

Ύγρανση και Αφύγρανση

# Ψυχομετρία

η μελέτη των ιδιοτήτων του υγρού αέρα  
δηλαδή του μίγματος αέρα-ατμού-νερού.

Ένα βασικό πρόβλημα:

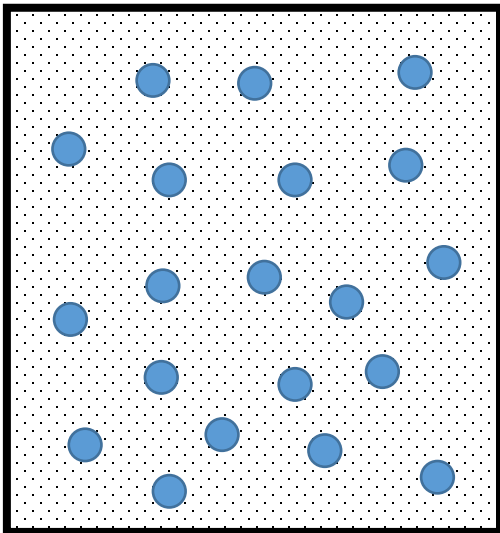
Δεδομένων των

$P$  (bar) Πίεση

$T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) Θερμοκρασία

$\gamma$  (kg/kg ξβ) Υγρασία (ολική)

να υπολογιστούν τα:



$\tau\chi$

Ενεργότητα νερού

Ενθαλπία μίγματος

Υγρασία σε υγρό

Υγρασία σε ατμό

Υγρασία κορεσμού

Πίεση και Θερμοκρασία δρόσου

Θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου

Ενθαλπία

κλπ

## Υγρασία Υγρού Αέρα $Y$ (kg/kg ξα)

$$Y = Y_L + Y_V$$

$$Y_V = \min[Y, Y_S]$$

$Y$  = συνολική υγρασία

$Y_L$  = υγρασία σε υγρή μορφή

$Y_V$  = υγρασία σε αέρια μορφή

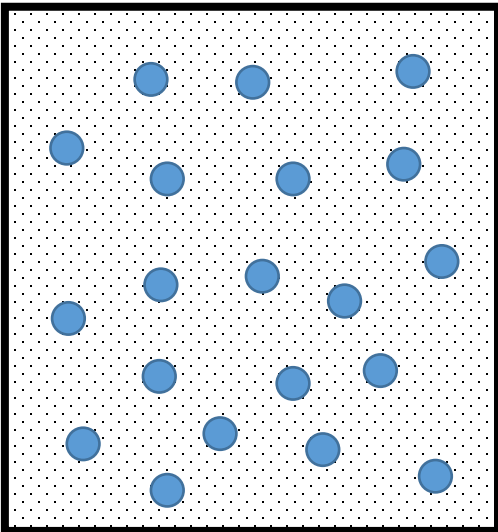
$Y_S$  = υγρασία κορεσμού

## Κατάσταση Υγρού Αέρα

Ακόρεστος  $Y < Y_S \Rightarrow Y_V = Y$  &  $Y_L = 0$

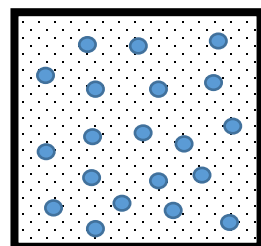
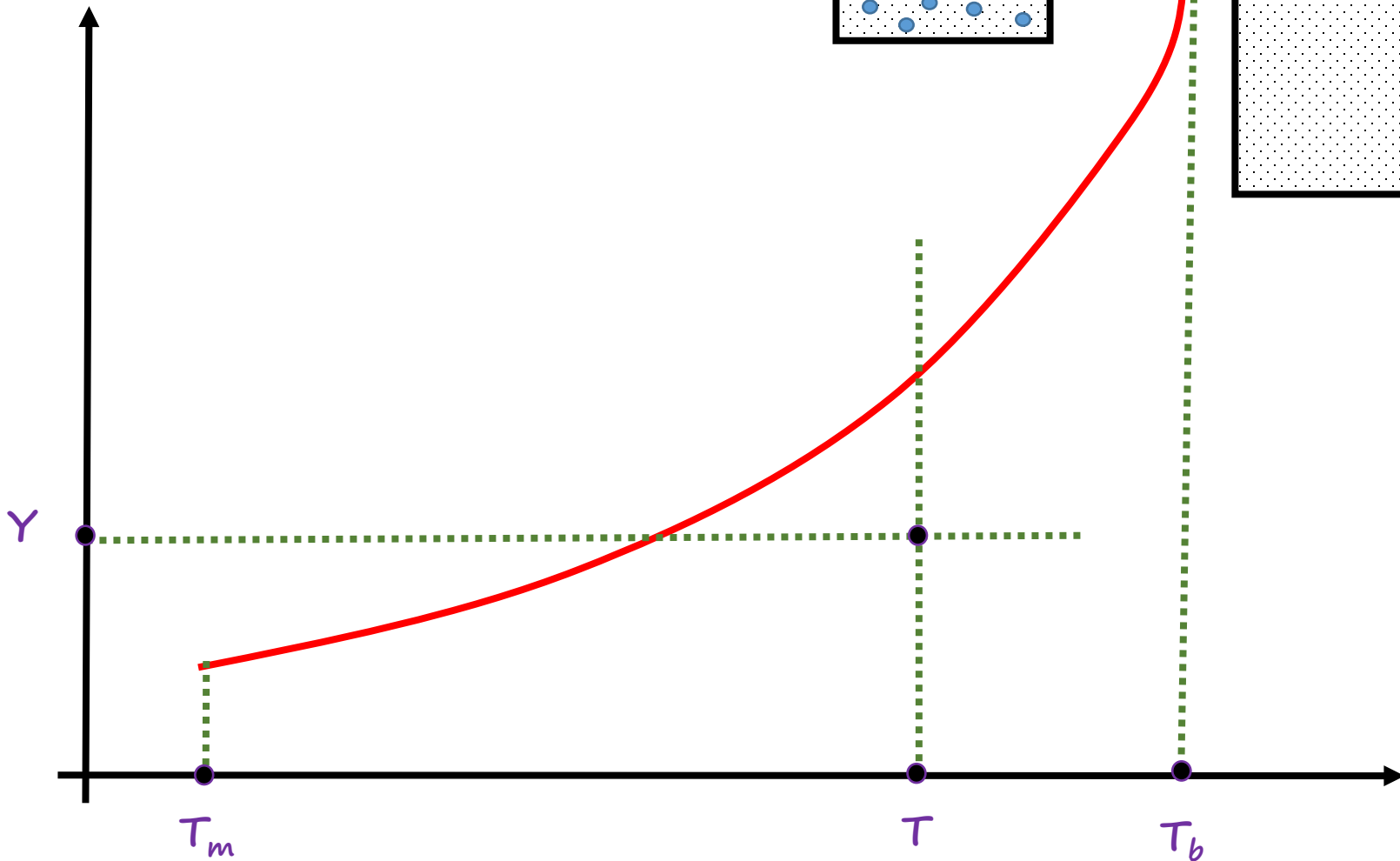
Κορεσμένος  $Y = Y_S \Rightarrow Y_V = Y_S$  &  $Y_L = 0$

