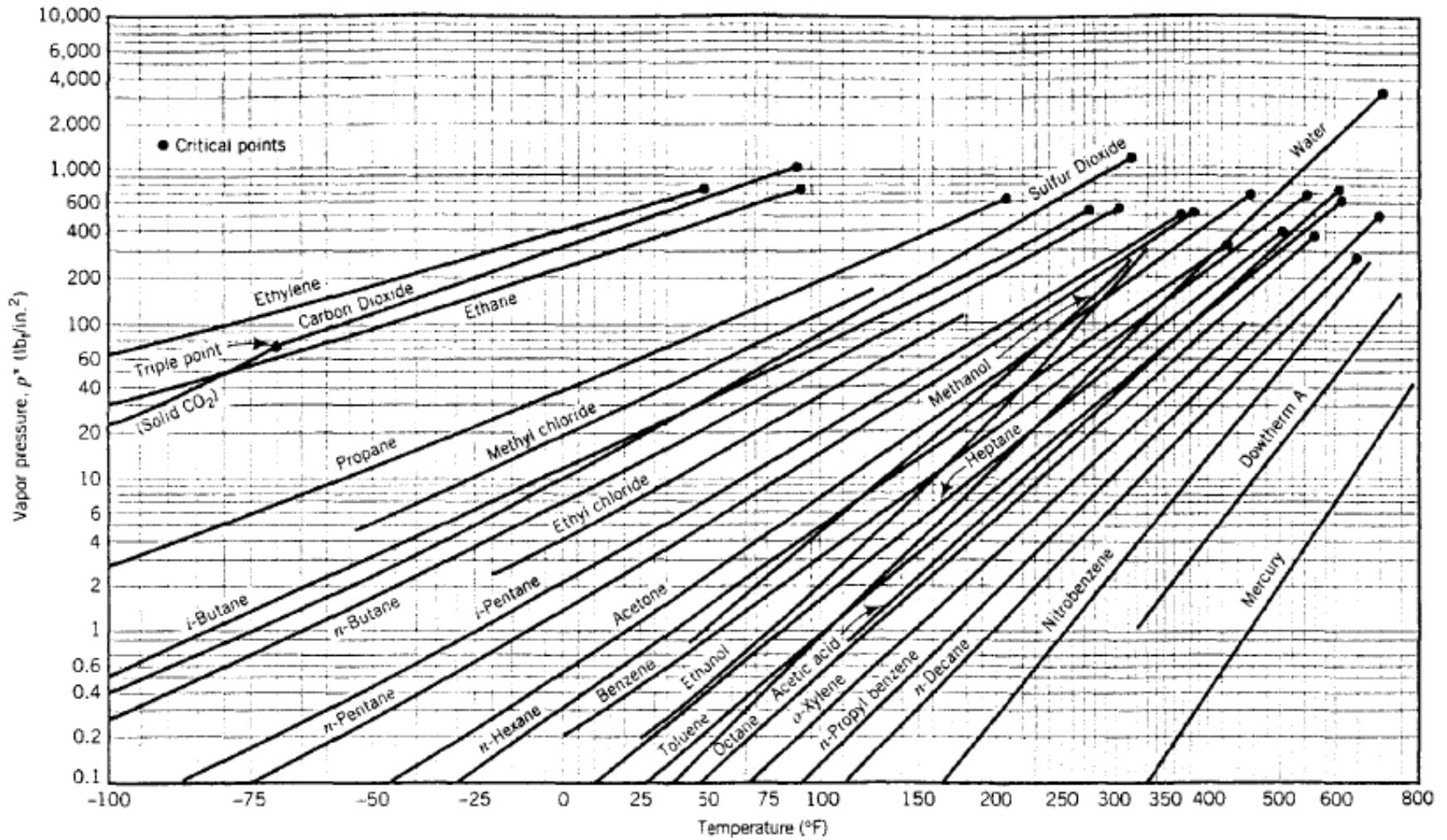
(B σταθερά διαφορετική για κάθε ουσία)

Τάση ατμών

- Μια άλλη μορφή εξίσωσης που συνδέει την τάση ατμών και τη θερμοκρασία και χρησιμοποιείται συχνά.

$$\log_{10} P^* = B - A/(C+T)$$

όπου A , B , C σταθερές χαρακτηριστικές για κάθε ουσία, T είναι η θερμοκρασία σε K ή $^{\circ}C$ και P^* η τάση ατμών σε $mmHg$.



F6.1.1

· Η τάση ατμών του βενζολίου μετριέται σε δύο θερμοκρασίες :

$$T = 7.6 \text{ }^\circ\text{C} \quad P^* = 40 \text{ mmHg}$$

$$T = 15.4 \text{ }^\circ\text{C} \quad P^* = 60 \text{ mmHg}$$

Υπολογίστε την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης (ΔH_v) και τη σταθερά B από την εξίσωση Clausius – Clapeyron. Στη συνέχεια υπολογίστε την τάση ατμών στους $42.2 \text{ }^\circ\text{C}$ με την εξίσωση Clausius – Clapeyron και με την εξίσωση Antoine. Πόσο διαφέρουν οι δύο εκτιμήσεις; (για την εξίσωση Antoine από τη διαφάνεια 15 έχουμε για το βενζόλιο $A= 1211.033$, $B= 6.90565$ και $C=220.790$)

F6.1.1

→ Για τους 42.2 °C ισχύει:

$$\ln P^* = [-35024 \text{ (J/mol)} / (8.314 \text{ (J/mol } ^\circ\text{K)}) \times (273 + 42.2) \text{ } ^\circ\text{K}] + 18.69$$

$$\Rightarrow \ln P^* = 5.33 \Rightarrow P^* = e^{5.33} \Rightarrow P^* = 207 \text{ mmHg}$$

→ Από την εξίσωση **Antoine** έχουμε: $\log_{10} P^* = B - A / (C + T)$
αντικαθιστώντας τις σταθερές A, B, C και την T →

$$\log_{10} P^* = 6.90565 - 1211.033 / (220.790 + 42.2)$$

$$\Rightarrow \log_{10} P^* = 2.3 \Rightarrow P^* = 10^{2.3} = 200 \text{ mmHg}$$

→ Άρα απόκλιση 207 mmHg – 200 mmHg = 7 mmHg

F6.1.1

→ Για τις δύο θερμοκρασίες έχουμε:

$$\ln P_1^* = -\Delta H_v/RT_1 + B \quad (1)$$

$$\ln P_2^* = -\Delta H_v/RT_2 + B \quad (2)$$

→ (2)-(1) => $\ln P_2^* - \ln P_1^* = -\Delta H_v/RT_2 + \Delta H_v/RT_1 =>$

$$\Delta H_v = \ln(P_2^*/P_1^*)/(1/RT_1 - 1/RT_2) \Rightarrow (R=8.314 \text{ J/mol}^\circ\text{K})$$

$$\Delta H_v = 35024 \text{ J/mol}$$

→ (1) => $B = \ln P_1^* + \Delta H_v/RT_1 = 18.69$

→ Άρα η εξίσωση **Clausius-Clapeyron** για το βενζόλιο είναι:

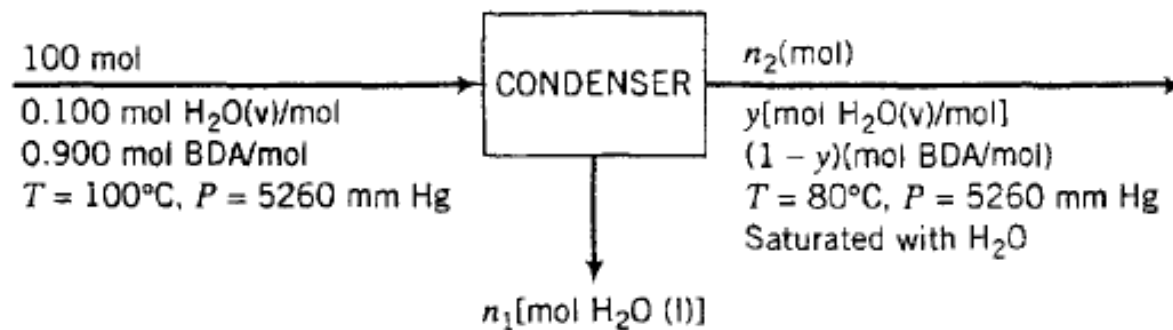
$$\ln P^* = -35024/RT + 18.69 \quad (P^* \text{ σε mmHg})$$

F6.3.2

A stream of air at 100°C and 5260 mm Hg contains 10.0% water by volume.

1. Calculate the dew point and degrees of superheat of the air.
2. Calculate the percentage of the vapor that condenses and the final composition of the gas phase if the air is cooled to 80°C at constant pressure.
3. Calculate the percentage condensation and the final gas-phase composition if, instead of being cooled, the air is compressed isothermally to 8500 mm Hg .

Basis: 100 mol Feed Gas



ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΠΟΛΥΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ-ΚΟΡΕΣΜΟΣ

ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΣ – ΥΓΡΑΣΙΑ

$$SR(h_r) = p_i / p_i^* \times 100$$

ΜΟΛΑΡΙΚΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΣ-ΥΓΡΑΣΙΑ

$$Sm(h_m) = p_i / (P - p_i) = \text{Moles ατμού} / (\text{moles ατμού} - \text{Moles ξηρού αέρα})$$

ΑΠΟΛΥΤΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΣ-ΥΓΡΑΣΙΑ

$$Sa(h_a) = p_i M_i / ((P - p_i) * M_{\xi\alpha}) = \text{Μάζα ατμού} / \text{μάζα ξηρού αέρα}$$

ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΡΕΣΜΟΥ – ΥΓΡΑΣΙΑΣ

$$SP(h_p) = Sm / Sm^* \times 100 = (p_i / (P - p_i)) / (p_i^* / (P - p_i^*))$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ: F6.3.3 , F. 6.18

ΜΙΓΜΑΤΑ 2 ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

→ Νόμος του Raoult (γενικός):

Στον κορεσμό, η μερική πίεση του ατμού στο μίγμα ισούται με την τάση ατμών του υγρού επί το κλάσμα του συστατικού στην υγρή φάση.

$$P_A = y_A P = x_A P^*(T)$$

Ο νόμος του Raoult αποτελεί καλή προσέγγιση όταν $x_A \rightarrow 1$ (το A κυριαρχεί στην υγρή φάση).

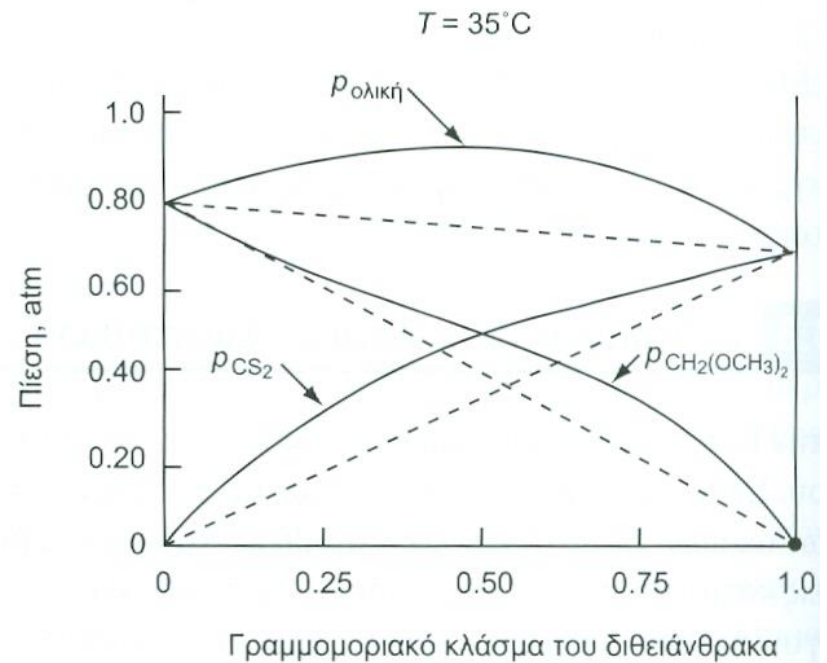
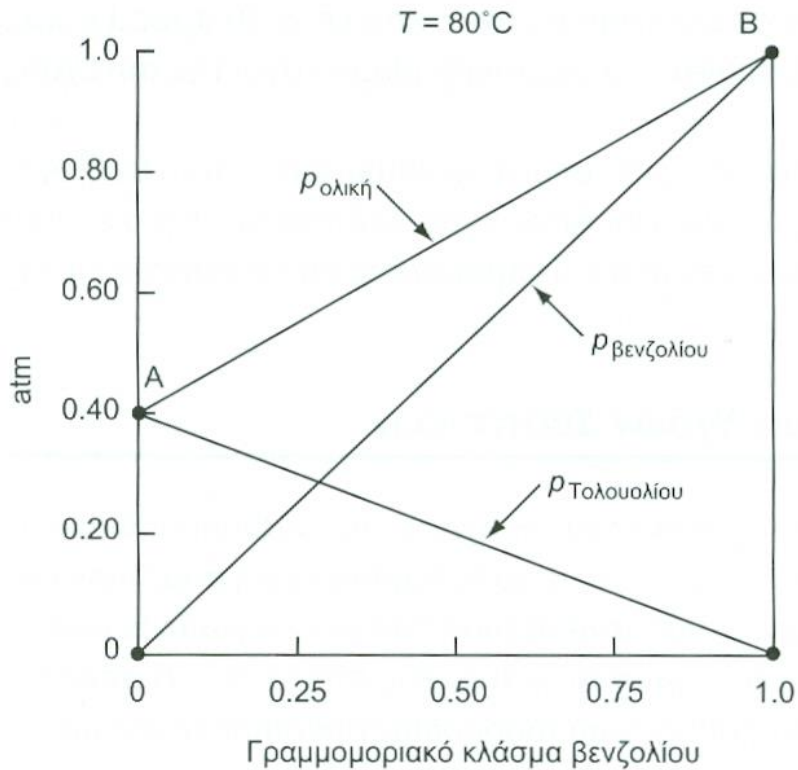
→ Νόμος του Henry:

