

Υγρασία



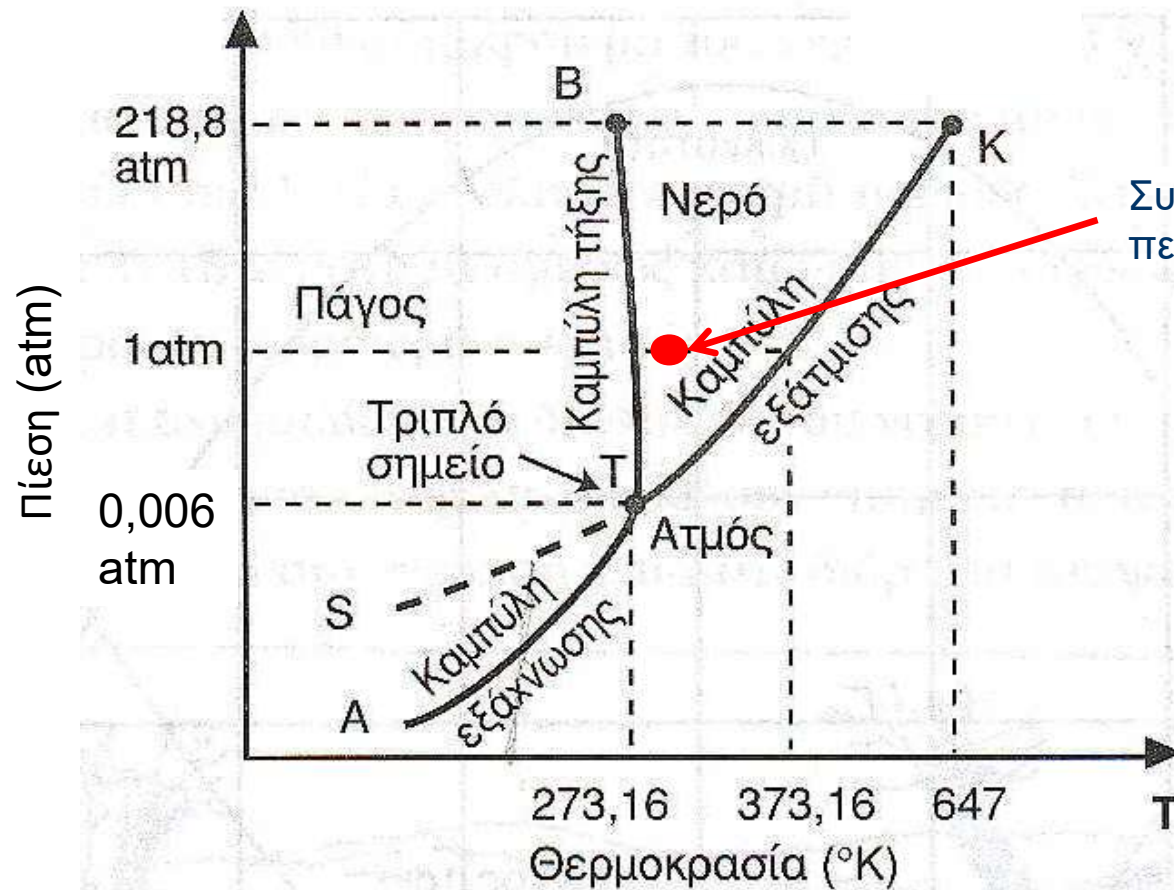
Υγρασία και συμπύκνωση στο εσωτερικό θερμοκηπίου



Η αυξημένη σχετική υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκαλεί συμπύκνωση στα ψυχρότερα στοιχεία της κατασκευής όπως είναι το κάλυμμα κατά τη διάρκεια της νύχτας