Υπέρκορος  $Y > Y_S \Rightarrow Y_V = Y_S$  &  $Y_L = Y - Y_V$

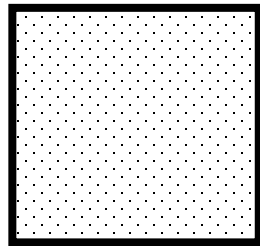


Ψυχομετρικός Χάρτης  
να δούμε πρώτα τα φαινόμενα  
και μετά τις εξισώσεις

Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)



Καμπύλη Κορεσμού  
για δεδομένη Πίεση

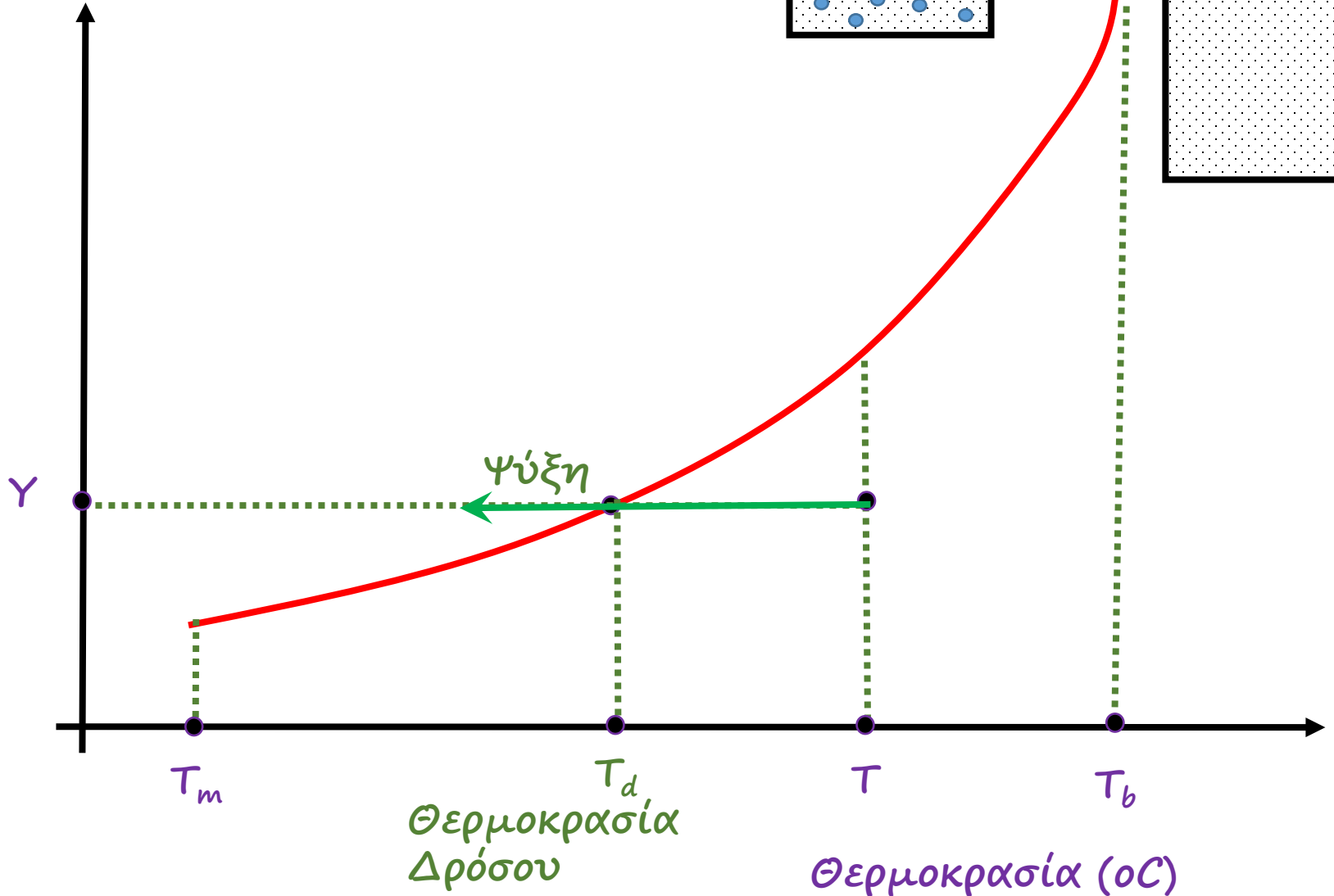


Θερμοκρασία (οC)

# Ψυχομετρικός Χάρτης

Ορισμός της Θερμοκρασίας Δρόσου

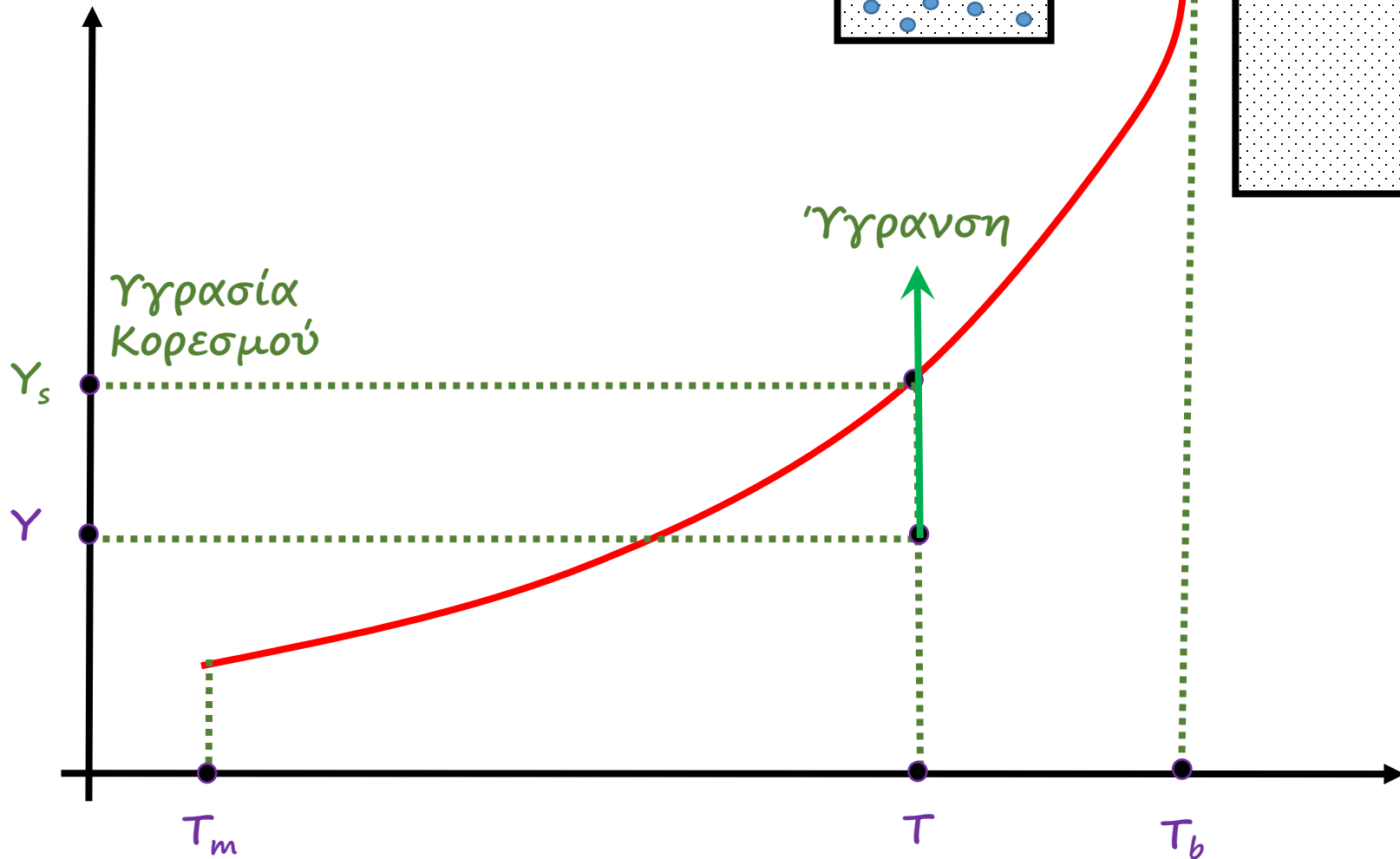
Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)