→ Αντίθετα αν $x_A \rightarrow 0$ μπορεί να εφαρμοστεί ο νόμος του Henry

$$P_A = y_A P = x_A H_A(T)$$

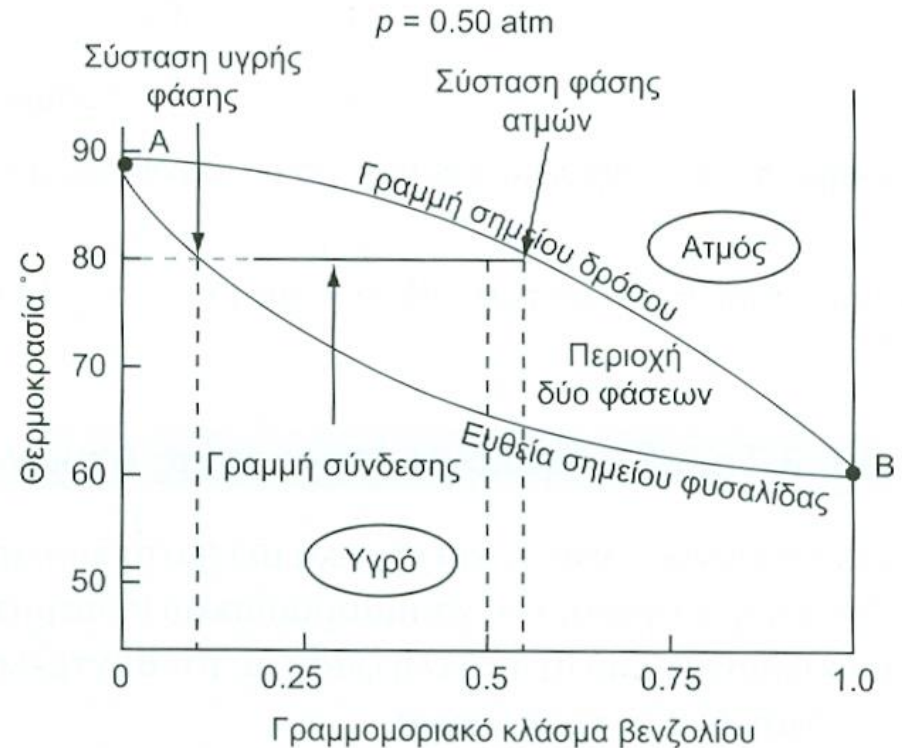
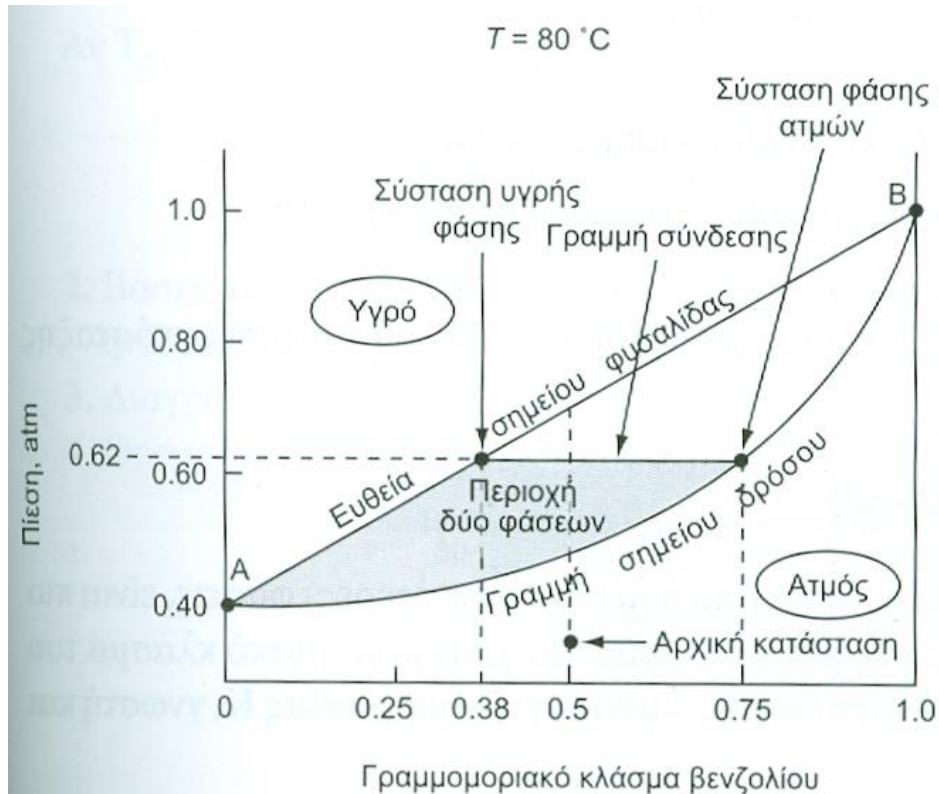
όπου H_A είναι η σταθερά του νόμου του Henry για το A στο συγκεκριμένο διαλύτη

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ



Νόμος Raoult

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

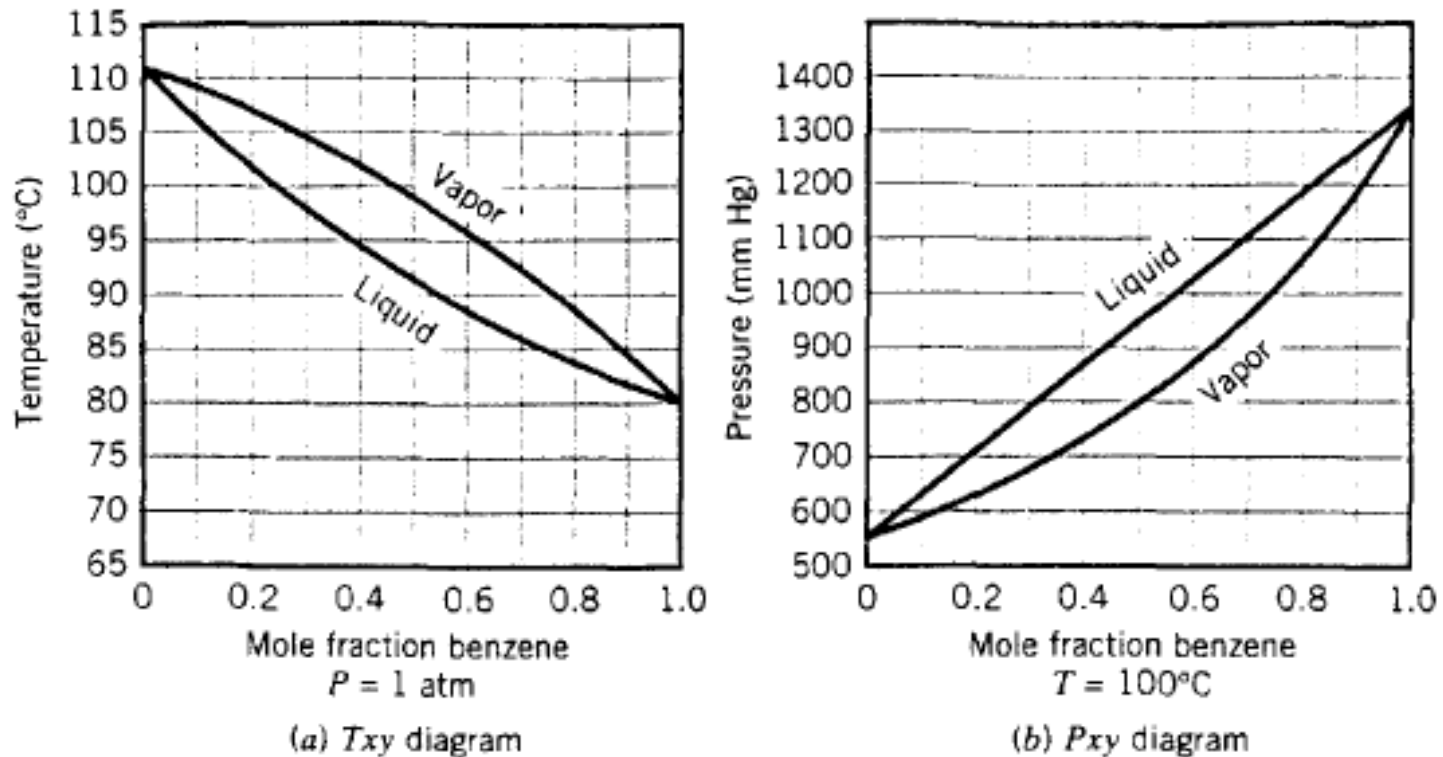


Figure 6.4-1 T_{xy} and P_{xy} diagrams for benzene-toluene system.

Using the T_{xy} diagram, estimate the bubble-point temperature and the equilibrium vapor composition associated with a 40 mole % benzene–60 mole % toluene liquid mixture at 1 atm. If the mixture is steadily vaporized until the remaining liquid contains 25% benzene, what is the final temperature?

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

F6.4.4

Using the Txy diagram, estimate the dew-point temperature and the equilibrium liquid composition associated with a vapor mixture of benzene and toluene containing 40 mole% benzene at 1 atm. If condensation proceeds until the remaining vapor contains 60% benzene, what is the final temperature?

$$x_b=0.4 \quad T_{bp}=95 \quad y_b=0.62$$

$$x_b=0.25 \quad T_{bp}=100,$$

$$y_b=0.4, \quad T_{dp}=102, \quad x_b=0.20$$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

F6.4.2

Use either Raoult's law or Henry's law to solve the following problems.

1. A gas containing 1.00 mole% ethane is in contact with water at 20.0°C and 20.0 atm. Estimate the mole fraction of dissolved ethane.
2. An equimolar liquid mixture of benzene (B) and toluene (T) is in equilibrium with its vapor at 30.0°C. What is the system pressure and the composition of the vapor?

8.5.20 him

A liquid mixture of n-pentane and n-hexane containing 40 mol per cent n-pentane is fed continuously to a flash separator operating at 250°F and 80 psia. Determine:

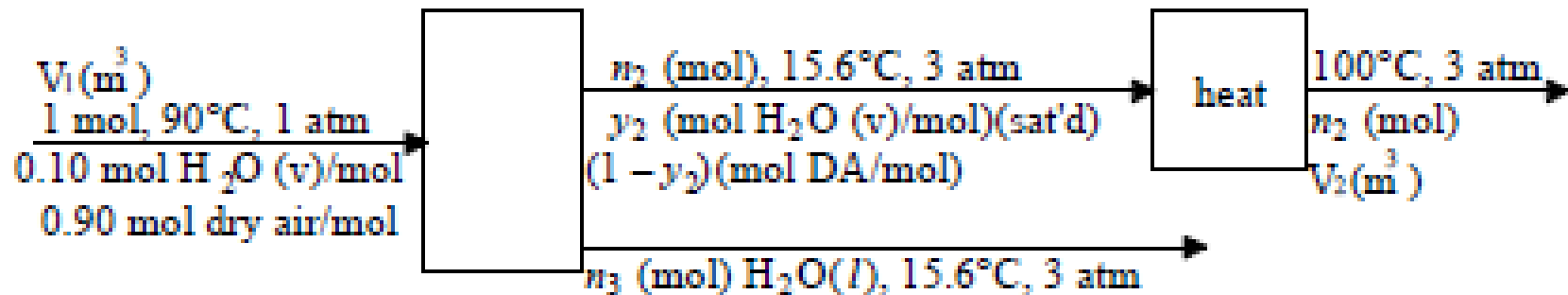
- (a) The quantity of vapor and liquid obtained from the separator per mol of feed.
- (b) The composition of both the vapor and the liquid leaving the separator.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

F6.18

- 6.18. Air at 90°C and 1.00 atm (absolute) contains 10.0 mole\% water. A continuous stream of this air enters a compressor–condenser, in which the temperature is lowered to 15.6°C and the pressure is raised to 3.00 atm . The air leaving the condenser is then heated isobarically to 100°C . Calculate the fraction of water that is condensed from the air, the relative humidity of the air at 100°C , and the ratio $\text{m}^3\text{ outlet air at }100^\circ\text{C}/\text{m}^3\text{ feed air at }90^\circ\text{C}$.

Basis: 1 mol feed



$K = \text{moles συμπυκ} / \text{moles τροφοδ νερού?}$

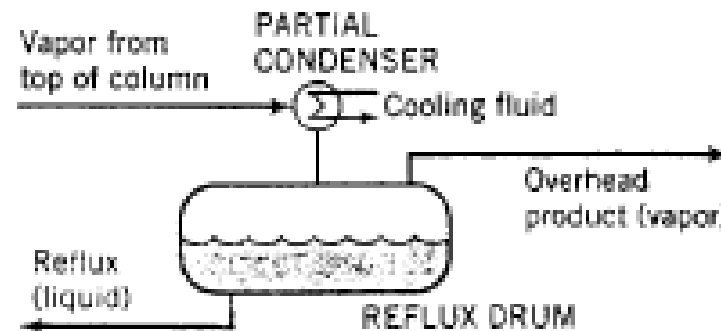
$H(r)$ σχετική υγρασία?

$V_2/V_1 = ? (100/90)$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ

F6.61

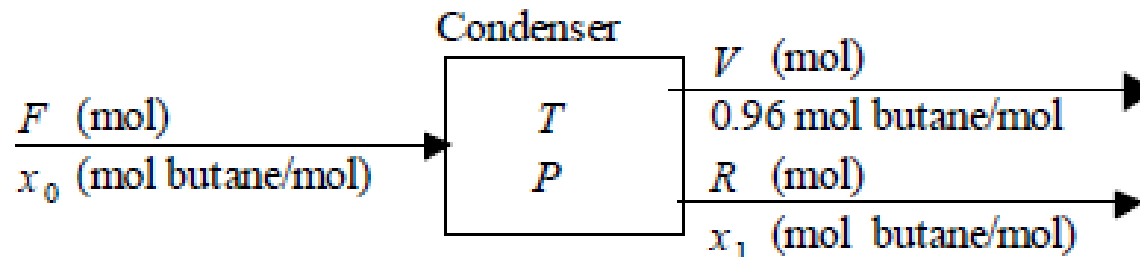
The vapor leaving the top of a distillation column goes to a condenser in which either total or partial condensation takes place. If a total condenser is used, a portion of the condensate is returned to the top of the column as *reflux* and the remaining liquid is taken off as the *overhead product* (or *distillate*). (See Problem 6.60.) If a partial condenser is used, the liquid condensate is returned as reflux and the uncondensed vapor is taken off as the overhead product.



The overhead product from an *n*-butane–*n*-pentane distillation column is 96 mole% butane. The temperature of the cooling fluid limits the condenser temperature to 40°C or higher.

F6.61

- (a) Using Raoult's law, estimate the minimum pressure at which the condenser can operate as a partial condenser (i.e., at which it can produce liquid for reflux) and the minimum pressure at which it can operate as a total condenser. In terms of dew point and bubble point, what do each of these pressures represent for the given temperature?
- (b) Suppose the condenser operates as a total condenser at 40°C , the production rate of overhead product is 75 kmol/h , and the mole ratio of reflux to overhead product is $1.5:1$. Calculate the molar flow rates and compositions of the reflux stream and the vapor feed to the condenser.
- (c) Suppose now that a partial condenser is used, with the reflux and overhead product in equilibrium at 40°C and the overhead product flow rate and reflux-to-overhead product ratio having the values given in part (b). Calculate the operating pressure of the condenser and the compositions of the reflux and vapor feed to the condenser.