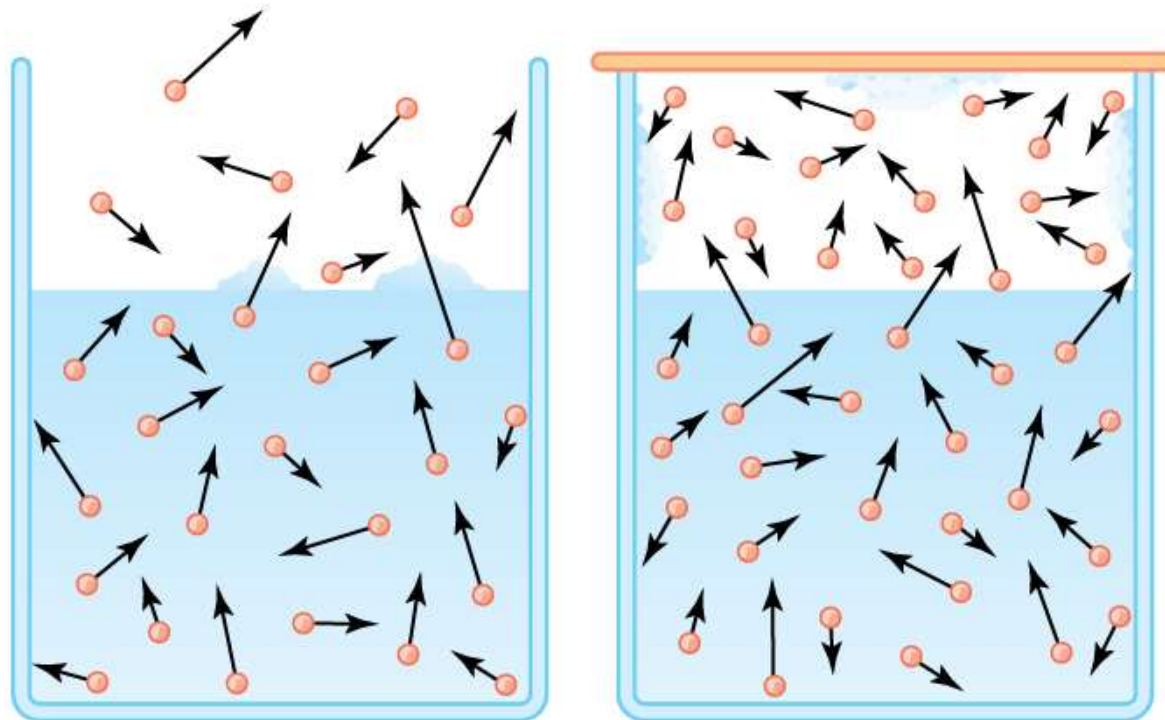
Διάγραμμα φάσεων του νερού



Το νερό είναι το μόνο στοιχείο που στις συνθήκες περιβάλλοντος μπορούμε να το δουμε και στις 3 φάσεις του