# Ψυχομετρικός Χάρτης

## Ορισμός της Υγρασίας Κορεσμού

Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)



Υγρανση

Καμπύλη Κορεσμού για δεδομένη Πίεση

Υγρασία Κορεσμού

$Y_s$

$Y$

$T_m$

$T$

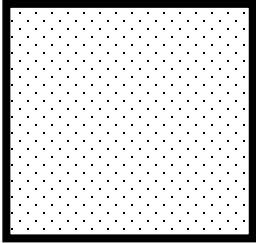
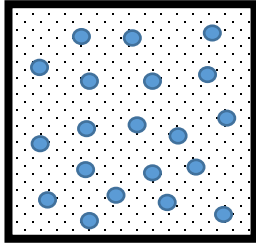
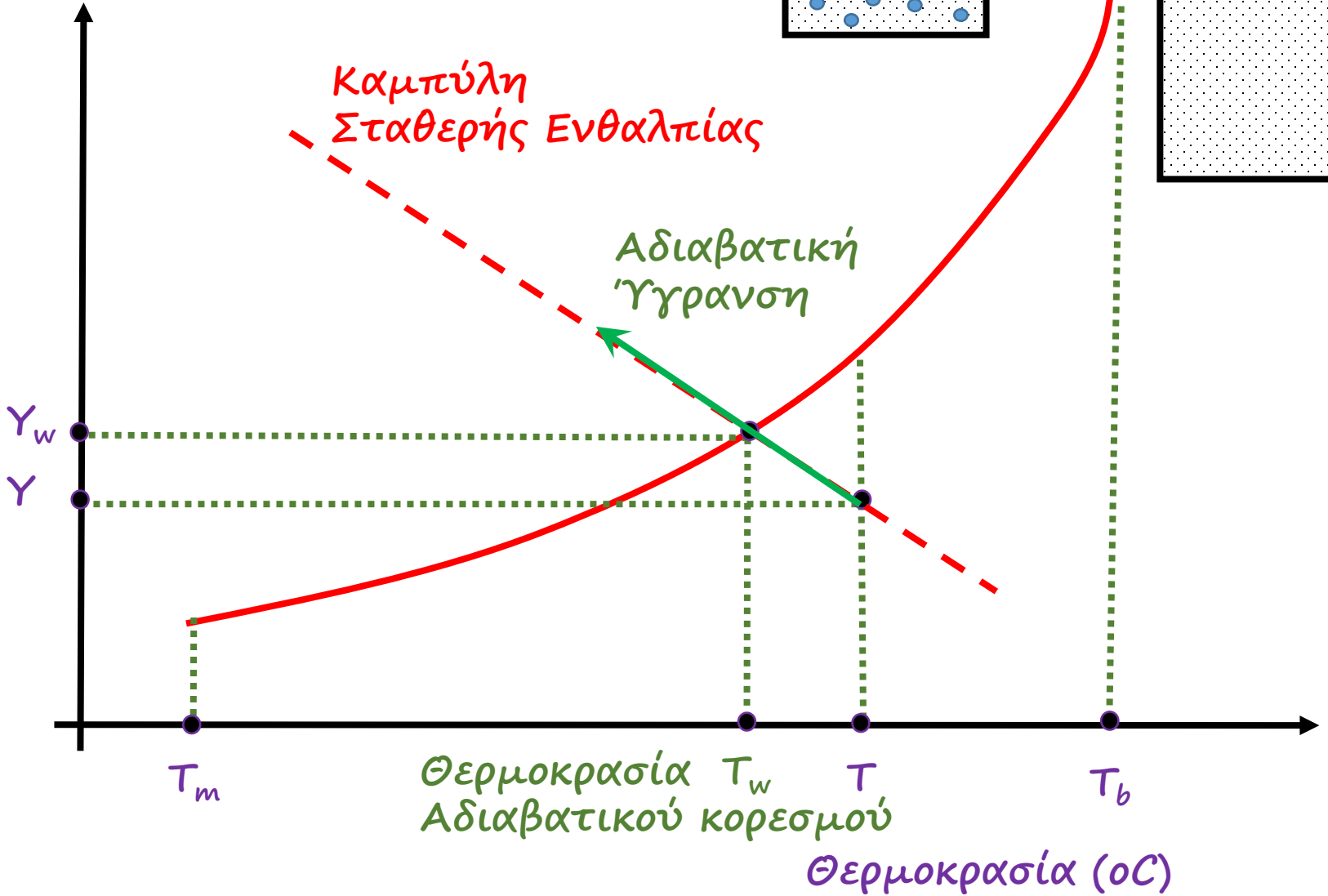
$T_b$

Θερμοκρασία (οC)

# Ψυχομετρικός Χάρτης

Ορισμός της Θερμοκρασίας  
Αδιαβατικού Κορεσμού

Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)



# Ψυχομετρικός Χάρτης

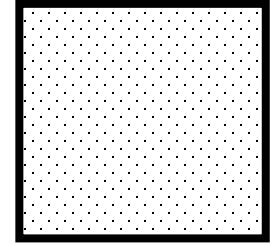
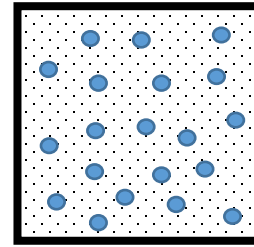
## Θερμοκρασία Υγρού Θερμομέτρου

Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)

Για μίγματα αέρα-νερού  
η θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου  
είναι ίση  
με τη θερμοκρασία Αδιαβατικού κορεσμού

Καμπύλη  
Σταθερής Θερμοκρασίας  
Υγρού Θερμομέτρου

Καμπύλη Κορεσμού  
για δεδομένη Πίεση



$Y_w$

$Y$

$T_m$

Θερμοκρασία  
Υγρού θερμομέτρου

$T_w$

$T$

$T_b$

Θερμοκρασία (οC)