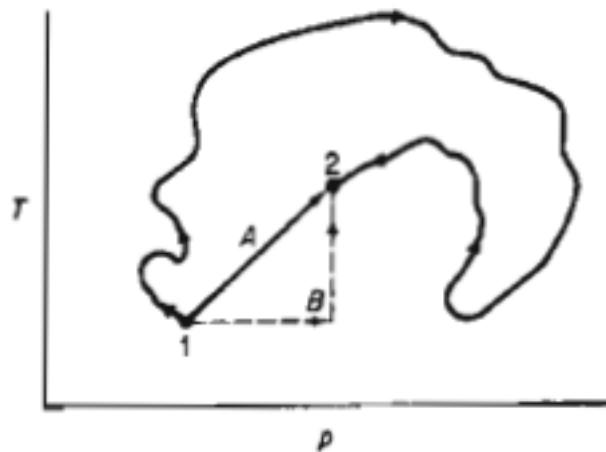


ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{συσσώ-} \\ \text{ρευση} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{είσοδος δια} \\ \text{μέσου των} \\ \text{ορίων του} \\ \text{συστήματος} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{έξοδος δια} \\ \text{μέσου των} \\ \text{ορίων του} \\ \text{συστήματος} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{παραγωγή} \\ \text{μέσα} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{κατανάλωση} \\ \text{μέσα} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\}$$



Term	Definition or explanation	
Adiabatic system	A system that does not exchange heat with the surroundings during a process (perfectly insulated).	
Isothermal system	A system in which the temperature is invariant during a process.	
Isobaric system	A system in which the pressure is constant during a process.	
Isochoric system	A system in which the volume is invariant during a process.	
State variable (point function) (state function)	Any variable (function) whose value depends only on the state of the system and not upon its previous history (e.g., internal energy).	
Path variable (function)	Any variable (function) whose value depends on how the process takes place, and can differ for different histories (e.g., heat and work).	

ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.5 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ή ΕΡΓΟΥ

ft-lb	kWh	HPh	Btu	Θερμίδα (cal)*	Joule
0.7376	2.773×10^{-7}	3.725×10^{-7}	9.478×10^{-4}	0.2390	1
7.233	2.724×10^{-6}	3.653×10^{-6}	9.296×10^{-3}	2.3438	9.80665
1	3.766×10^{-7}	5.0505×10^{-7}	1.285×10^{-3}	0.3241	1.356
2.655×10^6	1	1.341	3.4128×10^3	8.6057×10^5	3.6×10^6
1.98×10^6	0.7455	1	2.545×10^3	6.4162×10^5	2.6845×10^6
74.73	2.815×10^{-5}	3.774×10^{-5}	9.604×10^{-2}	24.218	1.0133×10^2
3.086×10^3	1.162×10^{-3}	1.558×10^{-3}	3.9657	1×10^3	4.184×10^3
7.7816×10^2	2.930×10^{-4}	3.930×10^{-4}	1	2.52×10^2	1.055×10^3
3.086	1.162×10^{-6}	1.558×10^{-6}	3.97×10^{-3}	1	4.184

↑
AES

↑
SI

ΙΣΧΥΣ - ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ Α.4 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΙΣΧΥΟΣ

HP	kW	ft-lb/s	Btu/s	J/s
1	0.7457	550	0.7068	7.457×10^2
1.341	1	737.56	0.9478	1.000×10^3
1.818×10^{-3}	1.356×10^{-3}	1	1.285×10^{-3}	1.356
1.415	1.055	778.16	1	1.055×10^3
1.341×10^{-3}	1.000×10^{-3}	0.7376	9.478×10^{-4}	1

↑
AES

↑
SI

Μορφές ενέργειας

- Χαρακτηρίζουν την ενεργειακή κατάσταση ενός συστήματος μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή
- 4 βασικές μορφές ενέργειας
- Κινητική ενέργεια (E_k), Η ενέργεια που έχει ένα σύστημα λόγω της κίνησής του
- Δυναμική ενέργεια (E_p), Η ενέργεια που έχει ένα σύστημα λόγω της θέσης του (ως προς κάποιο δυναμικό πεδίο)
- Εσωτερική ενέργεια (U), Η ενέργεια που έχει ένα σύστημα λόγω της κίνησης των μορίων
- **Ενθαλπία (H)**, Η ενέργεια που έχει ένα σύστημα λόγω της κίνησης των μορίων και της πίεσης

Μορφές μεταφοράς ενέργειας

- Μπορούμε να λάβει χώρα μεταφορά ενέργειας ώστε να διαφοροποιείται η ενεργειακή κατάσταση ενός συστήματος.

Αυτό γίνεται κυρίως μέσω δύο μορφών μεταφοράς ενέργειας:

- **Θερμότητα (Q)**
- Με τον όρο θερμότητα (Q) εννοείται η μεταφορά ενέργειας λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς (από το θερμό στο ψυχρό)
- Σύμβαση: **Θετική (+) όταν ρέει από το περιβάλλον στο σύστημα**

- **Έργο (W)**
- Με τον όρο έργο (W) εννοείται η μεταφορά ενέργειας που συνδέεται με μετατόπιση στο σύστημα όταν εφαρμόζεται σε αυτό κάποια δύναμη
- Σύμβαση: **Θετικό (+) όταν ασκείται από το σύστημα στο περιβάλλον**

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ- ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

$$\Delta E_{\text{ΣΥΣΤΗΜ}}, \text{ συσσωρευση} = \Delta U + \Delta E_k + \Delta E_p = Q - W$$

Δ: τελική-αρχική (αφορά μάζα συστήματος) στο κλειστό σύστημα αναφέρεται σε διαφορά μεταξύ δύο χρονικών στιγμών

Α θερμοδυναμικός νόμος

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ- ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

$$\Delta E_{\text{ΣΥΣΤΗΜ}}, \text{ συσσωρευση} = \Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p = Q - W$$

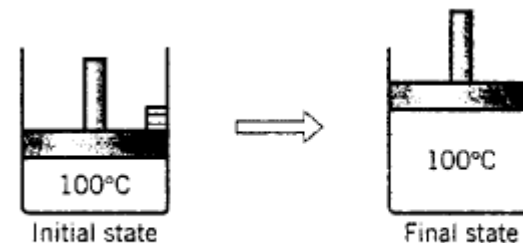
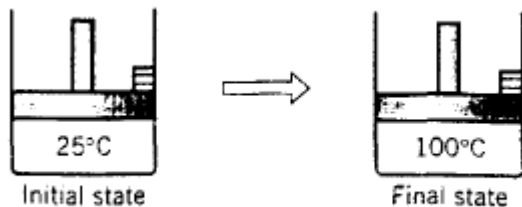
Δ: στο ανοικτό σύστημα αναφέρεται σε διαφορά μεταξύ ρευμάτων εξόδου και εισόδου.

ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ε. Παυλάτου, 2017

F.7.3.1

Ένα τέλειο αέριο περιέχεται σε ένα κύλινδρο με κινητό έμβολο σε 25°C . Ο κύλινδρος μπαίνει σε νερό που βράζει με το έμβολο σταθερό και το αέριο απορροφά θερμότητα 2 kcal έτσι ώστε να φτάσει τους 100°C (σε ισορροπία με το νερό που βράζει). Στη συνέχεια το έμβολο απελευθερώνεται και το αέριο σπρώχνει το έμβολο παράγοντας έργο 100 J . Η τελική θερμοκρασία του αερίου είναι αμετάβλητη στους 100°C . Γράψτε το ισοζύγιο ενέργειας για κάθε μία από τις δύο φάσεις της διεργασίας (θέρμανση, εκτόνωση).



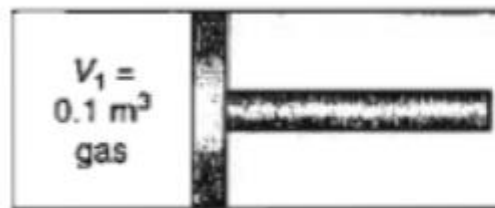
ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ε. Παυλάτου, 2017

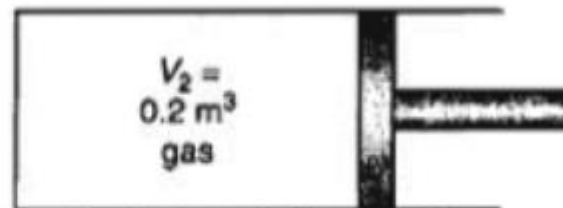
Him 9.2

Κυλινδρικό δοχείο με έμβολο περιέχει ιδανικό αέριο στους 300 K και πίεση 200 kPa. Το αέριο σπρώχνει σταδιακά το έμβολο ώστε ο όγκος του αερίου από 0.1 m³ να γίνει 0.2 m³. Υπολογίστε το έργο που αποδίδεται αν:

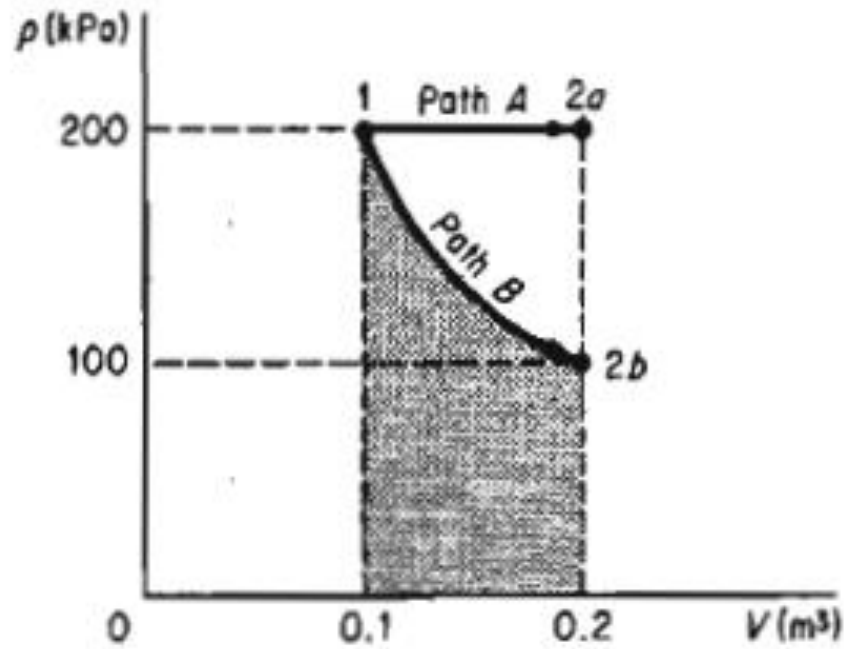
1. Η διεργασία γίνεται υπό σταθερή πίεση ($p=200$ kPa)
2. Η διεργασία γίνεται υπό σταθερή θερμοκρασία ($T=300$ K)



State 1



State 2

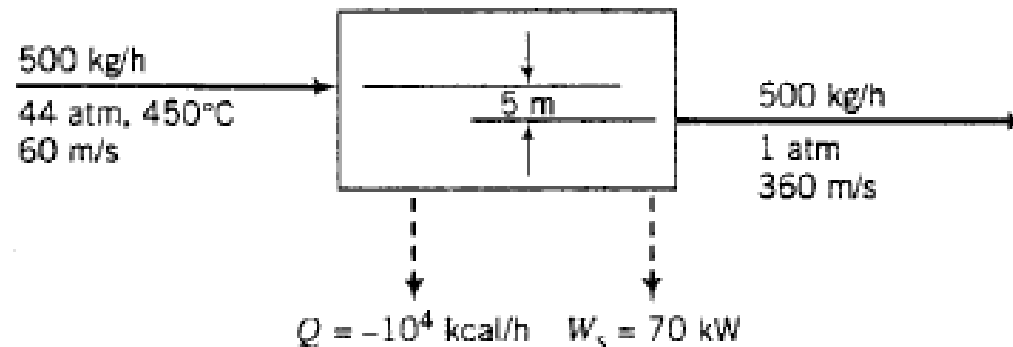


ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Ε. Παυλάτου, 2017

F7.4.2

500 kg/h ατμού τροφοδοτούν μια τουρμπίνα. Ο ατμός εισέρχεται στην τουρμπίνα (στρόβιλος) σε θερμοκρασία 450 °C, πίεση 44 atm και ταχύτητα 60 m/s. Εγκαταλείπει την τουρμπίνα 5 m χαμηλότερα σε ατμοσφαιρική πίεση και ταχύτητα 360 m/s. Η τουρμπίνα αποδίδει έργο 70 kW και έχει απώλειες λόγω θερμότητας 10000 kcal/h. Υπολογίστε τη μεταβολή της ειδικής ενθαλπίας στο σύστημα.



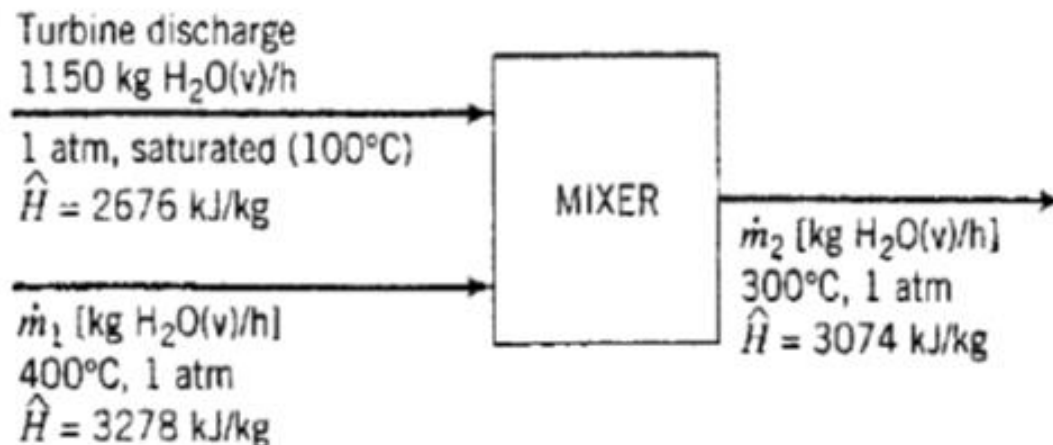
$$\Delta \hat{H} = ?$$

$$-650 \text{ kJ/kg}$$

ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ-ΜΑΖΑ-ΕΝΕΡΓΕΙΑ F7.6.3

Για έναν εναλλάκτη θερμότητας απαιτείται υπέρθερμος ατμός 300 °C και πίεσης 1 atm. Υπάρχει κορεσμένος ατμός 1 atm ο οποίος απορρέει από την έξοδο στροβίλου με ρυθμό 1150 kg/h καθώς και υπέρθερμος ατμός 400 °C και πίεσης 1 atm. Η ανάμιξη των δύο ρευμάτων γίνεται αδιαβατικά.

Υπολογίστε την ποσότητα υπέρθερμου ατμού στους 300 °C που παράγεται καθώς και την ογκομετρική παροχή του υπέρθερμου ατμού των 400 °C.



ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΣ ΑΤΜΟΣ

572 °F 752 °F

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ.2 ΥΠΕΡΘΕΡΜΟΣ ΑΤΜΟΣ

Απόλ. Πίεση lb/in ² (Θερμ. Κορ.)	Κορ. Νερό	Κορ. Ατμός	Θερμοκρασία (°F)														
			200°	250°	300°	350°	400°	450°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°	1100°	1200°	
1 (101.76)	SA		98.24	148.24	198.24	248.24	298.24	348.24	398.24	498.24	598.24	698.24	798.24	898.24	998.24	1098.24	
	υ	0.0161	333.79	392.5	422.5	452.1	482.1	511.7	541.8	571.3	620.9	690.6	750.2	809.8	869.4	929.1	988.7
	h	69.72	1105.2	1149.2	1171.9	1194.4	1217.3	1243.2	1263.5	1286.7	1333.9	1382.1	1431.0	1480.8	1531.4	1583.0	1635.4
5 (162.25)	SA		37.75	87.75	137.75	187.75	237.75	287.75	337.75	437.75	537.75	637.75	737.75	837.75	937.75	1037.75	
	υ	0.0164	73.600	78.17	84.24	90.21	96.26	102.19	108.23	114.16	126.11	138.05	149.99	161.91	173.83	185.80	197.72
	h	130.13	1130.8	1148.3	1171.1	1193.6	1216.6	1239.8	1263.0	1286.1	1333.5	1381.8	1430.8	1480.6	1531.3	1582.9	1635.3
10 (193.21)	SA		6.79	56.79	106.79	156.79	206.79	256.79	306.79	406.79	506.79	606.79	706.79	806.79	906.79	1006.79	
	υ	0.0166	38.462	38.88	41.96	44.98	48.02	51.01	54.04	57.02	63.01	68.99	74.96	80.92	86.89	92.88	98.85
	h	161.17	1143.3	1146.7	1170.2	1192.8	1216.0	1239.3	1262.5	1285.8	1333.3	1381.6	1430.6	1480.5	1531.2	1582.8	1635.2
14.696 (212.00)	SA			38.00	88.00	138.00	188.00	238.00	288.00	388.00	488.00	588.00	688.00	788.00	888.00	988.00	
	υ	0.0167	26.828	28.44	30.52	32.61	34.65	36.73	38.75	42.83	46.91	50.97	55.03	59.09	63.19	67.25	
	h	180.07	1150.4	1169.2	1192.0	1215.4	1238.9	1262.1	1285.4	1333.0	1381.4	1430.5	1480.4	1531.1	1582.7	1635.1	
15 (213.03)	SA		36.97	86.97	136.97	186.97	236.97	286.97	386.97	486.97	586.97	686.97	786.97	886.97	986.97		
	υ	0.0167	26.320	27.86	29.90	31.94	33.95	35.98	37.97	41.98	45.97	49.95	53.93	57.91	61.91	65.89	
	h	181.11	1150.7	1169.2	1192.0	1215.4	1238.9	1262.1	1285.4	1333.0	1381.4	1430.5	1480.4	1531.1	1582.7	1635.1	
20 (227.96)	SA			22.04	72.04	122.04	172.04	222.04	272.04	372.04	472.04	572.04	672.04	772.04	872.04		
	υ	0.0168	20.110	20.81	22.36	23.91	25.43	26.93	28.45	31.46	34.46	37.44	40.43	43.42	46.43	49.41	
	h	196.16	1156.1	1168.0	1191.1	1214.8	1238.4	1261.6	1285.0	1332.7	1381.2	1430.3	1480.2	1531.0	1582.6	1635.1	
25 (240.07)	SA			9.93	59.93	109.93	159.93	209.93	259.93	359.93	459.93	559.93	659.93	759.93	859.93		
	υ	0.0169	16.321	16.58	17.84	19.08	20.30	21.53	22.73	25.15	27.55	29.94	32.33	34.73	37.14	39.52	
	h	208.41	1160.4	1166.3	1190.2	1214.1	1237.9	1261.1	1284.6	1332.4	1381.0	1430.1	1480.0	1530.9	1582.5	1635.0	
30 (250.14)	SA			49.66	99.66	149.66	199.66	249.66	349.66	449.66	549.66	649.66	749.66	849.66			
	υ	0.0170	13.763	14.82	15.87	16.89	17.91	18.92	20.94	22.94	24.94	26.93	28.93	30.94	32.53		
	h	218.83	1164.0	1189.2	1213.4	1237.4	1260.6	1284.2	1332.1	1380.8	1429.9	1479.9	1530.8	1582.4	1634.9		
35 (259.28)	SA			40.72	90.72	140.72	190.72	240.72	340.72	440.72	540.72	640.72	740.72	840.72			
	υ	0.0171	11.907	12.66	13.57	14.45	15.33	16.20	17.94	19.66	21.36	23.08	24.79	26.52	28.22		
	h	227.97	1167.0	1188.2	1212.7	1236.9	1260.1	1283.8	1331.9	1380.6	1429.8	1479.8	1530.7	1582.3	1634.8		
40 (267.24)	SA			32.76	82.76	132.76	182.76	232.76	332.76	432.76	532.76	632.76	732.76	832.76			
	υ	0.0172	10.506	11.04	11.84	12.62	13.40	14.16	15.68	17.19	18.69	20.18	21.68	23.20	24.69		
	h	236.08	1169.7	1187.1	1211.9	1236.4	1259.6	1283.4	1331.6	1380.4	1429.6	1479.6	1530.6	1582.2	1634.8		
45 (274.45)	SA			25.55	75.55	125.55	175.55	225.55	325.55	425.55	525.55	625.55	725.55	825.55			
	υ	0.0172	9.408	9.785	10.50	11.20	11.89	12.57	13.93	15.27	16.60	17.94	19.27	20.62	21.55		
	h	243.38	1172.0	1188.0	1211.1	1235.8	1259.1	1283.0	1331.3	1380.1	1429.4	1479.4	1530.3	1582.1	1634.7		

SA = υπερθέρμανση, °F. υ = ειδικός όγκος, ft³/lb. h = ένθαλπία, Btu/lb.

F.40

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

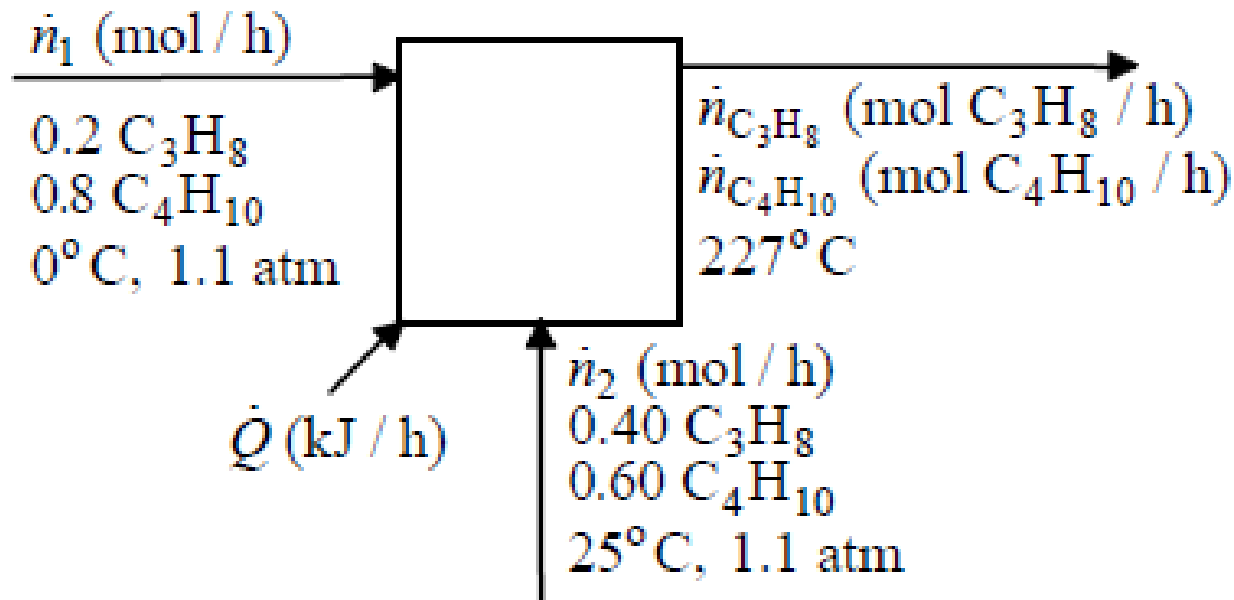
- 7.40. Three hundred L/h of a 20 mole% C_3H_8 -80% $n-C_4H_{10}$ gas mixture at $0^\circ C$ and 1.1 atm and 200 L/h of a 40 mole% C_3H_8 -60% $n-C_4H_{10}$ mixture at $25^\circ C$ and 1.1 atm are mixed and heated to $227^\circ C$ at constant pressure. Calculate the heat requirement in kJ/h. (See Example 7.6-2.) Enthalpies of propane and n -butane are listed below. Assume ideal gas behavior.

$T(^{\circ}C)$	Propane $\hat{H}(J/mol)$	Butane $\hat{H}(J/mol)$
0	0	0
25	1772	2394
227	20,685	27,442

$$Q = 587 \text{ kJ/mole}$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

F.40



F.52

ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.52. An aqueous solution with a specific gravity of 1.12 flows through a channel with a variable cross section. Data taken at two axial positions in the channel are shown here.

	Point 1	Point 2
P_{gauge}	$1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$	$9.77 \times 10^4 \text{ Pa}$
u	5.00 m/s	?

Point 2 is 6.00 meters higher than point 1.

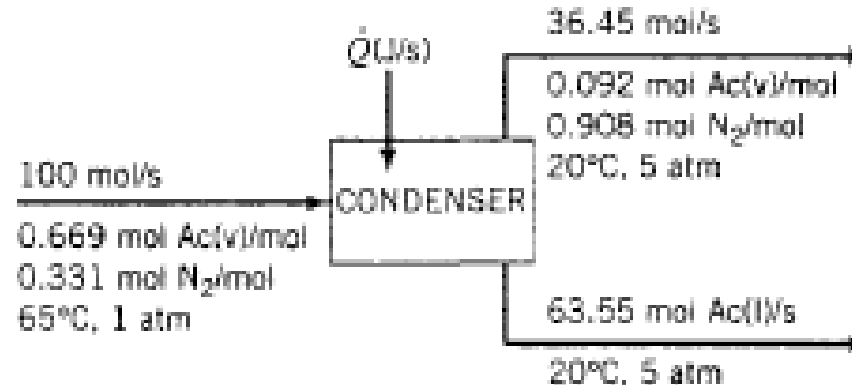
- (a) Neglecting friction, calculate the velocity at point 2. (See Example 7.7-1.)
 (b) If the pipe diameter at point 2 is 6.00 cm, what is the diameter at point 1?

$$U_2 = 0.894 \text{ m/s}$$

$$D_1 = 2.54 \text{ cm}$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

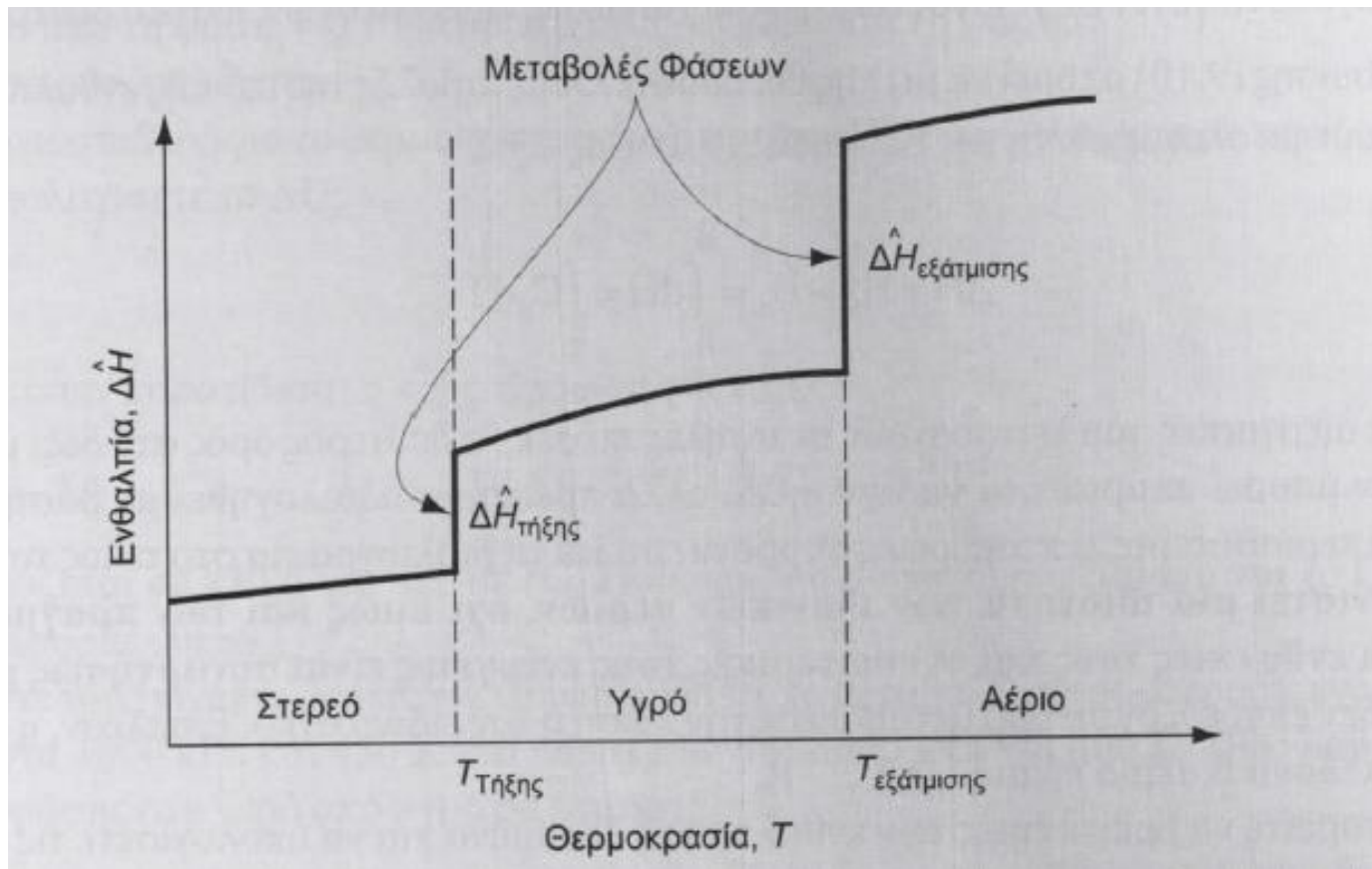
Acetone (denoted as Ac) is partially condensed out of a gas stream containing 66.9 mole% acetone vapor and the balance nitrogen. Process specifications and material balance calculations lead to the flowchart shown below.