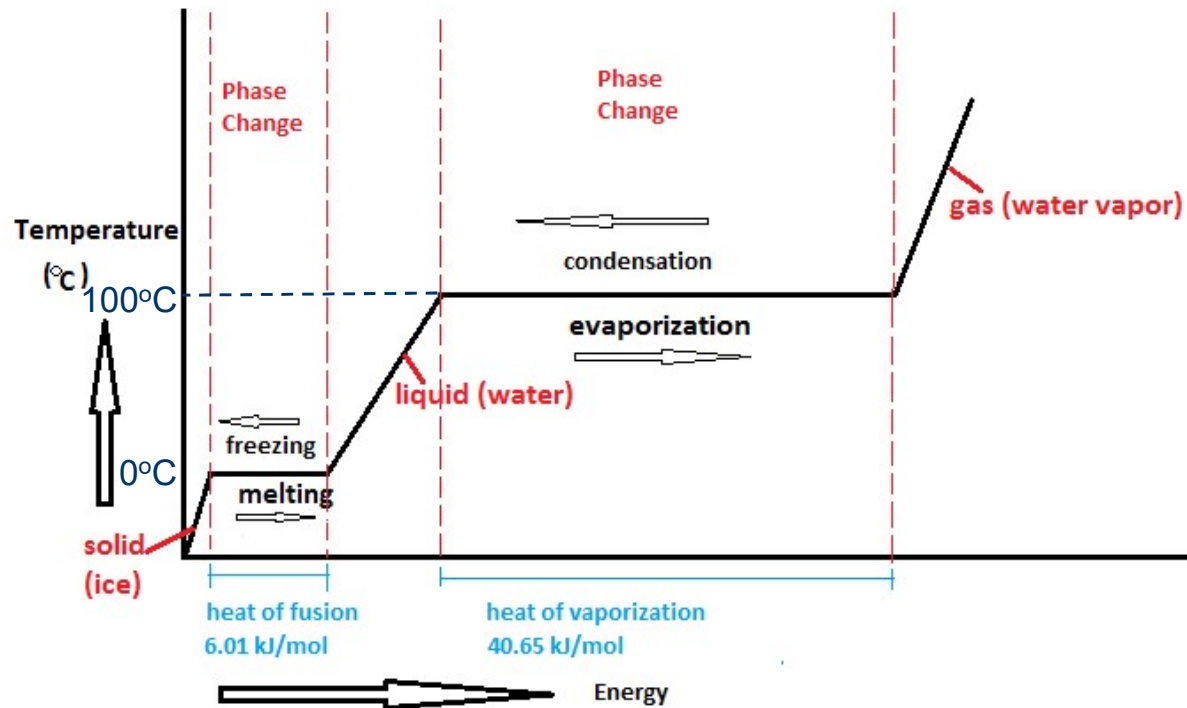
1 atm = 101325 Pa

Κορεσμός - συμπύκνωση



ΚΟΡΕΣΜΟΣ: Η κατάσταση ισορροπίας κατά την οποία τα μόρια νερού που εξατμίζονται είναι ίσα με τα μόρια υδρατμών που συμπυκνώνονται

Αλλαγή φάσης - Λανθάνουσα θερμότητα



Κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης η θερμοκρασία παραμένει σταθερή. Η ενέργεια (θερμότητα) καταναλώνεται για την αλλαγή φάσης και γι αυτό λέγεται **λανθάνουσα θερμότητα**

Αλλαγή φάσης - Λανθάνουσα θερμότητα

$$Q_L = h_L m_{wv}$$

Q_L : λανθάνουσα θερμότητα (J)

h_L : ειδική λανθάνουσα θερμότητα (J kg⁻¹)

m_{wv} : μάζα υδρατμών που εξατμίστηκαν

- Κατά την **εξάτμιση** η λανθάνουσα θερμότητα απορροφάται από το περιβάλλον προκαλώντας **ψύξη**.
- Κατά τη **συμπύκνωση** η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδεται στο περιβάλλον προκαλώντας **θέρμανση**.

Ειδική λανθάνουσα θερμότητα πήξης του νερού: **335 kJ/kg**

Ειδική λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού: **2260 kJ/kg**

Υδρονέφωση



Οι σταγόνες είναι τόσο μικρές που εξατμίζονται πριν φτάσουν στα φύλλα των φυτών

Νέφος από πολύ μικρές σταγόνες δημιουργείται με μπεκ που λειτουργούν σε υψηλή πίεση (50-100 bar)