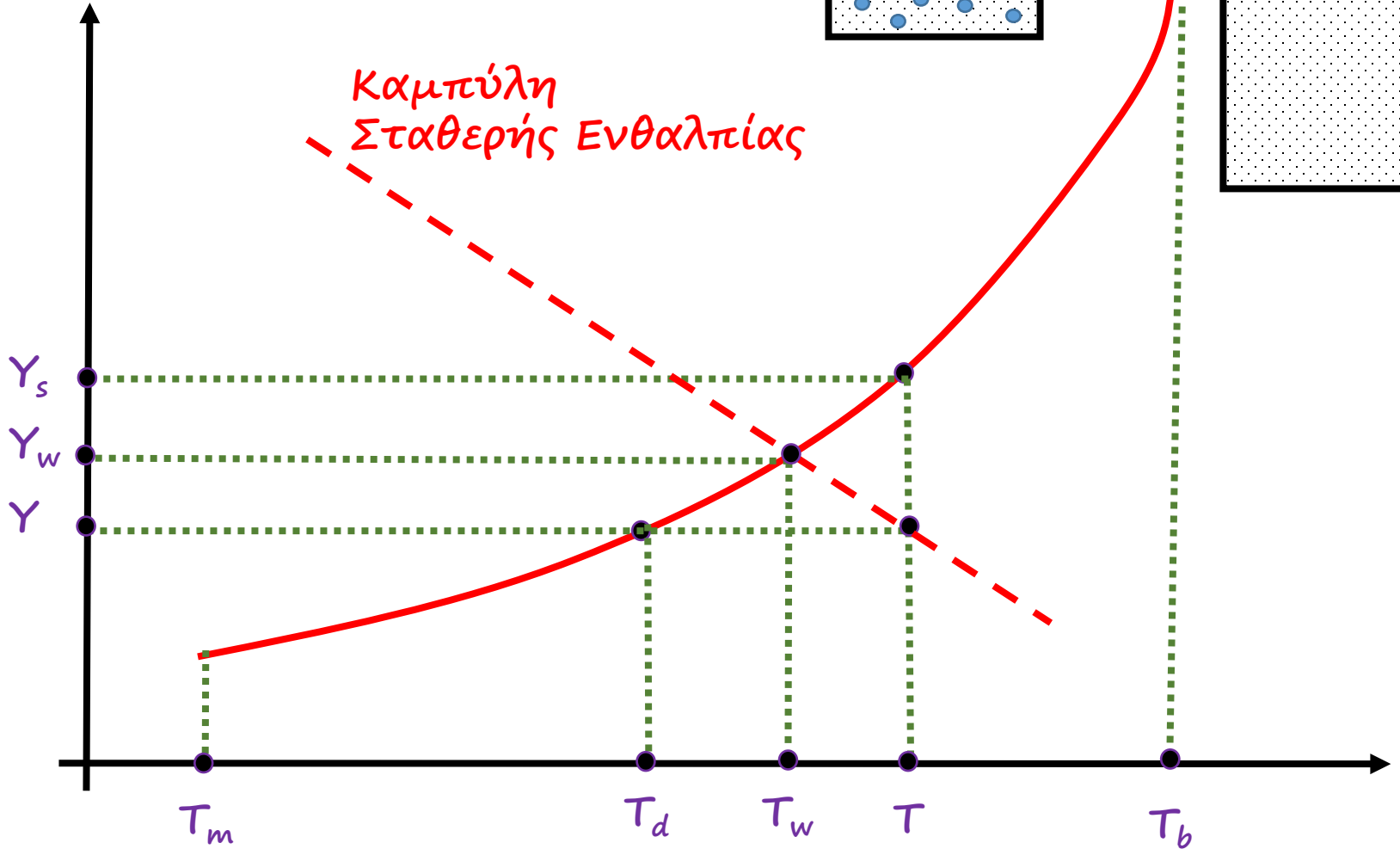




# Ψυχομετρικός Χάρτης

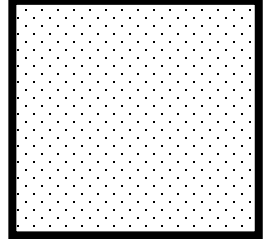
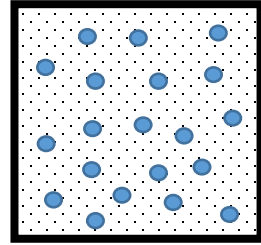
Εδώ όλα μαζί

Ολική Υγρασία (kg/kg ξβ)



Καμπύλη Σταθερής Ενθαλπίας

Καμπύλη Κορεσμού για δεδομένη Πίεση



Θερμοκρασία (οC)

## Ενθαλπία Υγρού Αέρα

$$H = C_{PA}T + Y_V (\Delta H_0 + C_{PV}T) + Y_L C_{PL} T$$

(Θερμοκρασία αναφοράς 0°C)

$$C_{PA} = 1.00 \text{ kJ/kgK}$$

$$C_{PV} = 1.88 \text{ kJ/kgK}$$

$$C_{PL} = 4.18 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta H_0 = 2.50 \text{ MJ/kg}$$

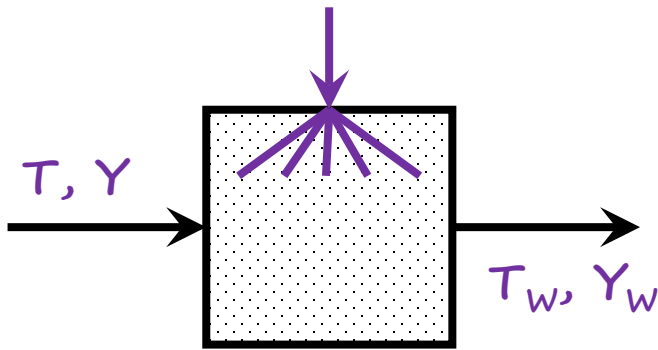
Παρεμπιπτόντως:

Επίδραση της θερμοκρασίας  
στη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

$$\Delta H_s = \Delta H_0 - (C_{PL} - C_{PV}) T$$

Αργότερα θα δούμε μία καλύτερη εξίσωση...