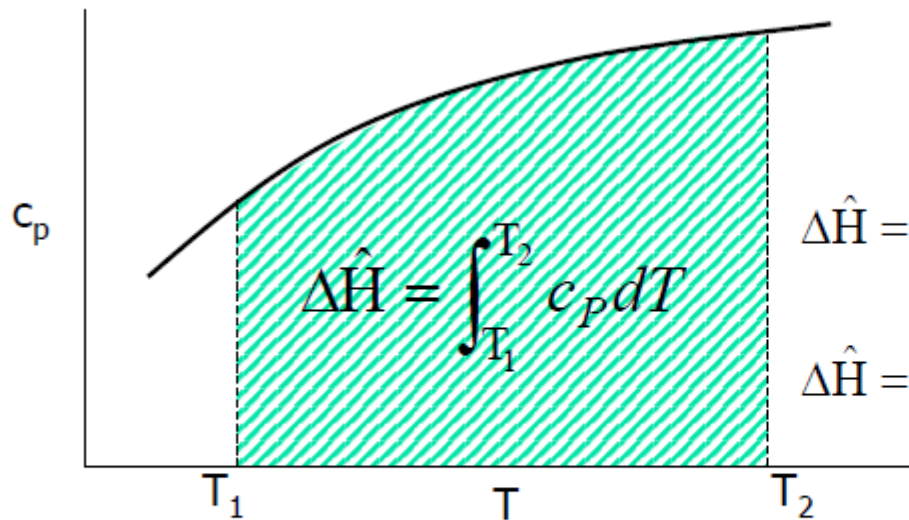
The process operates at steady state. Calculate the required cooling rate.

$$Q = \Delta H = -2320 \text{ kW}$$

Μεταβολή ενθαλπίας με T



Ενθαλπία και θερμοχωρητικότητα



$$\Delta \hat{H} = \int_{T_1}^{T_2} (a + \beta T + \gamma T^2 + \delta T^3) dT \Rightarrow$$

$$\Delta \hat{H} = \left(aT + \frac{\beta T^2}{2} + \frac{\gamma T^3}{3} + \frac{\delta T^4}{4} \right) \Bigg|_{T_1}^{T_2} \Rightarrow$$

$$\Delta \hat{H} = a(T_2 - T_1) + \frac{\beta(T_2^2 - T_1^2)}{2} + \frac{\gamma(T_2^3 - T_1^3)}{3} + \frac{\delta(T_2^4 - T_1^4)}{4}$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ -ΕΞΑΤΜΙΣΗ

F8.4.2

100 mol/h υγρού εξανίου στους 25 οC και πίεση 7 bar εξατμίζονται και θερμαίνονται στους 300 οC υπό σταθερή πίεση.

Να βρεθεί η ρυθμός παροχής θερμότητας που πρέπει να δοθεί στο σύστημα.

$$Q=2.38KW$$

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΜΙΓΜΑ + ΕΞΑΤΜΙΣΗ (ΜΑΖΑ+ΕΝΕΡΓΕΙΑ)

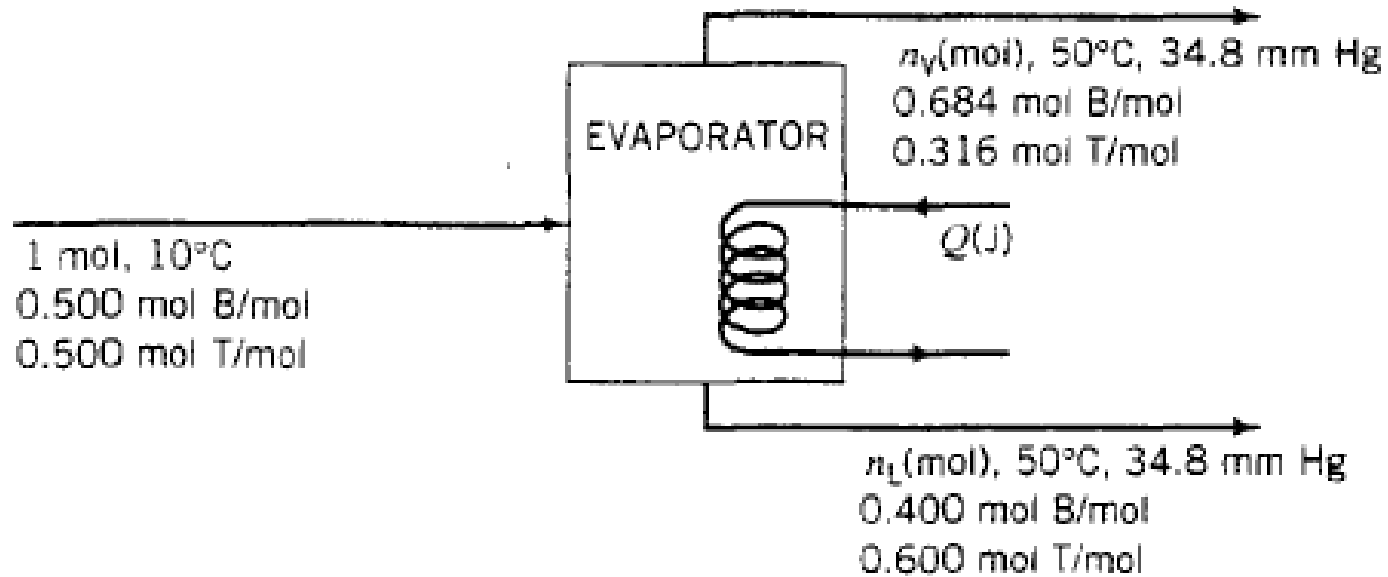
Ένα ισομοριακό μίγμα βενζολίου – τολουολίου στους 10 °C τροφοδοτείται σε δοχείο διαχωρισμού το οποίο θερμαίνεται στους 50 ° C. Το βενζόλιο είναι 40% στο υγρό προϊόν και 68.4 % στο αέριο (κατά mol). Πόση θερμότητα πρέπει να προσφέρεται για τον συγκεκριμένο διαχωρισμό;

$$c_{p,B}^{(L)} = 0.1265 + 23.4 \times 10^{-5} T \quad c_{p,B}^{(G)} = 0.07406 + 40.85 \times 10^{-5} T - 2.520 \times 10^{-7} T^2$$

$$c_{p,T}^{(L)} = 0.1488 + 32.4 \times 10^{-5} T \quad c_{p,T}^{(G)} = 0.09418 + 38 \times 10^{-5} T - 2.786 \times 10^{-7} T^2$$

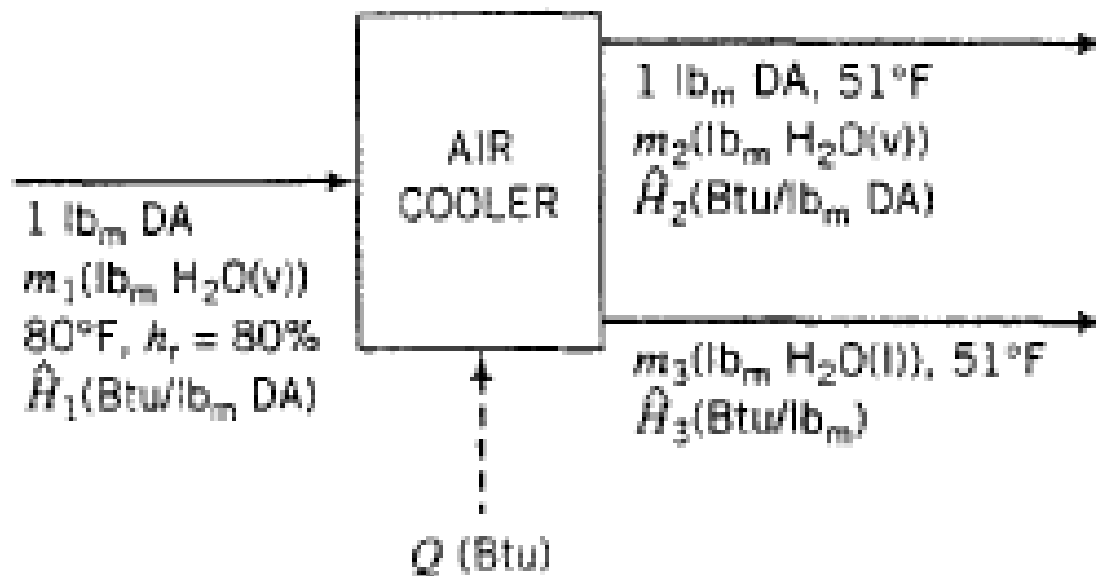
$$Q = 17.7 \text{ kJ/mol}$$

F8.4.4



ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΜΑΖΑ+ΕΝΕΡΓΕΙΑ)

Air at 80°F and 80% relative humidity is cooled to 51°F at a constant pressure of 1 atm. Use the psychrometric chart to calculate the fraction of the water that condenses and the rate at which heat must be removed to deliver 1000 ft³/min of humid air at the final condition.



Ποσοστό νερού συμπυκνώνεται= 0.555
 $Q = -1360$ Btu/min

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

ΕΝΘΑΛΠΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΕΝΩΣΗΣ

- Ο **θερμοτονισμός** ή η θερμότητα της αντίδρασης εκφράζει τη μεταβολή ενέργειας λόγω της χημικής αντίδρασης
- Η απαιτούμενη ενέργεια για το σχηματισμό 1 mole μιας ένωσης από τα συστατικά της στοιχεία. Π.χ. $C(s) + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO(g)$
Συμβολισμός $\Delta\hat{H}_f$
- Πρότυπη ενθαλπία σχηματισμού είναι η ενθαλπία σχηματισμού σε πρότυπες συνθήκες (**T=250C, P=1 atm**)
Συμβολισμός $\Delta\hat{H}^\circ_f$
- Η ενθαλπία σχηματισμού των μεμονωμένων στοιχείων (π.χ. O₂, H₂...) σε πρότυπες συνθήκες ορίζεται ότι είναι **μηδέν**.
- Ενθαλπίες σχηματισμού των διαφόρων ενώσεων υπάρχουν στον Πίνακα Ζ.1 στο παράρτημα.

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

$$\Delta H_{out} = \sum_{i=1}^s n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^{\circ} + \sum_{i=1}^s n_i \int_{T_{ref}}^{T_{out}} c_{P,i} dT$$

$$\Delta H_{in} = \sum_{i=1}^s n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^{\circ} + \sum_{i=1}^s n_i \int_{T_{ref}}^{T_{in}} c_{P,i} dT$$

$$\Delta H_{out} - \Delta H_{in} = \sum_{i=1}^s n_i \int_{T_{in}}^{T_{out}} c_{P,i} dT$$

ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

$$\Delta H_{out} - \Delta H_{in} = \sum_{i=1}^p n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^o + \sum_{i=1}^p n_i \int_{T_{ref}}^{T_{out}} c_{P,i} dT - \sum_{i=1}^r n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^o - \sum_{i=1}^r n_i \int_{T_{ref}}^{T_{in}} c_{P,i} dT$$

προϊόντα

αντιδρώντα

$$\Delta H_{out} - \Delta H_{in} = \sum_{i=1}^p n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^o - \sum_{i=1}^r n_i \Delta \hat{H}_{f,i}^o + \sum_{i=1}^p n_i \int_{T_{ref}}^{T_{out}} c_{P,i} dT - \sum_{i=1}^r n_i \int_{T_{ref}}^{T_{in}} c_{P,i} dT$$

Πρότυπη θερμότητα
αντίδρασης ($\Delta \hat{H}_{rxn}^o$)

αισθητή θερμότητα

ΕΝΘΑΛΠΙΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

$$\Delta \hat{H}_{\text{rxn}}(T,P) = \sum \hat{H}_{\text{προϊόντα}} - \sum \hat{H}_{\text{αντιδρώντα}}$$

$\Delta \hat{H}_{\text{rxn}}(T,P) < 0$ εξώθερμη

$\Delta \hat{H}_{\text{rxn}}(T,P) > 0$ ενδόθερμη

$$\Delta \hat{H}^{\circ}_{\text{rxn}}(T=25^{\circ}\text{C}, P=1 \text{ atm}) = \sum \hat{H}^{\circ}_{\text{προϊόντα}} - \sum \hat{H}^{\circ}_{\text{αντιδρώντα}}$$

Ισχύει για: Στοιχειομετρικές αναλογίες

Μονάδες: kJ/mol ενός αντιδρώντος ή ενός προϊόντος

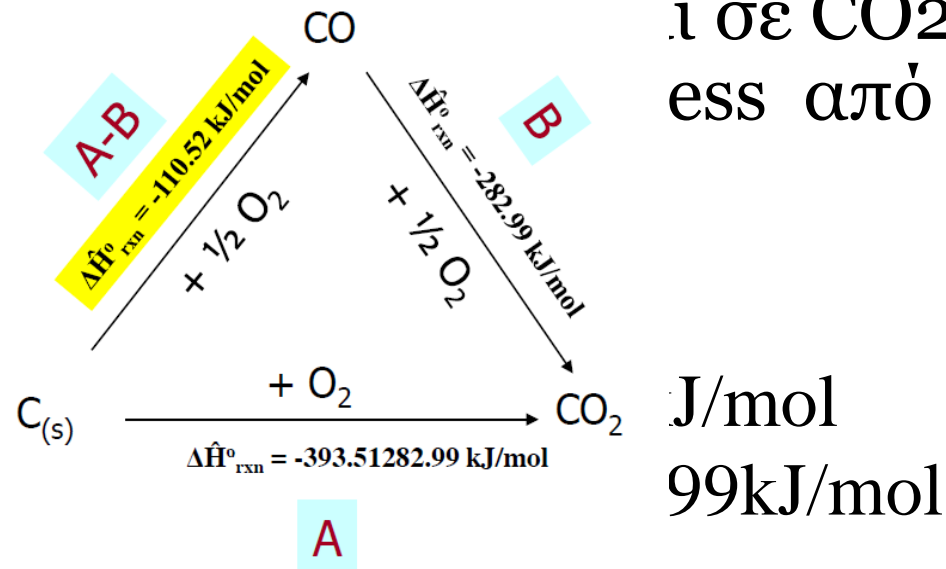
NΟΜΟΣ HESS

- Εάν μια αντίδραση μπορεί να προκύψει από άλλες αντιδράσεις με απλές αλγεβρικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό με σταθερά) τότε οι ίδιες αλγεβρικές πράξεις μπορούν να εφαρμοστούν στις αντίστοιχες ενθαλπίες αντίδρασης και να υπολογιστεί η ενθαλπία της ζητούμενης αντίδρασης
- Χρήσιμος για τον έμμεσο υπολογισμό της ενθαλπίας μιας αντίδρασης από άλλες αντιδράσεις των οποίων οι ενθαλπίες είναι γνωστές

ΝΟΜΟΣ HESS

- Ο υπολογισμός της ενθαλπίας σχηματισμού CO είναι δύσκολο να μετρηθεί παραδοσιακά γιατί ένα μέρος του C οξειδώνεται σε CO₂. Υπολογίζουμε από άλλες αντιδράσεις

- A: $C_{(s)} + O_2 \rightarrow CO_2$
- B: $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2$



Ενθαλπία καύσης

- Καύση: Ταχεία αντίδραση με O_2 (οξείδωση) σε υψηλή θερμοκρασία
- $C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$ $C_2H_{6(g)} + 7/2 O_{2(g)} \rightarrow 2 CO_{2(g)} + 3 H_2O_{(l)}$
- Πρότυπη ενθαλπία καύσης $\Delta \hat{H}^\circ_c$ είναι η ενθαλπία της αντίδρασης τέλειας καύσης για $T = 25^\circ C$ και $P = 1 \text{ atm}$ (Πίνακας Ζ.1, Παράρτημα)
- Ισχυρά εξώθερμος χαρακτήρας της αντίδρασης ($\Delta \hat{H}_{oc} < 0$) για την παραγωγή θερμότητας