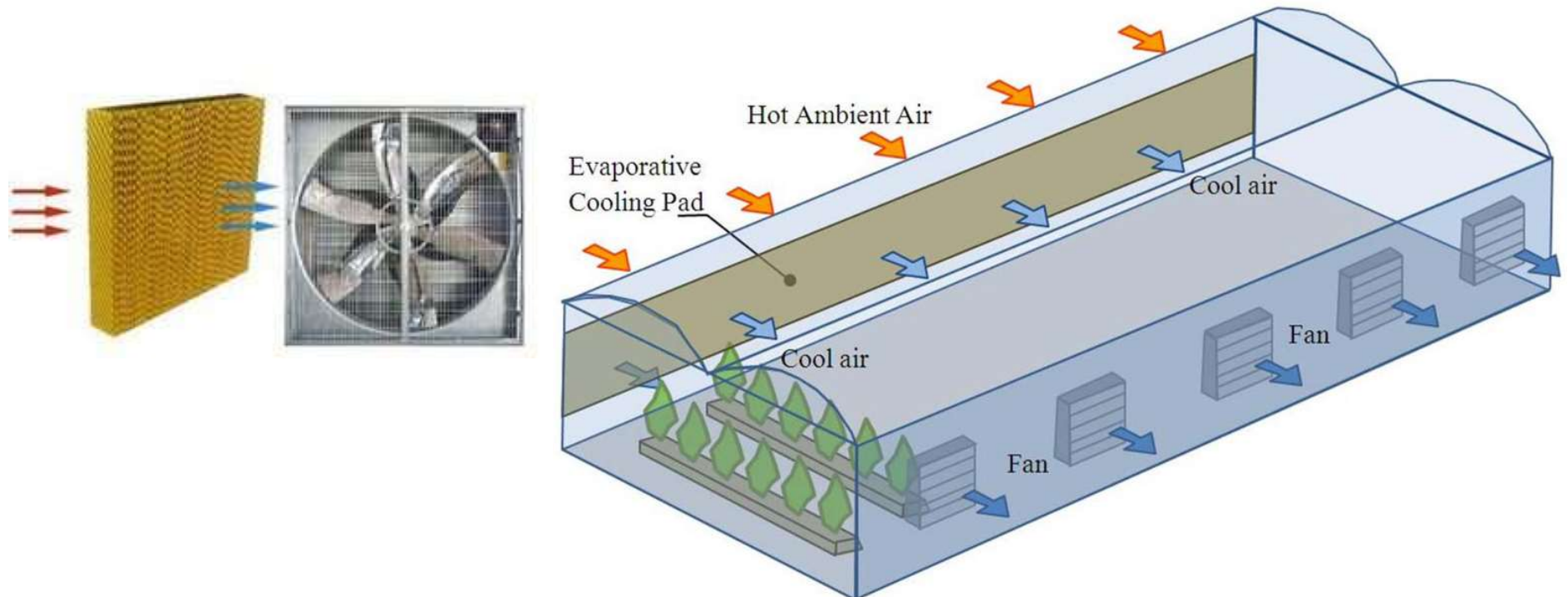
Ψύξη με διαβρεχόμενη παρειά



Συνθετικό απορροφητικό υλικό με κυψελοειδή δομή

Η διαβρεχόμενη παρειά είναι φτιαγμένη από πορώδες απορροφητικό υλικό που μπορεί να συγκρατεί μεγάλη ποσότητα νερού ενώ επιτρέπει τη διέλευση του αέρα

Δυναμικός αερισμός σε συνδυασμό με διαβρεχόμενη παρειά



Ανεμιστήρες απάγουν τον εσωτερικό θερμό αέρα δημιουργώντας υποπίεση. Ξηρός εξωτερικός αέρας ωθείται προς το θερμοκήπιο μέσω του υγρού τοιχώματος.

Νόμος ιδανικών αερίων

$$PV = nRT$$

P : Πίεση (Pa)

V : Όγκος (m^3)

T : Θερμοκρασία (K)

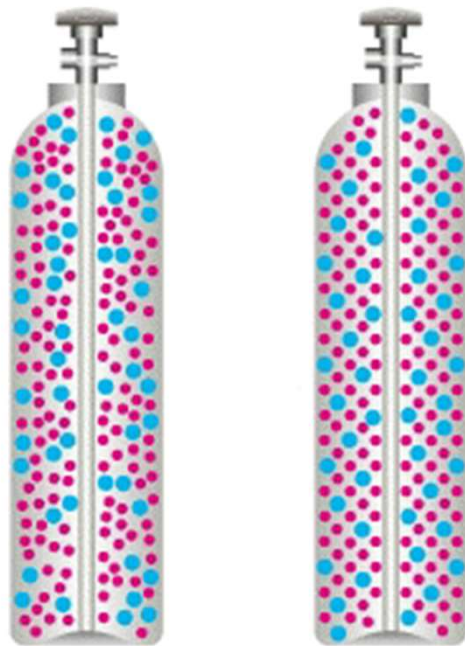
n : ποσότητα αερίου σε γραμμομόρια (mol)

R : σταθερά των ιδανικών αερίων ($8.314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$)

$$\text{Pa} = \text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

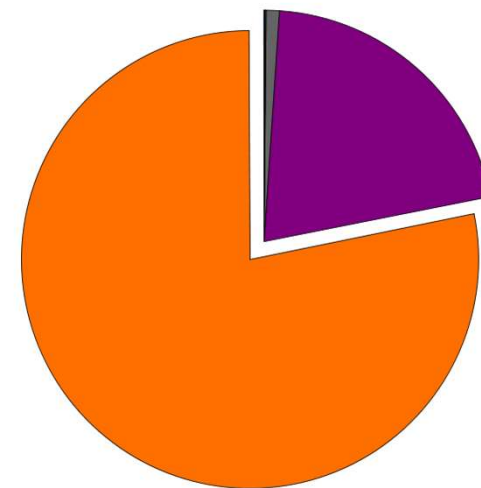
$$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