# Αδιαβατικός Κορεσμός Αέρα

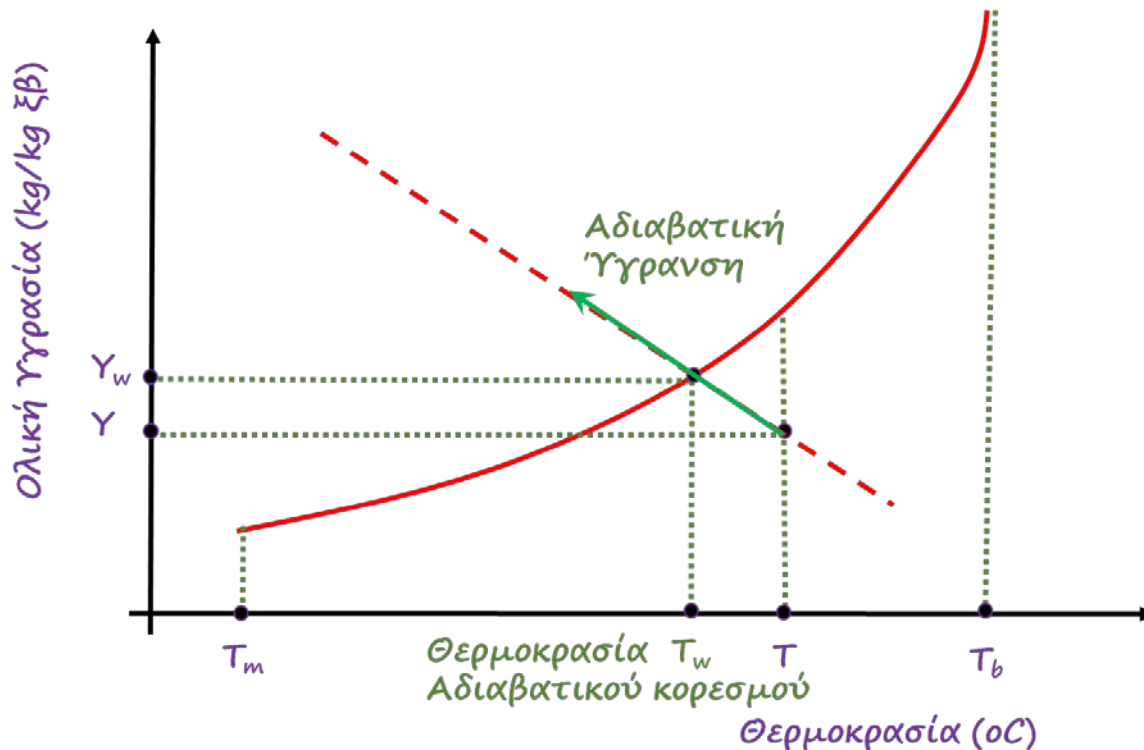


Αδιαβατική Θερμοκρασία Κορεσμού

$$(Y - Y_w) / (T - T_w) = -C_p / \Delta H_s$$

$$C_p = C_{pA} + Y C_{pV}$$

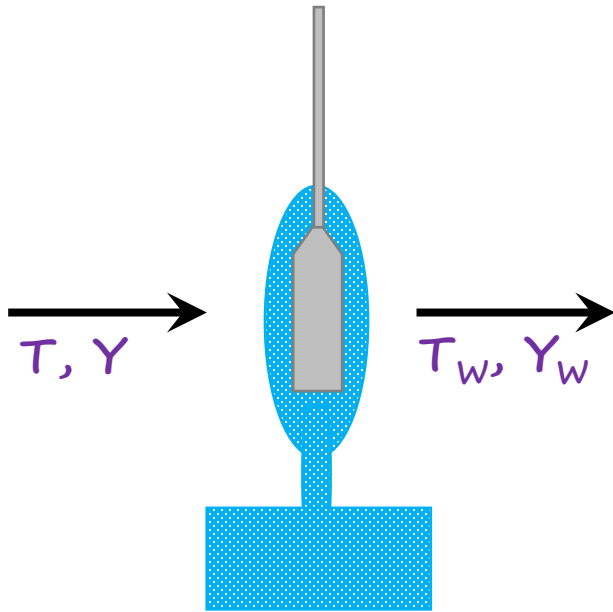
$$\Delta H_s = \Delta H_0 - (C_{pL} - C_{pV}) T$$



$$P_{sw} = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T_w)]$$

$$Y_w = m / (P / P_w - 1)$$

# Θερμοκρασία Υγρού Θερμομέτρου



Εδώ τα πράγματα είναι διαφορετικά  
αλλά τελικά για μίγματα αέρα-νερού  
(ναι συμπτωματικά, σχέση Lewis κλπ)  
καταλήγουν στις ίδιες εξισώσεις με αυτές  
του αδιαβατικού κορεσμού...

# Ψυχομετρικό Μαθηματικό Μοντέλο

(1) Νόμος του Dalton

$$P = P_A + P_V$$

(2) Καταστατικές εξισώσεις ιδανικών αερίων

$$P_A V = (m_A/M_A) R T$$

$$P_V V = (m_V/M_V) R T$$

(3) Εξίσωση Antoine

$$P_S = \text{Exp}[a_1 - a_2/(a_3 + T)]$$

(4) Ορισμοί (Απόλυτη και Σχετική Υγρασία (ενεργότητα νερού),  
λόγος Μοριακών Βαρών)

$$Y_V = m_V / m_A$$

$$a_w = P_V / P_S$$

$$m = M_W / M_A$$

$$P_V \leq P_S \rightarrow a_w \leq 1$$

## Η Ψυχομετρική Εξίσωση (ΨΕ):

(1)-(4) →

$$Y_v = m / (P / (a_w P_s) - 1)$$

$$P_s = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)]$$

Δηλαδή:

Η υγρασία του αέρα (υπό μορφή ατμού)  
συναρτῆσει της Πίεσης και της Θερμοκρασίας

Γενίκευση:

Το μίγμα εκφράζεται μέσω των  $m$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$   
πχ...

# Χαρακτηριστικές Υγρασίες, Θερμοκρασίες, Πιέσεις

Υγρασία κορεσμού:

$$\Psi E, a_w=1, Y_v=Y_s \rightarrow Y_s = m / (P / \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)] - 1)$$

Θερμοκρασία δρόσου:

$$\Psi E, Y_v=Y_s, T=T_d \rightarrow T_d = a_2 / (a_1 - \text{Ln}[Y_s P / (m + Y_s)]) - a_3$$

Πίεση δρόσου

$$\Psi E, Y_v=Y_s, P=P_d \rightarrow P_d = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)] (1 + m / Y_s)$$

Παρεμπιπτόντως: Θερμοκρασία βρασμού:

$$\text{Antoine} \rightarrow T_b = -a_3 + a_2 / (a_1 - \text{Ln} P)$$

$$Y_v = m / (P / (a_w P_s) - 1)$$

$$P_s = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)]$$

## Ψυχομετρικοί Χάρτες

Έχοντας στα χέρια μας το ψυχομετρικό μαθηματικό μοντέλο μπορούμε να κάνουμε όσους ψυχομετρικούς χάρτες θέλουμε.

...και μην ξεχνάτε στο Excel:

Data → What-If → Table...

→ Row input cell: ... & Column input cell: ...

Insert → Charts → Scatter



Ας κάνουμε μερικούς:

→ (I) Ο κλασικός:

Για ατμοσφαιρική πίεση να ζωγραφίσετε την υγρασία συναρτήσει της θερμοκρασίας παραμετρικά για διάφορες σχετικές υγρασίες.

→ (II) Ο κλασικός σε διάφορες πιέσεις:

Να ζωγραφίσετε την υγρασία κορεσμού συναρτήσει της θερμοκρασίας παραμετρικά για διάφορες πιέσεις.

→ (III) Ενθαλπία υγρού αέρα:

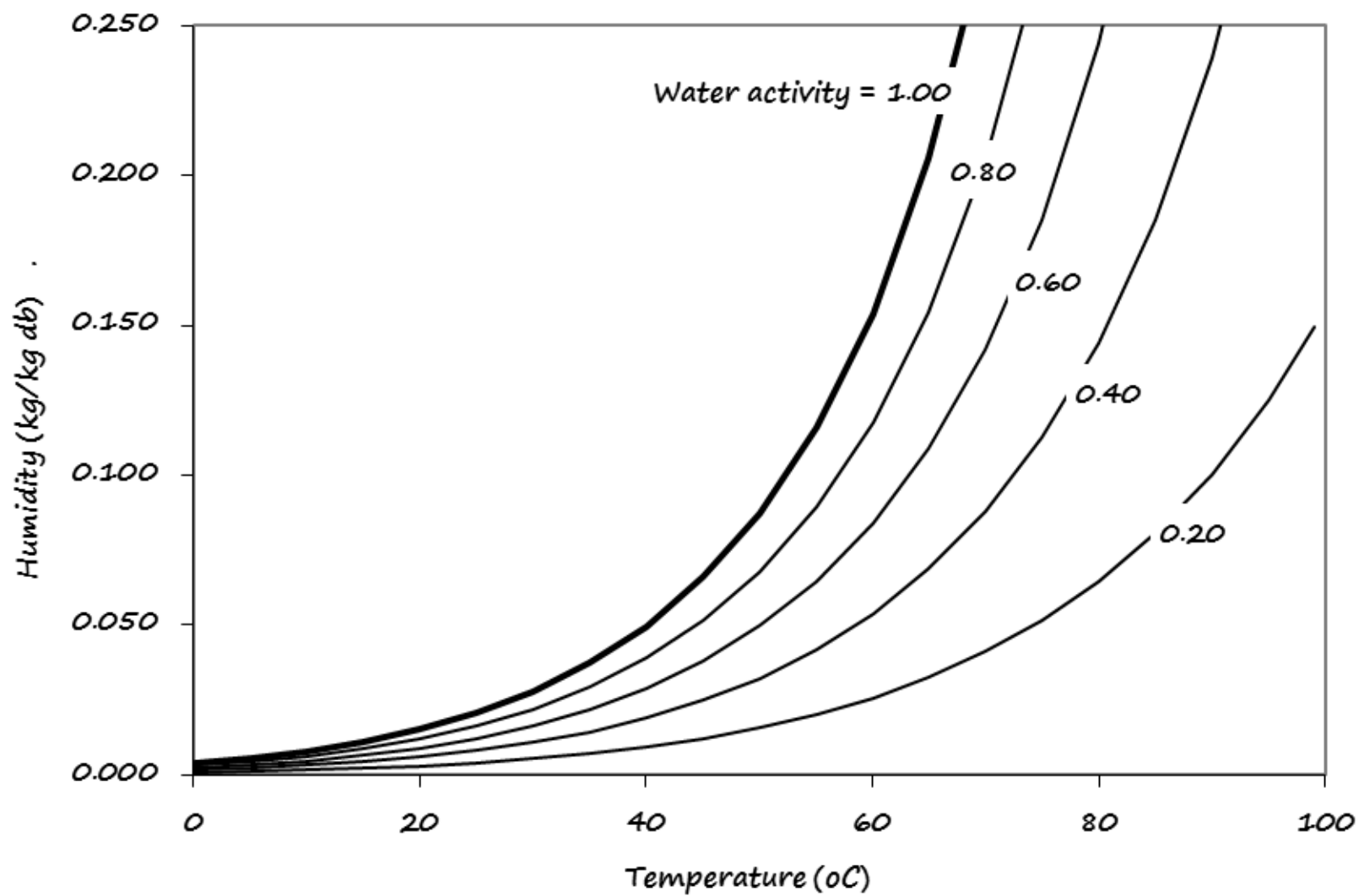
Να ζωγραφίσετε την Ενθαλπία συναρτήσει της θερμοκρασίας Παραμετρικά για διάφορες υγρασίες.

→ (1) Ο κλασικός:

Για ατμοσφαιρική πίεση να ζωγραφίσετε την υγρασία συναρτήσει της θερμοκρασίας παραμετρικά για διάφορες σχετικές υγρασίες.

$$P_S = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)] \rightarrow P_S$$

$$Y_V = m / (P / (a_w P_S) - 1) \rightarrow Y_V$$



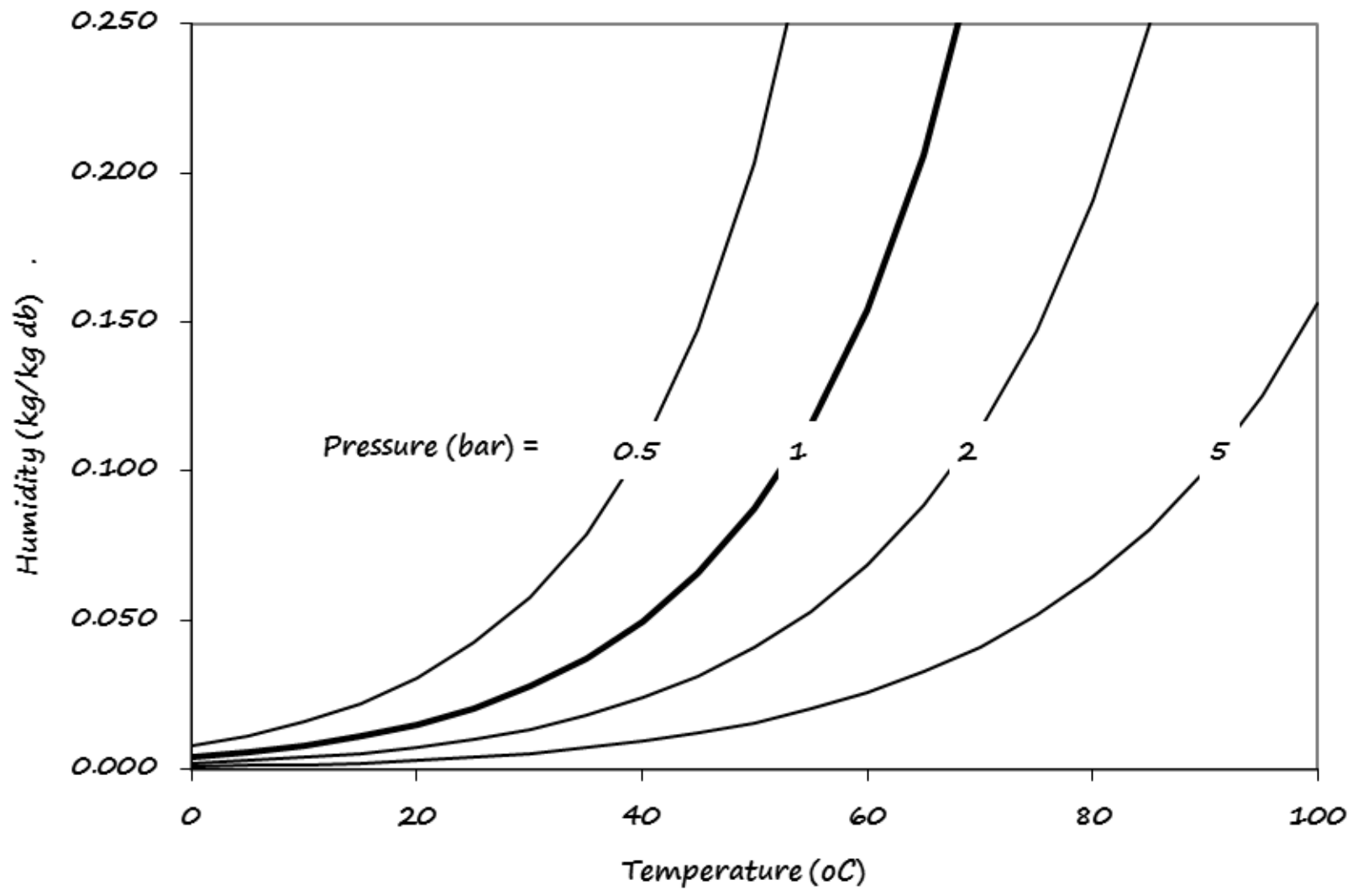
→ (II) Ο κλασικός σε διάφορες πιέσεις:

Να ζωγραφίσετε

την υγρασία κορεσμού συναρτήσει της θερμοκρασίας  
παραμετρικά για διάφορες πιέσεις.

$$P_s = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)] \rightarrow P_s$$

$$Y_s = m / (P / P_s - 1) \rightarrow Y_s$$



→ (III) Ενθαλπία υγρού αέρα:

Να ζωγραφίσετε

την Ενθαλπία συναρτήσει της θερμοκρασίας

Παραμετρικά για διάφορες υγρασίες.