Ενθαλπία καύσης

$$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}} = - \left[\sum_{\text{πρ}} n_i \Delta \hat{H}^{\circ}_{\text{c,πρ}} - \sum_{\text{αν}} n_i \Delta \hat{H}^{\circ}_{\text{c,αν}} \right]$$

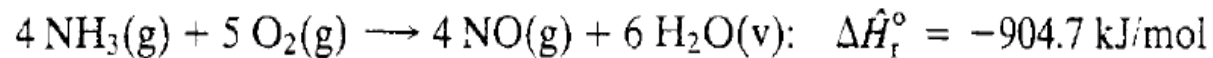
Ως προϊόντα της καύσης θεωρούνται κυρίως $\text{CO}_2(\text{g})$, $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ αλλά και SO_2 αν υπάρχει S, HCl αν υπάρχει Cl

$\Delta \hat{H}^{\circ}_{\text{c}}=0$ για O_2 , CO_2 , H_2O και άλλα προϊόντα καύσης

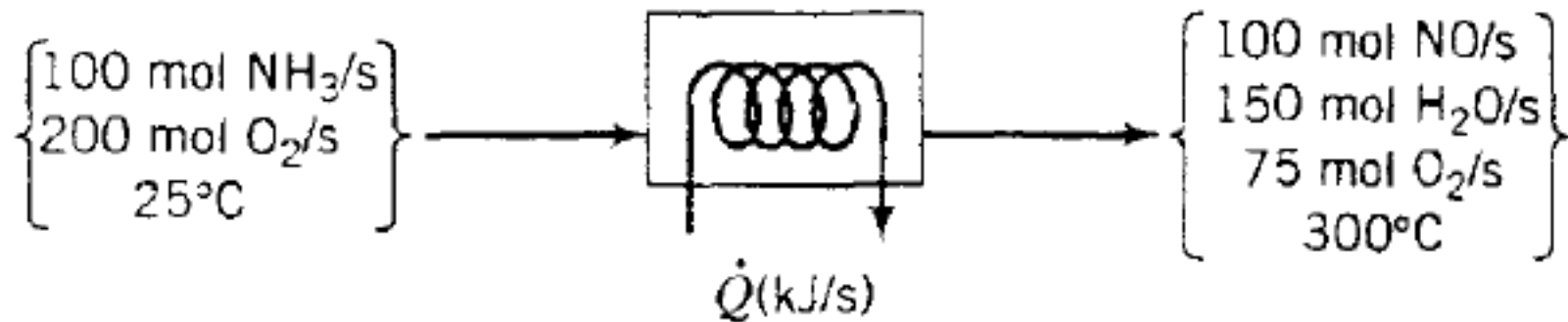
- Θερμογόνος (θερμαντική) δύναμη καυσίμου ορίζεται ως ($-\Delta \hat{H}_{\text{oc}}$)
- Ανώτερη θερμογόνος δύναμη (**ΑΘΔ**) Όταν το H_2O είναι σε υγρή μορφή (νερό)
- Κατώτερη (ή καθαρή) θερμογόνος δύναμη (**ΚΘΔ**) Όταν το H_2O είναι σε αέρια μορφή (ατμός)
- Η διαφορά τους είναι η θερμότητα εξατμίσσης του νερού

F 9.5.1

The standard heat of reaction for the oxidation of ammonia is given below:



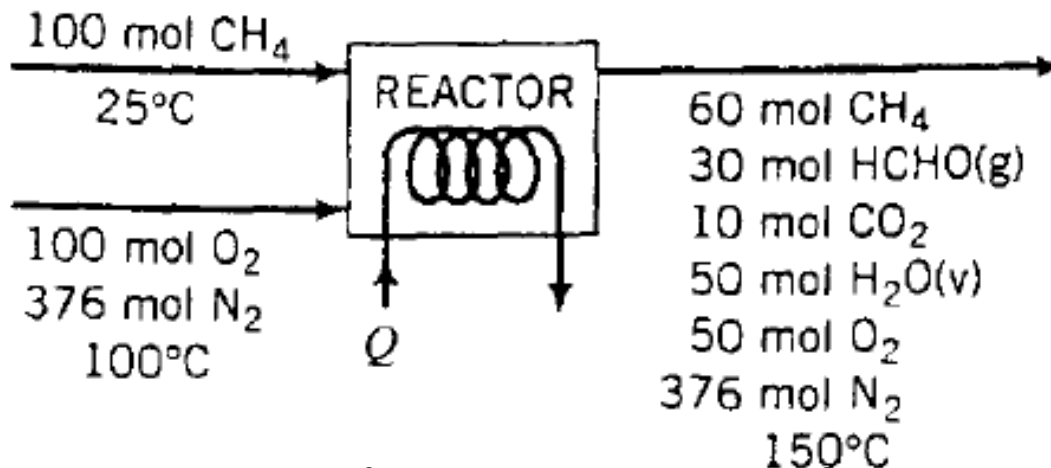
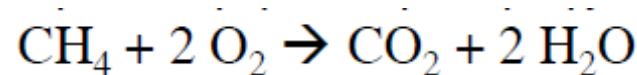
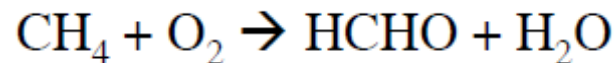
One hundred mol NH_3/s and 200 mol O_2/s at 25°C are fed into a reactor in which the ammonia is completely consumed. The product gas emerges at 300°C . Calculate the rate at which heat must be transferred to or from the reactor, assuming operation at approximately 1 atm.



$$Q = -19,700 \text{ KW}$$

F 9.5.2

100 mol/min CH_4 τροφοδοτούνται στον αντιδραστήρα στους 25 C μαζί με ρεύμα αέρα που περιέχει 100 mol O_2 /min στους 25 C. Το ρεύμα εξόδου στους 150 C περιλαμβάνει X mol CH_4 /min, 30 mol HCHO /min, 10 mol CO_2 /min, 50 mol H_2O /min, 50 mol O_2 /min, 376 mol N_2 /min. Η πίεση είναι 1 atm και ο αέρας περιέχει 21% O_2 και 79% N_2



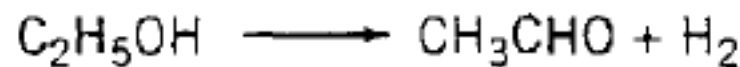
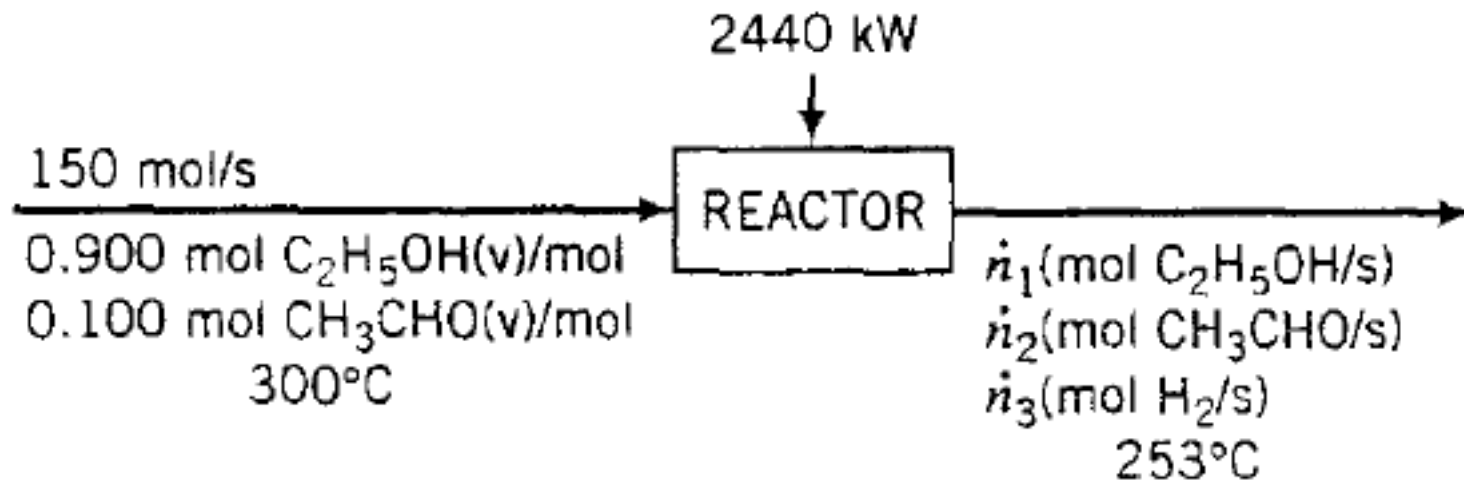
$$Q = -15,300 \text{ KJ}$$

Ζητούνται:

Με τι ρυθμό πρέπει να απάγεται θερμότητα από τον αντιδραστήρα; Οι πρότυπες θερμοότητες σχηματισμού (25°C, 1atm) των ενώσεων είναι: $\Delta H_f(\text{CH}_4) = -17.9 \text{ kcal/mol}$, $\Delta H_f(\text{HCHO}) = -27.7 \text{ kcal/mol}$, $\Delta H_{of}(\text{CO}_2) = -94.5 \text{ kcal/mol}$, $\Delta H_f(\text{H}_2\text{O}) = -57.8 \text{ kcal/mol}$

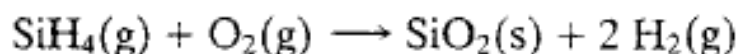
F 9.5.4

The ethanol dehydrogenation reaction of Example 9.5-3 is carried out with the feed entering at 300°C. The feed contains 90.0 mole% ethanol and the balance acetaldehyde and enters the reactor at a rate of 150 mol/s. To keep the temperature from dropping too much and thereby decreasing the reaction rate to an unacceptably low level, heat is transferred to the reactor. When the heat addition rate is 2440 kW, the outlet temperature is 253°C. Calculate the fractional conversion of ethanol achieved in the reactor.



$$X=0.319$$

In the production of many microelectronic devices, continuous **chemical vapor deposition** (CVD) processes are used to deposit thin and exceptionally uniform silicon dioxide films on silicon wafers. One CVD process involves the reaction between silane and oxygen at a very low pressure.



F 9.12

The feed gas, which contains oxygen and silane in a ratio 8.00 mol O_2 /mol SiH_4 , enters the reactor at 298 K and 3.00 torr absolute. The reaction products emerge at 1375 K and 3.00 torr absolute. Essentially all of the silane in the feed is consumed.

- (a) Taking a basis of 1 m^3 of feed gas, calculate the moles of each component of the feed and product mixtures and the extent of reaction, ξ (mol).
- (b) Calculate the standard heat of the silane oxidation reaction (kJ/mol). Then, taking the feed and product species at 298 K (25°C) as references, prepare an inlet–outlet enthalpy table and calculate and fill in the component amounts (mol) and specific enthalpies (kJ/mol). (See Example 9.5-1.)

Data

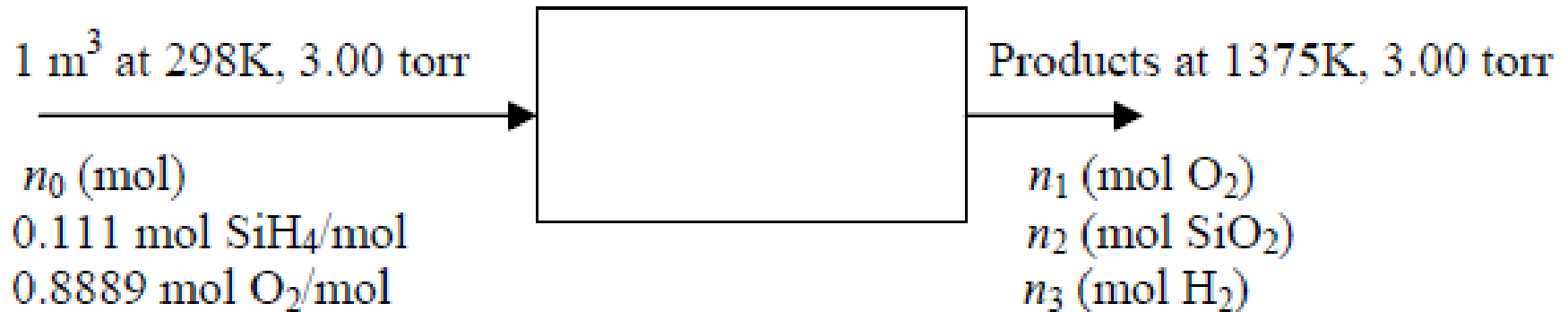
$$(\Delta \hat{H}_f^\circ)_{\text{SiH}_4(\text{g})} = -61.9 \text{ kJ/mol}, \quad (\Delta \hat{H}_f^\circ)_{\text{SiO}_2(\text{s})} = -851 \text{ kJ/mol}$$

$$(C_p)_{\text{SiH}_4(\text{g})} [\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})] = 0.01118 + 12.2 \times 10^{-5}T - 5.548 \times 10^{-8}T^2 + 6.84 \times 10^{-12}T^3$$

$$(C_p)_{\text{SiO}_2(\text{s})} [\text{kJ}/(\text{mol}\cdot\text{K})] = 0.04548 + 3.646 \times 10^{-5}T - 1.009 \times 10^3/T^2$$

The temperatures in the formulas for C_p are in kelvin.

- (c) Calculate the heat (kJ) that must be transferred to or from the reactor (state which it is). Then determine the required heat transfer rate (kW) required for a reactor feed of 27.5 m^3/h .

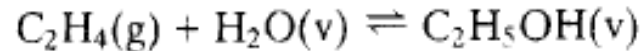


(a) Σύσταση τροφοδοσίας, προϊόντων $\xi=???$

(b) $Q=???$, 27.5 m³/h

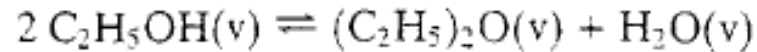
$$Q = -0.0536 \text{ KW}$$

Ethanol is produced commercially by the hydration of ethylene:



F 9.21

Some of the product is converted to diethyl ether in the undesired side reaction



The combined feed to the reactor contains 53.7 mole% C_2H_4 , 36.7% H_2O and the balance nitrogen which enters the reactor at 310°C . The reactor operates isothermally at 310°C . An ethylene conversion of 5% is achieved, and the yield of ethanol (moles ethanol produced/mole ethylene consumed) is 0.900.