Μείγματα αερίων



● CO₂

● Argon



- N₂
- O₂
- Ar
- CO₂
- Άλλα

Ατμόσφαιρα

Μερική πίεση αερίων

$$P_{O_2}V = n_{O_2}RT$$



Oxygen

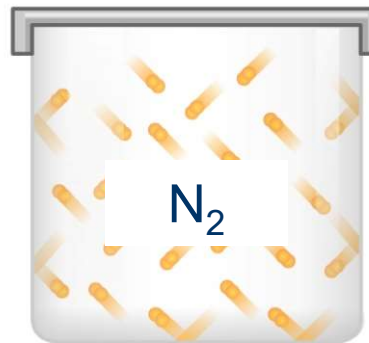
πίεση

Pressure

159 mm Hg



$$P_{N_2}V = n_{N_2}RT$$

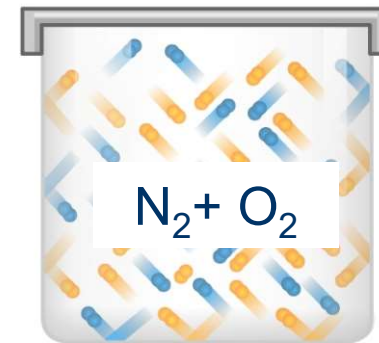


Nitrogen

πίεση

Pressure

593 mm Hg



Oxygen + Nitrogen

πίεση

Pressure

752 mm Hg



$$(P_{N_2} + P_{O_2})V = (n_{N_2} + n_{O_2})RT \rightarrow P_{tot}V = (n_{tot})RT$$

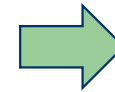
Μερική πίεση αερίων

Για το άζωτο:

$$P_{N_2} V = n_{N_2} RT$$

Για το μίγμα:

$$P_{tot} V = n_{tot} RT$$



$$\frac{P_{N_2}}{P_{tot}} = \frac{n_{N_2}}{n_{tot}}$$

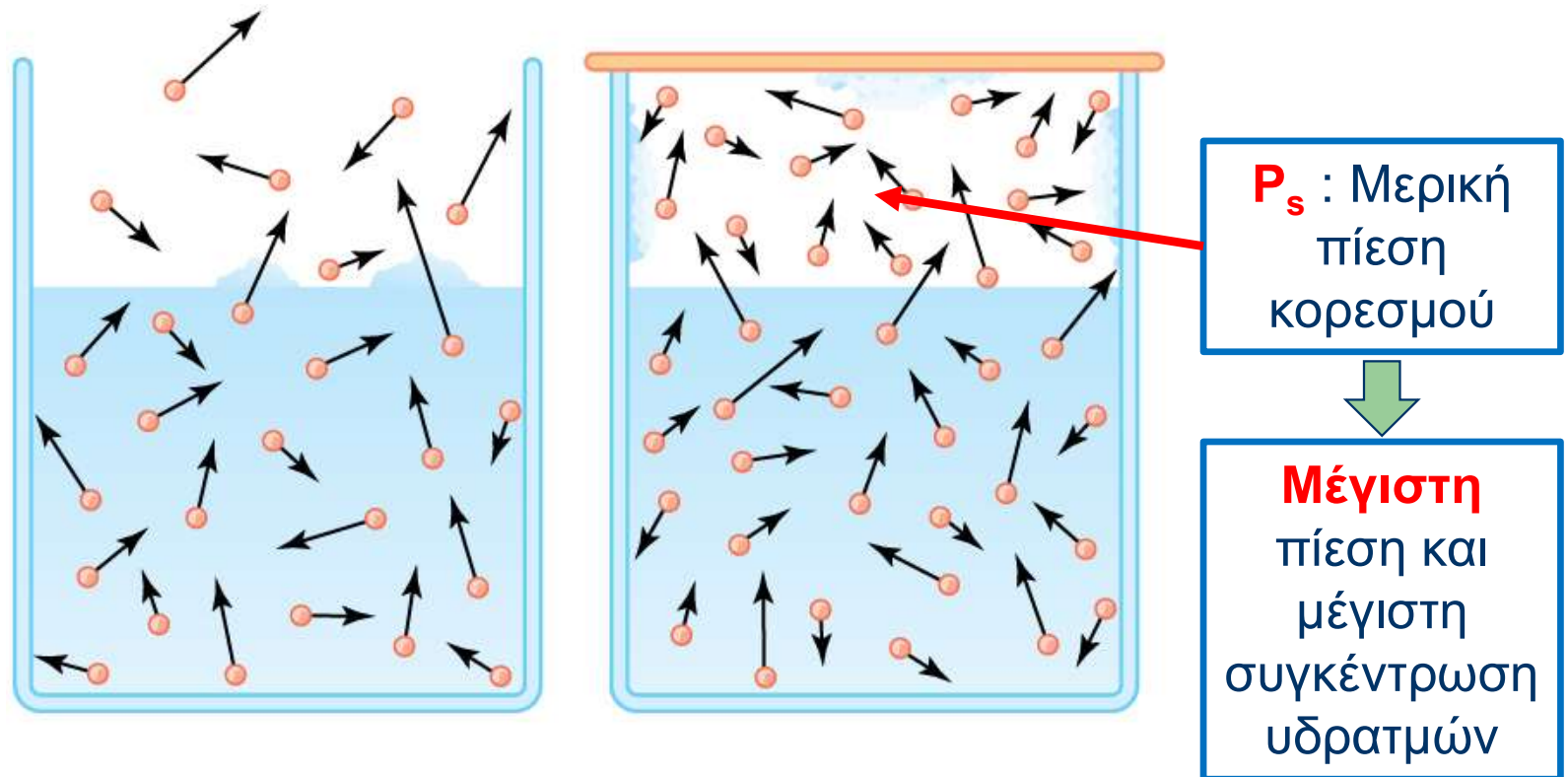


Συγκέντρωση
 N_2 στο μίγμα



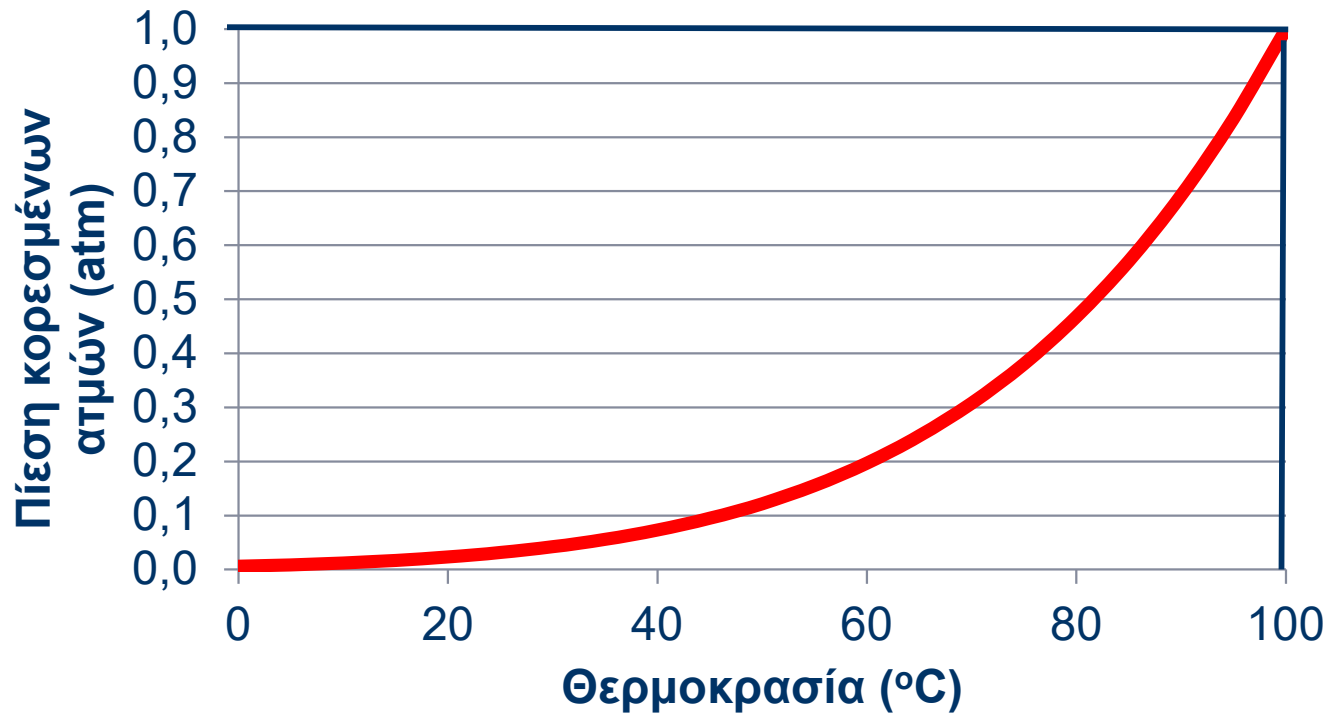
Μπορώ να χρησιμοποιήσω
τις **μερικές πιέσεις** για να
περιγράψω τις
συγκεντρώσεις στο μείγμα
αερίων

Κορεσμός - συμπύκνωση



Η μερική πίεση αερίου λέγεται μερική πίεση (τάση) κορεσμένων ατμών P_s όταν συνυπάρχει και η υγρή φάση αυτού του υλικού

Πίεση κορεσμένων ατμών



ΒΡΑΣΜΟΣ
 $P=1\text{ atm}$
 $T=100^{\circ}\text{C}$

Για χαμηλότερη πίεση ο βρασμός μπορεί να επιτευχθεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία (π.χ. μεγάλο υψόμετρο)