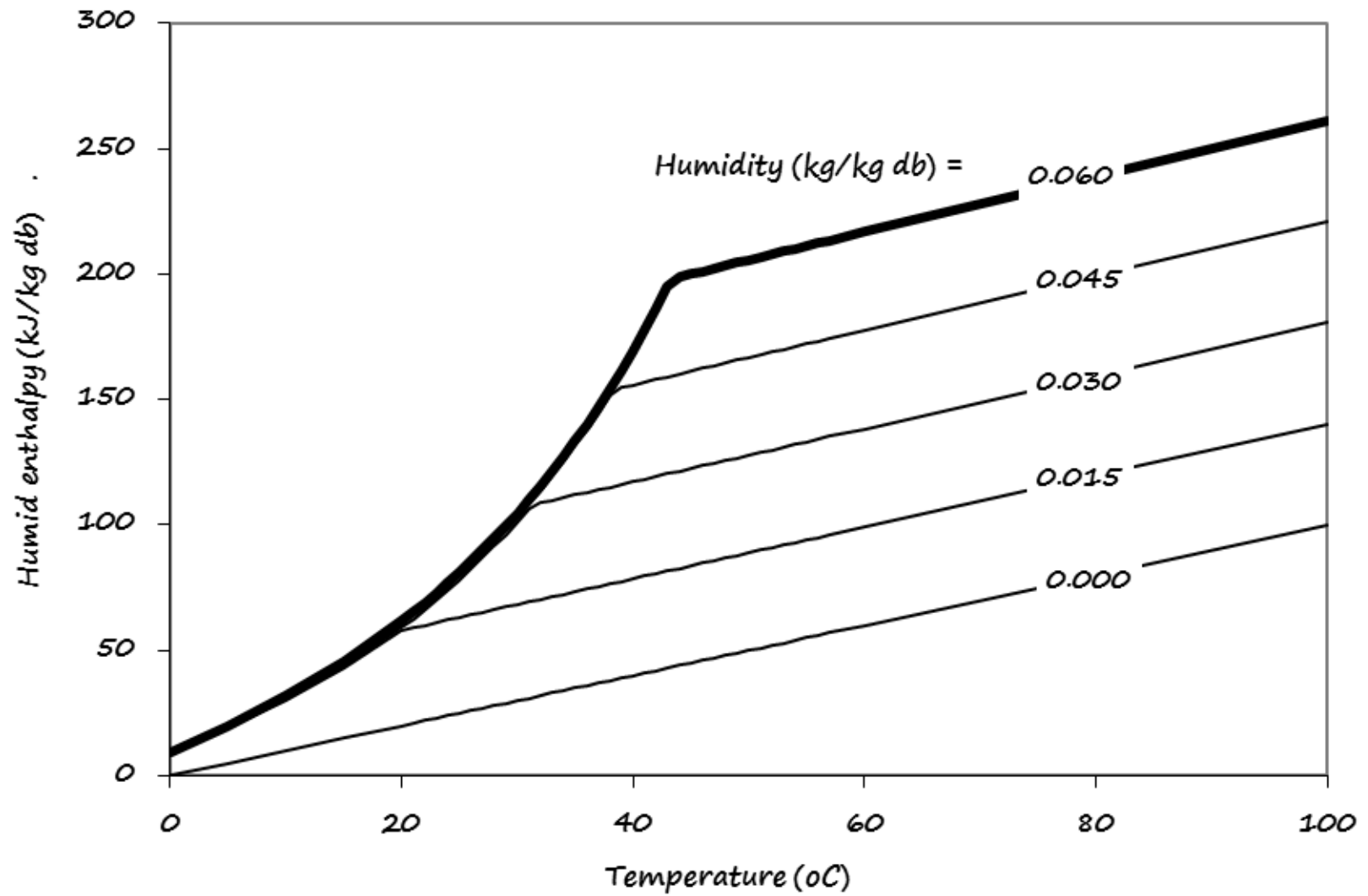
$$P_s = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)] \rightarrow P_s$$

$$Y_s = m / (P/P_s - 1) \rightarrow Y_s$$

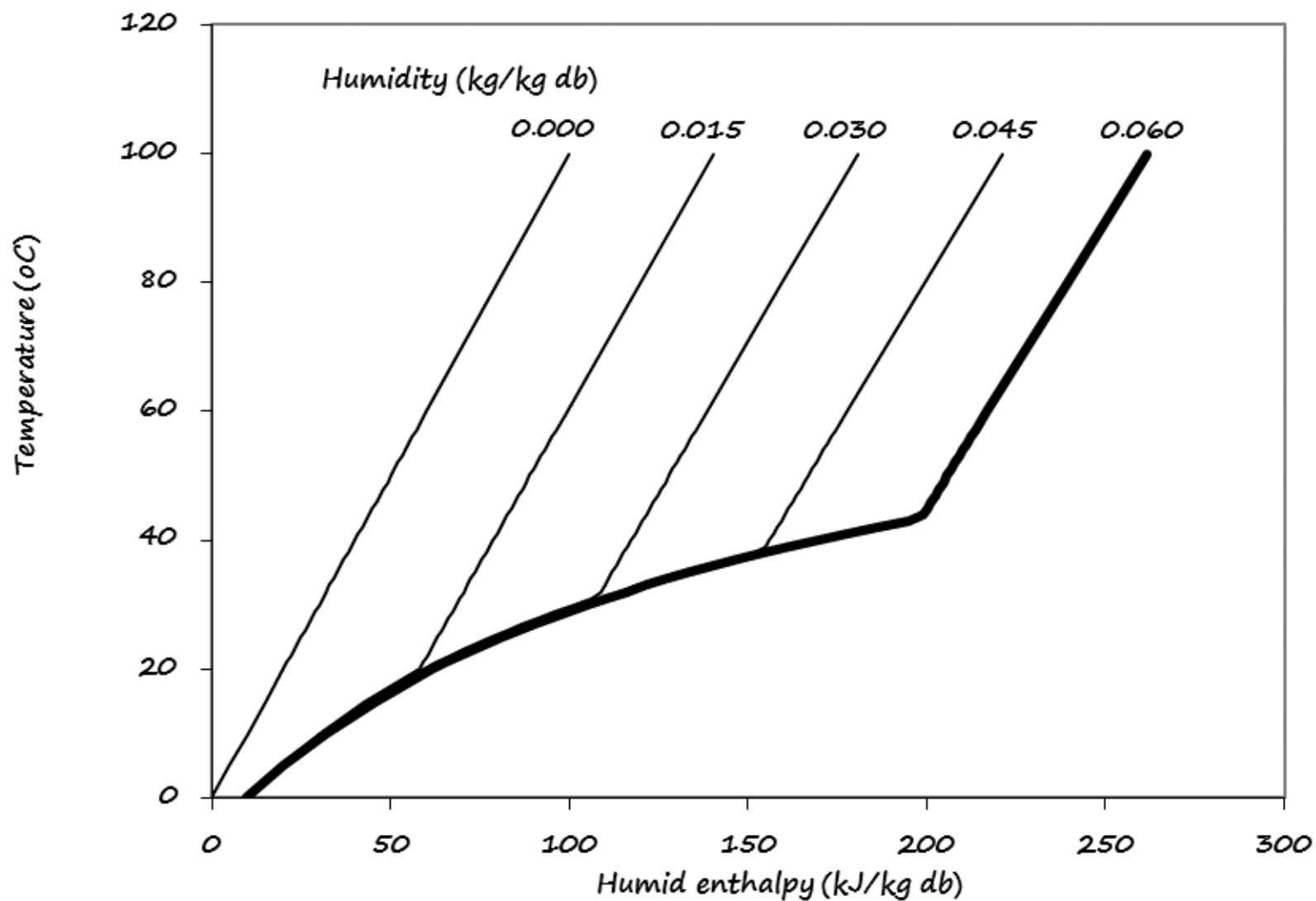
$$Y_v = \min[Y, Y_s] \rightarrow Y_v$$

$$Y = Y_L + Y_v \rightarrow Y_L$$

$$H = C_{PA}T + Y_v (\Delta H_0 + C_{PV}T) + Y_L C_{PL}T \rightarrow H$$



...και ανάποδα! Τι παρατηρείτε?