Data for Diethyl Ether

$$\Delta\hat{H}_f^\circ = -272.8 \text{ kJ/mol for the liquid}$$

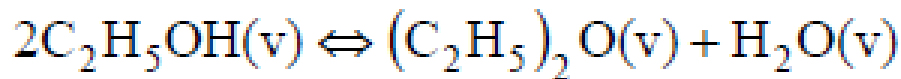
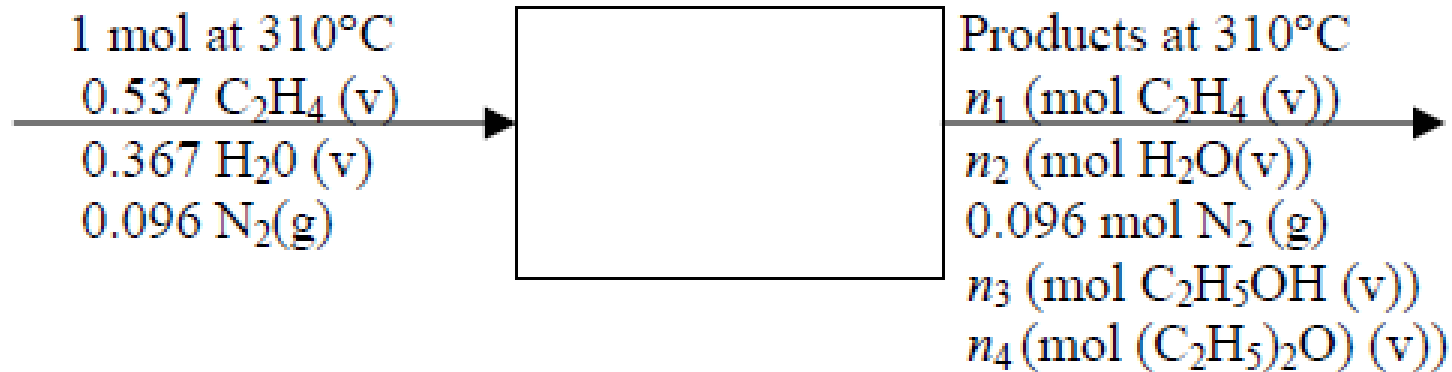
$$\Delta\hat{H}_v = 26.05 \text{ kJ/mol (assume independent of } T)$$

$$C_p[\text{kJ}/(\text{mol}\cdot^\circ\text{C})] = 0.08945 + 40.33 \times 10^{-5}T(^\circ\text{C}) - 2.244 \times 10^{-7}T^2$$

- Calculate the reactor heating or cooling requirement in kJ/mol feed.
- Why would the reactor be designed to yield such a low conversion of ethylene? What processing step (or steps) would probably follow the reactor in a commercial implementation of this process?

Basis: 1 mol feed

F 9.21



$$Q = -1.3 \text{ KJ}$$

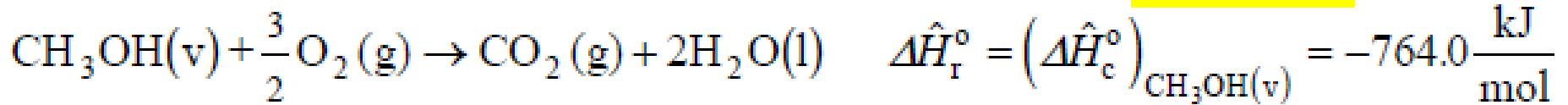
Αυξάνω την απόδοση με διαχωρισμό αντιδρώντων που δεν αντέδρασαν και ανακύκλωση αιθ.

F 9.54

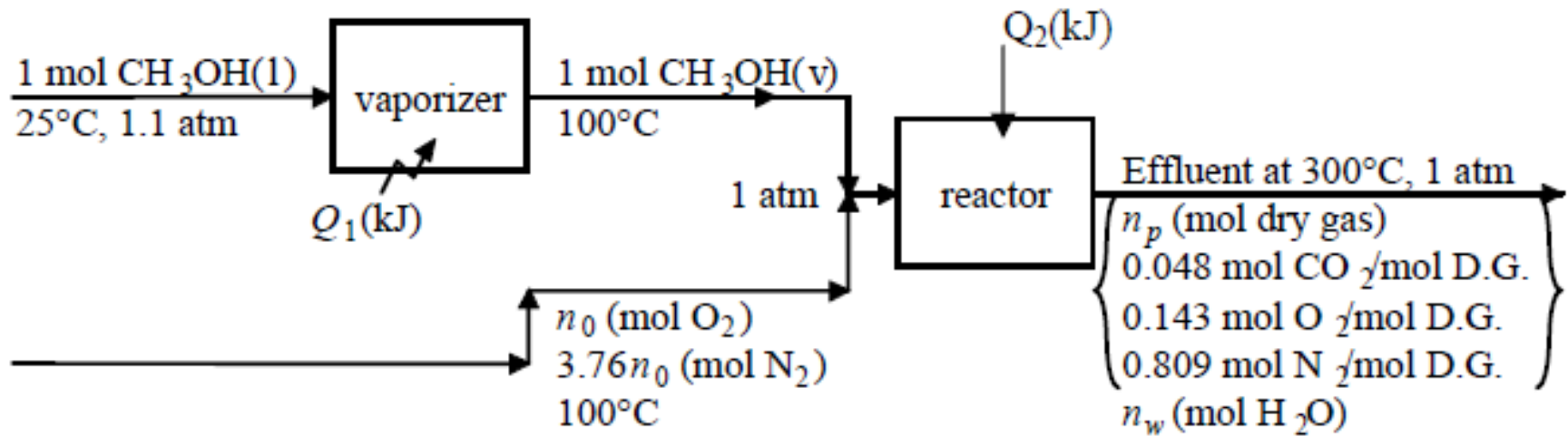
Methanol vapor is burned with excess air in a catalytic combustion chamber. Liquid methanol initially at 25°C is vaporized at 1.1 atm and heated to 100°C ; the vapor is mixed with air that has been preheated to 100°C , and the combined stream is fed to the reactor at 100°C and 1 atm. The reactor effluent emerges at 300°C and 1 atm. Analysis of the product gas yields a dry-basis composition of 4.8% CO_2 , 14.3% O_2 , and 80.9% N_2 .

- (a) Calculate the percentage excess air supplied and the dew point of the product gas.
- (b) Taking a basis of 1 g-mole of methanol burned, calculate the heat (kJ) needed to vaporize and heat the methanol feed, and the heat (kJ) that must be transferred from the reactor.

F 9.54

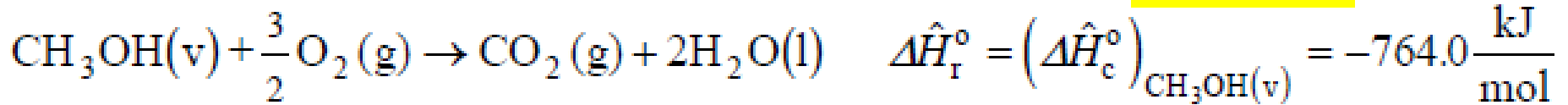


Basis : 1 mol CH₃OH fed and burned

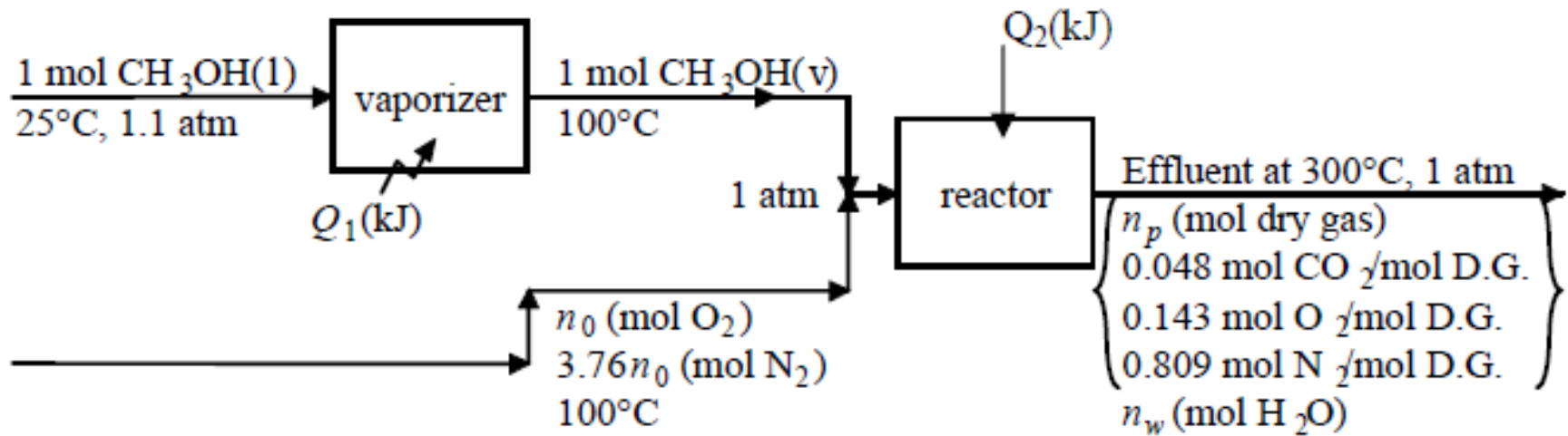


- Περίσσεια αέρα? (200%) Σημείο δρόσου του παραγόμενου αερίου (Τδρόσου = 44.1 °C)
- Με βάση 1gmol μεθανόλης, Q=? Εξατμιστήρας, και Αντιδραστήρας?
Q₁, 2=? 40.33, 534 KJ

F 9.54



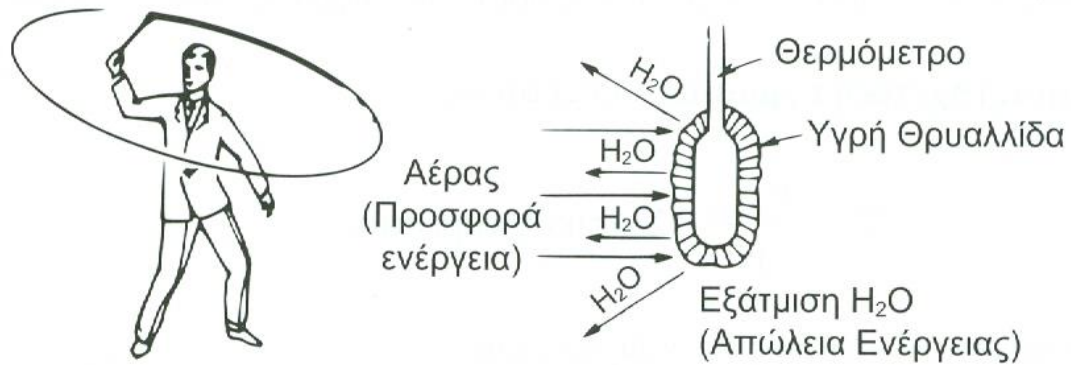
Basis : 1 mol CH₃OH fed and burned



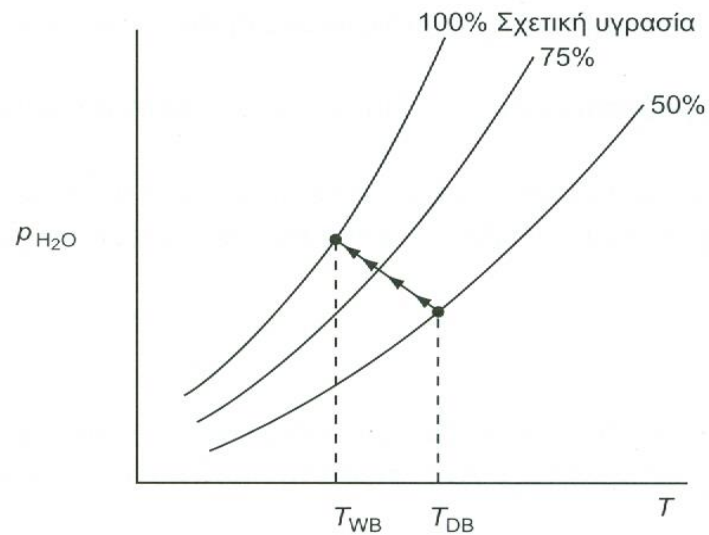
- Περίσσεια αέρα? (200%) Σημείο δρόσου του παραγόμενου αερίου (Τδρόσου = 44.1 °C)
- Με βάση 1gmol μεθανόλης, Q_1 =? Εξατμιστήρας, και Αντιδραστήρας?
 Q_2 =? 40.33, 534 KJ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ – ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

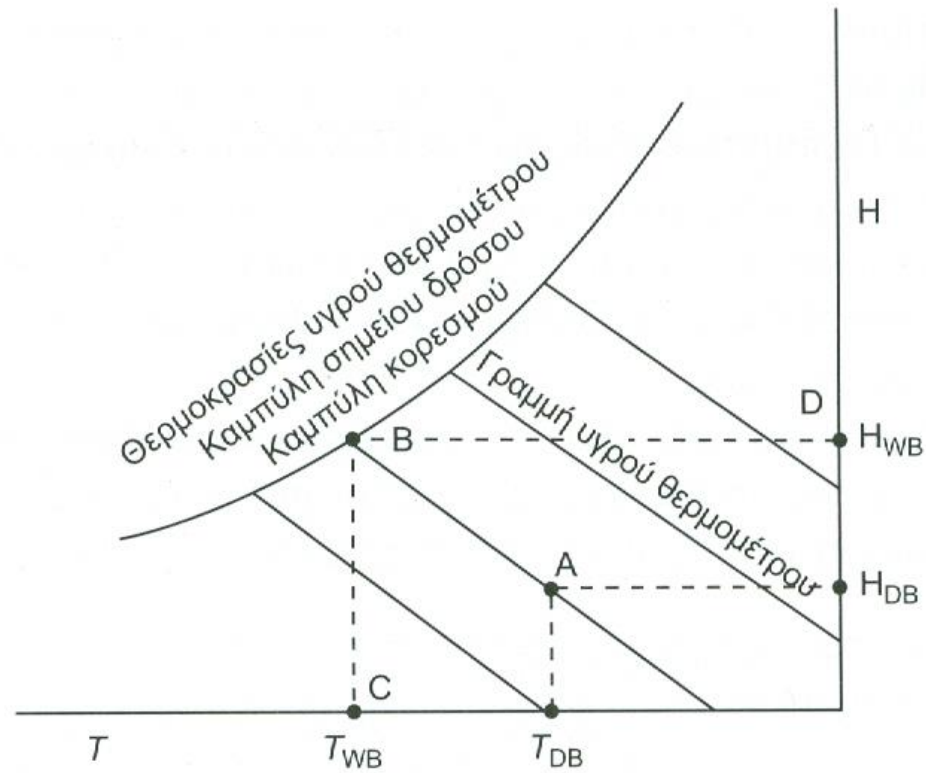
ΨΥΧΡΟΜΕΤΡΟ ΣΦΕΝΔΟΝΗΣ



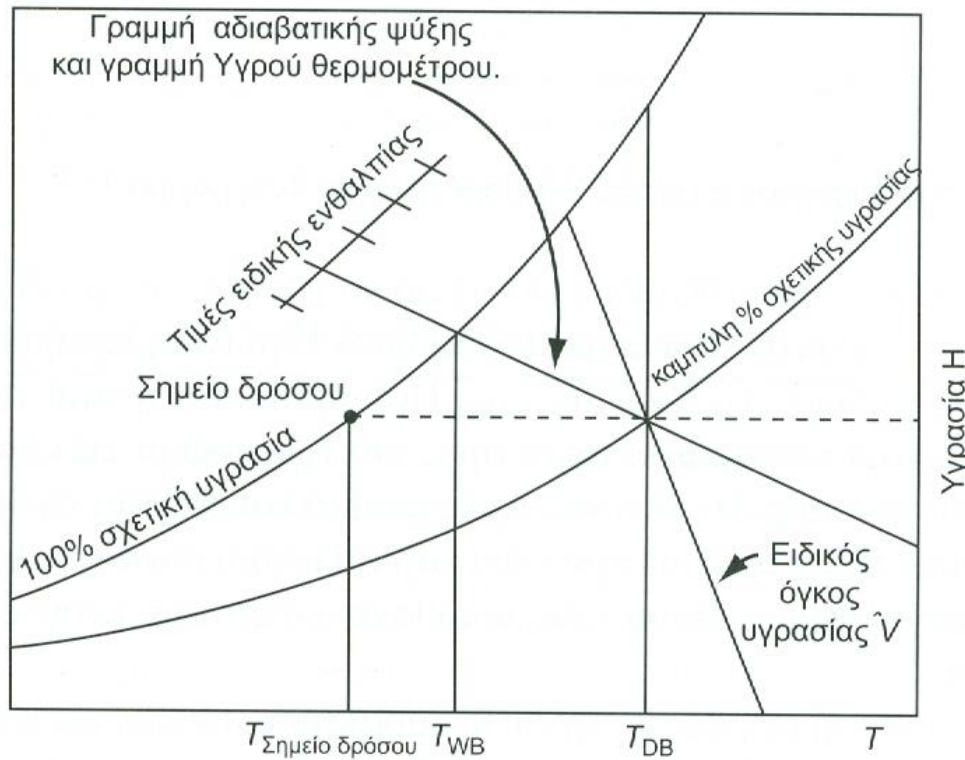
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΞΗΡΟΥ, T_{DB} , ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΓΡΟΥ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟΥ T_{WB}