Σχετική υγρασία – Ποσοστό υγρασίας

$$RH = \frac{P_{wv}}{P_{S-wv}} = \frac{C_{wv}}{C_{S-wv}}$$

Σχετική υγρασία RH (%):

- Ο λόγος της μερικής πίεσης υδρατμών προς την πίεση των κορεσμένων υδρατμών
- Ο λόγος της συγκέντρωσης των υδρατμών προς τη συγκέντρωση των υδρατμων σε κορεσμό

$$HR = \frac{m_{wv}}{m_{dryair}} = \frac{P MW_w}{(P_{atm} - P) MW_{air}}$$

Ποσοστό υγρασίας HR (%): είναι ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς τη μάζα του ξηρού αέρα που τους περιέχει.
MW είναι το μοριακό βάρος

Σημείο (θερμοκρασία) δρόσου (Dew Point)

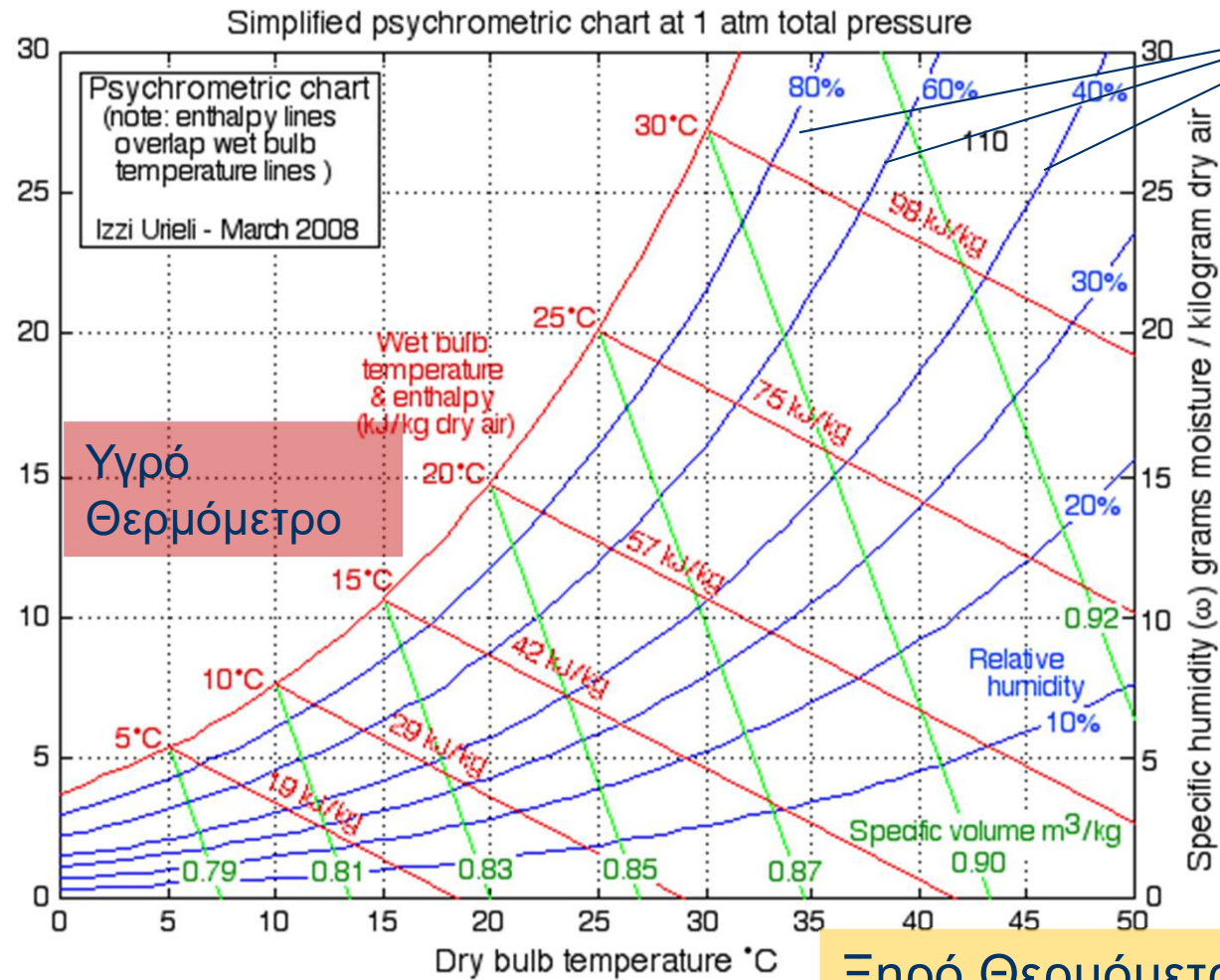
- Σημείο δρόσου (Dew Point) είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία οι υδρατμοί συμπυκνώνονται για συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας (HR)
- Όταν η θερμοκρασία του χώρου είναι ίση με DP, η σχετική υγρασία είναι 100%

Θερμοκρασία υγρού βολβού (WBT)

Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της υγρασίας του αέρα είναι η θερμοκρασία που μετράται με θερμόμετρο που διαβρέχεται από νερό.