# Άσκηση Ψυχομετρίας

# Το βασικό πρόβλημα:

Δεδομένων των:

$P$	bar	Πίεση
$T$	$^{\circ}C$	Θερμοκρασία
$\gamma$	kg/kg ξβ	Υγρασία (ολική)

να υπολογιστούν τα:



$\gamma_s$	kg/kg ξβ	Υγρασία Κορεσμού
$\gamma_v$	kg/kg ξβ	Υγρασία σε ατμό
$\gamma_L$	kg/kg ξβ	Υγρασία σε υγρό
$P_d$	bar	Πίεση Δρόσου
$T_d$	$^{\circ}C$	Θερμοκρασία Δρόσου
$a_w$	-	Σχετική Υγρασία
$H$	kJ/kg ξβ	Ενθαλπία

## Η Ψυχομετρική Εξίσωση (ΨΕ):

$$Y_V = m / (P / (a_w P_S) - 1)$$

$$P_S = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)]$$

$$\rightarrow P = a_w P_S (m / Y_V + 1)$$

$$\rightarrow a_w = P / P_S / (m / Y_V + 1)$$

$$\rightarrow P_S = P / a_w / (m / Y_V + 1)$$

$$\rightarrow T = a_2 / (a_1 - \text{Ln} P_S) - a_3$$

$$P_S = \text{Exp}[a_1 - a_2 / (a_3 + T)]$$

$$Y_S = m / (P/P_S - 1)$$

$$Y_V = \min(Y, Y_S)$$

$$Y_L = Y - Y_V$$

$$a_w = P/P_S / (m/Y_V + 1)$$

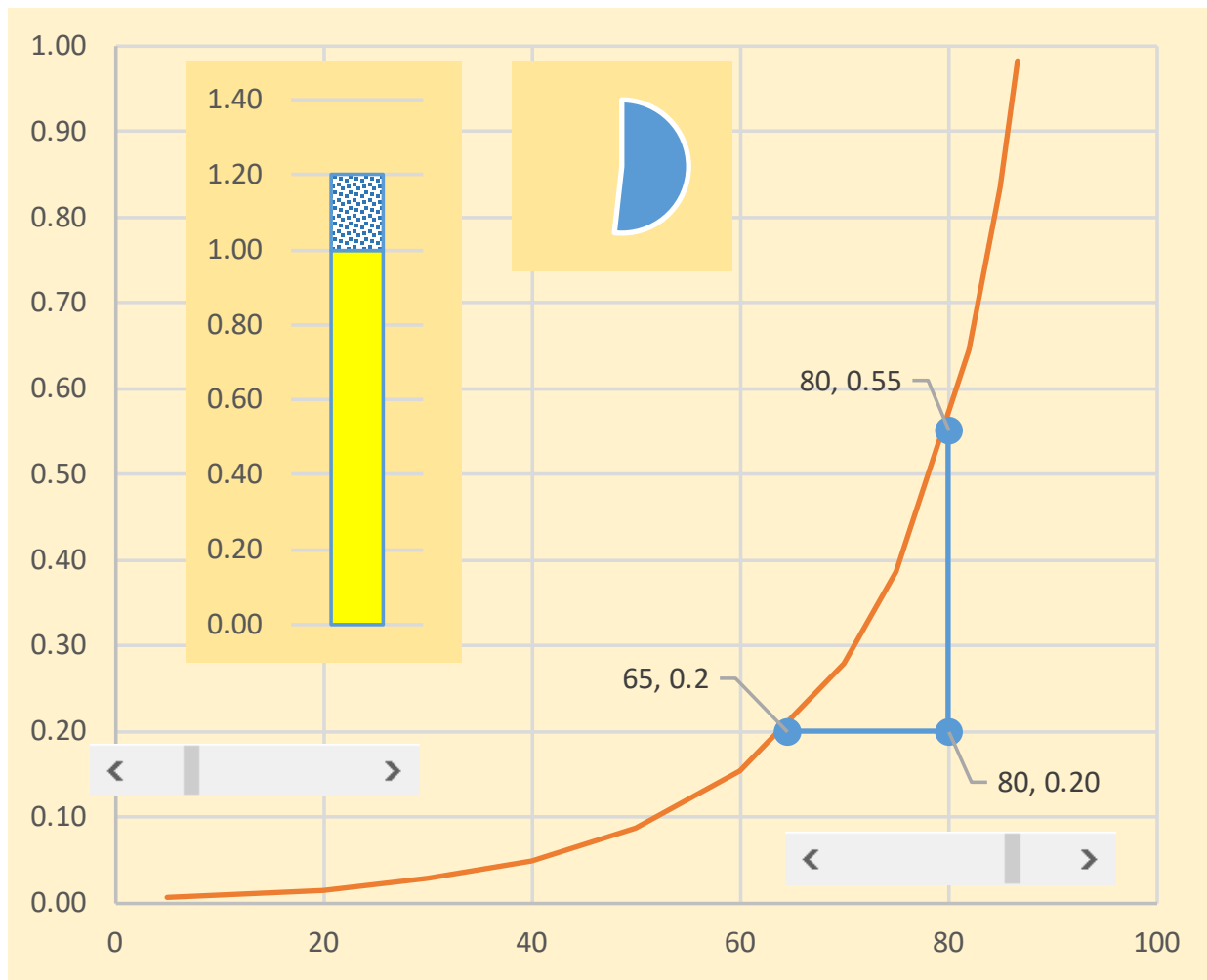
$$H = C_{PA}T + Y_V (\Delta H_0 + C_{PV}T) + Y_L C_{PL} T$$

$$P_{sd} = P / (m/Y + 1)$$

$$T_d = a_2 / (a_1 - \ln P_{sd}) - a_3$$

$$P_d = P_S (m/Y + 1)$$

dHo	502	80	0.55
CpV	1.18	5	0.01
CpL	2.18	20	0.01
CpA	1.1	30	0.03
m	0.622	40	0.05
a1.	11.9	50	0.09
a2.	3985	60	0.15
a3.	234	70	0.28
		75	0.39
		82	0.65
P	1.00	85	0.84
T	80.0	87	0.98
Y	0.200		
	200		
		52	
		48	
		1.00	
		0.00	
		0.20	
Ps	0.47		
Ys	0.55		
YV	0.20		
YL	0.00		
aw	0.52		
H	207		
Psd	0.24	80	0.55
Td	64.5	80	0.20
Pd	1.93	65	0.2



dHo	502	60	0.15
CpV	1.18	5	0.01
CpL	2.18	20	0.01
CpA	1.1	30	0.03
m	0.622	40	0.05
a1.	11.9	50	0.09
a2.	3985	60	0.15
a3.	234	70	0.28
		75	0.39
		82	0.65
P	1.00	85	0.84
T	60.0	87	0.98
Y	0.500		
	500		
		100	
		0	
Ps	0.20		
Ys	0.15		
YV	0.15	1.00	
YL	0.35	0.35	
aw	1.00	0.15	
H	199		
Psd	0.45	60	0.15
Td	78.7	60	0.50
Pd	0.45	79	0.5