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

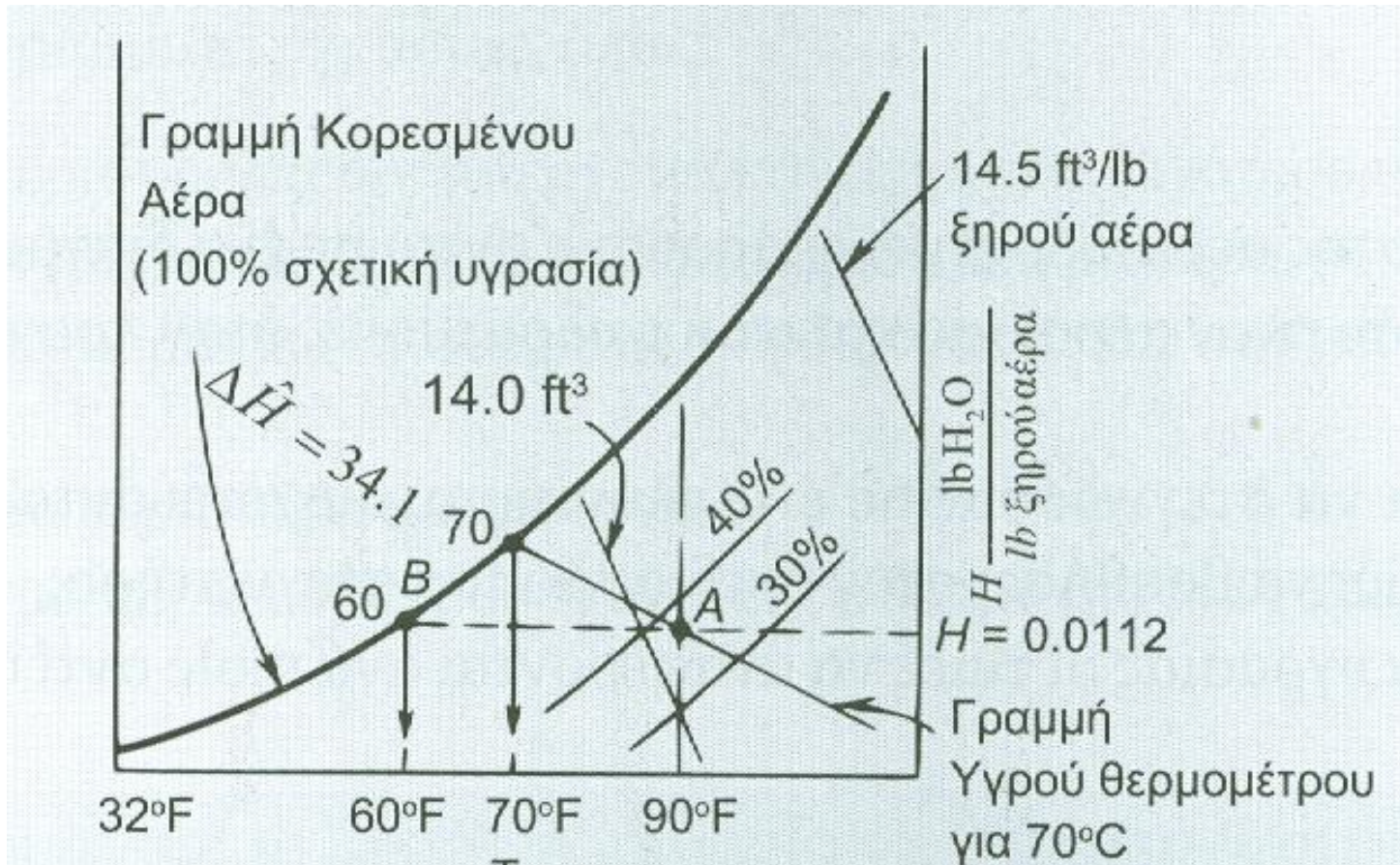


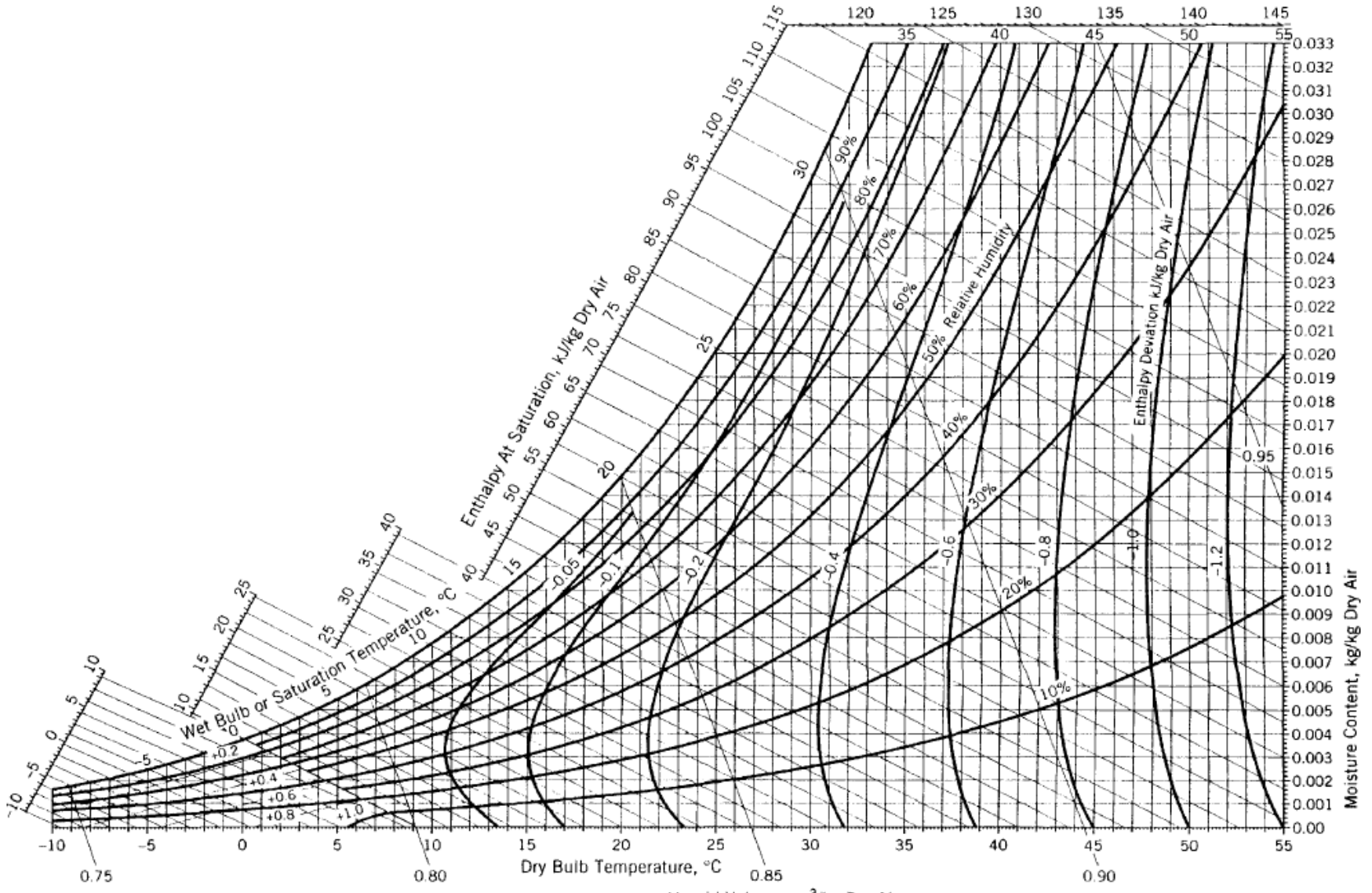
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

H-11.2





Below 0°C Properties and Enthalpy Deviation Lines Are For Ice

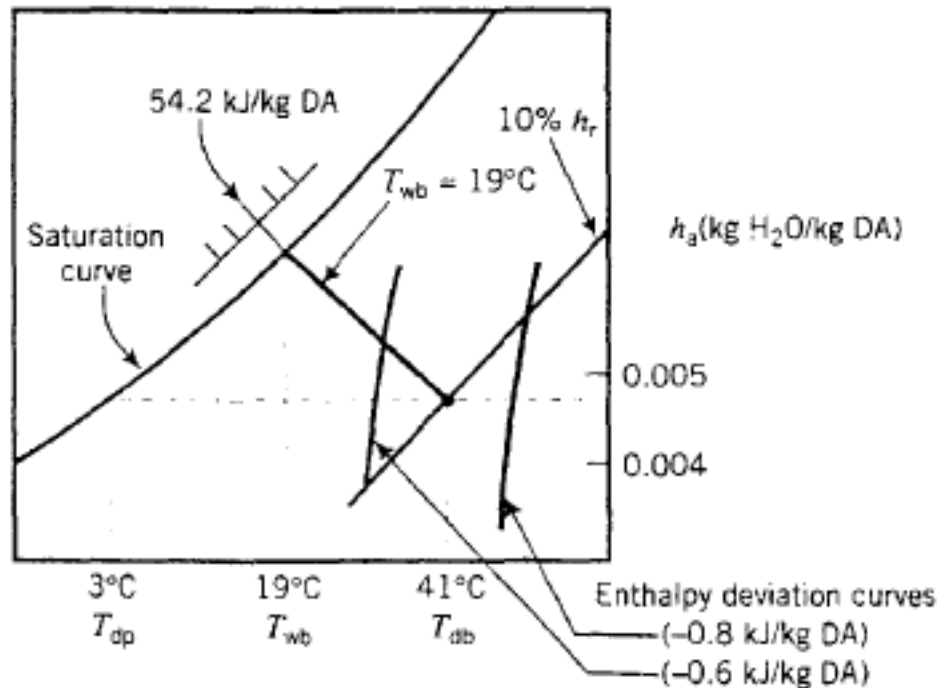
Humid Volume, m³/kg Dry Air

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

F-8.4.5

Προσδιορίστε την απόλυτη υγρασία, τη θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου, όγκο υγρασίας, την ειδική ενθαλπία υγρού αέρα στους 41 °C, και 10% σχετική υγρασία. Το ποσό του αέρα είναι 150 m³.

Από το διάγραμμα



$h_a \approx 0.0048$ kg νερού/Kg ΞΑ

$T_{wb} = 19^\circ\text{C}$

$V(\text{m}^3/\text{Kg}\Xi\text{A}) \approx 0.897$

$T_d = 3^\circ\text{C}$

Για $T_{wb} = 19^\circ\text{C}$ η ειδική ενθαλπία είναι 54.2 KJ/KgΞα

Διόρθωση

$H = 54.2 - 0.7 = 53.5$ KJ/KgΞα

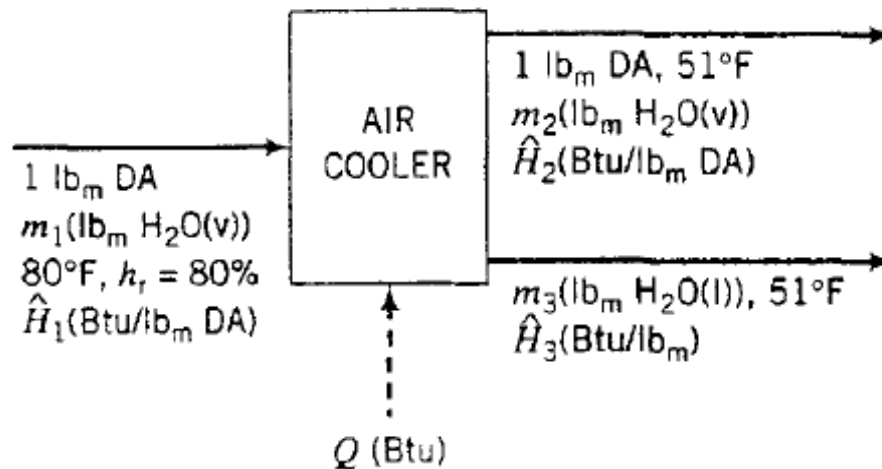
Ο υγρός όγκος είναι 0.897 m³/kgΞΑ

$150 * 0.0048 / 0.897 = 0.803$ Kg νερού

Κλιματιστικό

F-8.4.6

- Αέρας στους 80°F , και σχετική υγρασία 80% ψύχεται στους 51°F . Υπολογίστε το νερό που συμπυκνώνεται, τη θερμότητα που απαιτείται για να παραληφθούν $1000 \text{ ft}^3/\text{min}$ υγρού αέρα. Η βάση υπολογισμού να είναι 1 lb_m ξηρού αέρα.



2016

Αέρας στους 50°C και με 10% σχετική υγρασία εισάγεται σε ξηραντήρα με παροχή $11.3\text{ m}^3/\text{min}$ και εξέρχεται **κορεσμένος**. Ο ξηραντήρας λειτουργεί **αδιαβατικά**.

1. Υπολογίστε την απόλυτη υγρασία και τον όγκο υγρασίας του αέρα που εισέρχεται στον ξηραντήρα.
2. Υπολογίστε τη θερμοκρασία και την παροχή εξόδου του ξηρού αέρα (kg/min).
3. Υπολογίστε τον ρυθμό (kg/min) που εξατμίζεται το νερό στον ξηραντήρα.