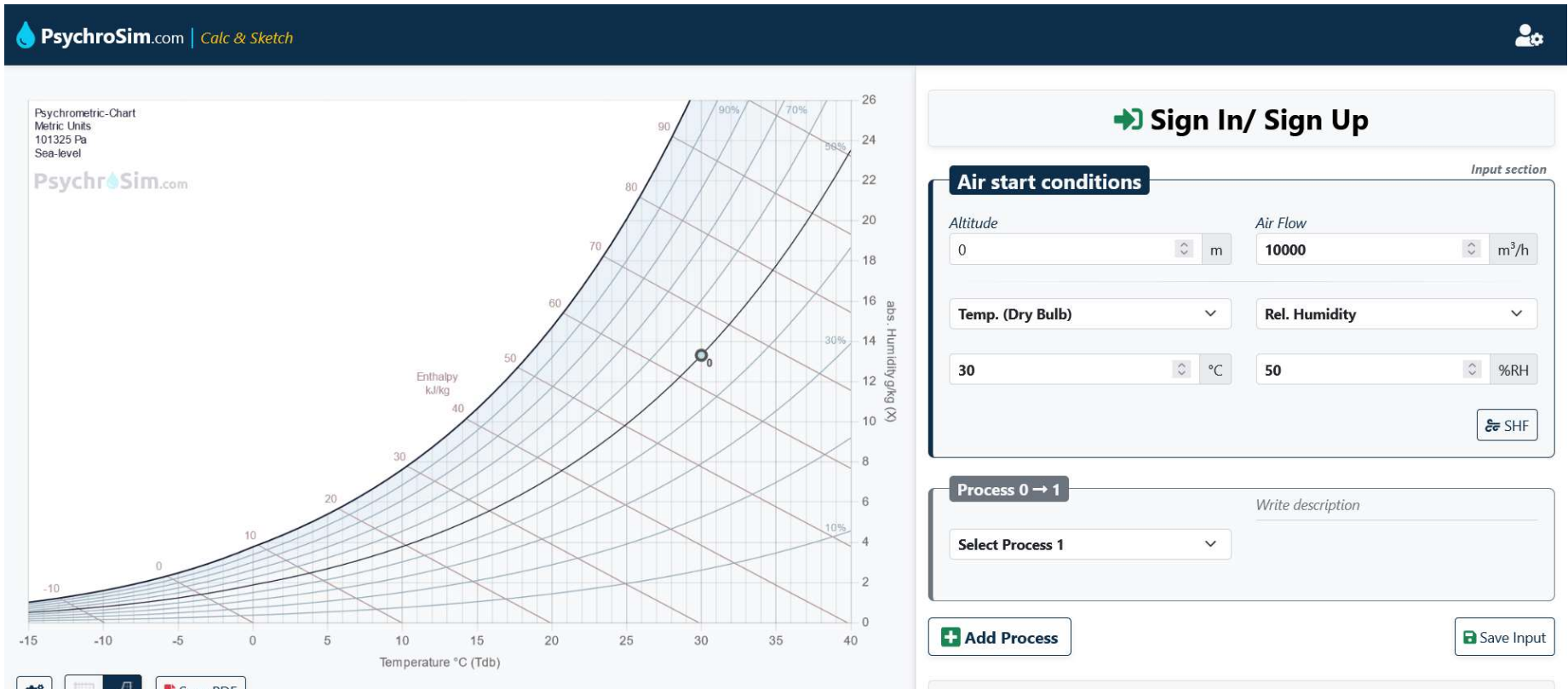
Θερμοκρασία υγρού βολβού (WBT) είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται **λόγω εξάτμισης** σε περιβάλλον όπου σχετική υγρασία είναι συγκεκριμένη. Η **WBT είναι μέτρο της σχετικής υγρασίας RH.**

Ψυχομετρικό διάγραμμα



Ψυχομετρικό διάγραμμα

<https://www.psychrosim.com/>

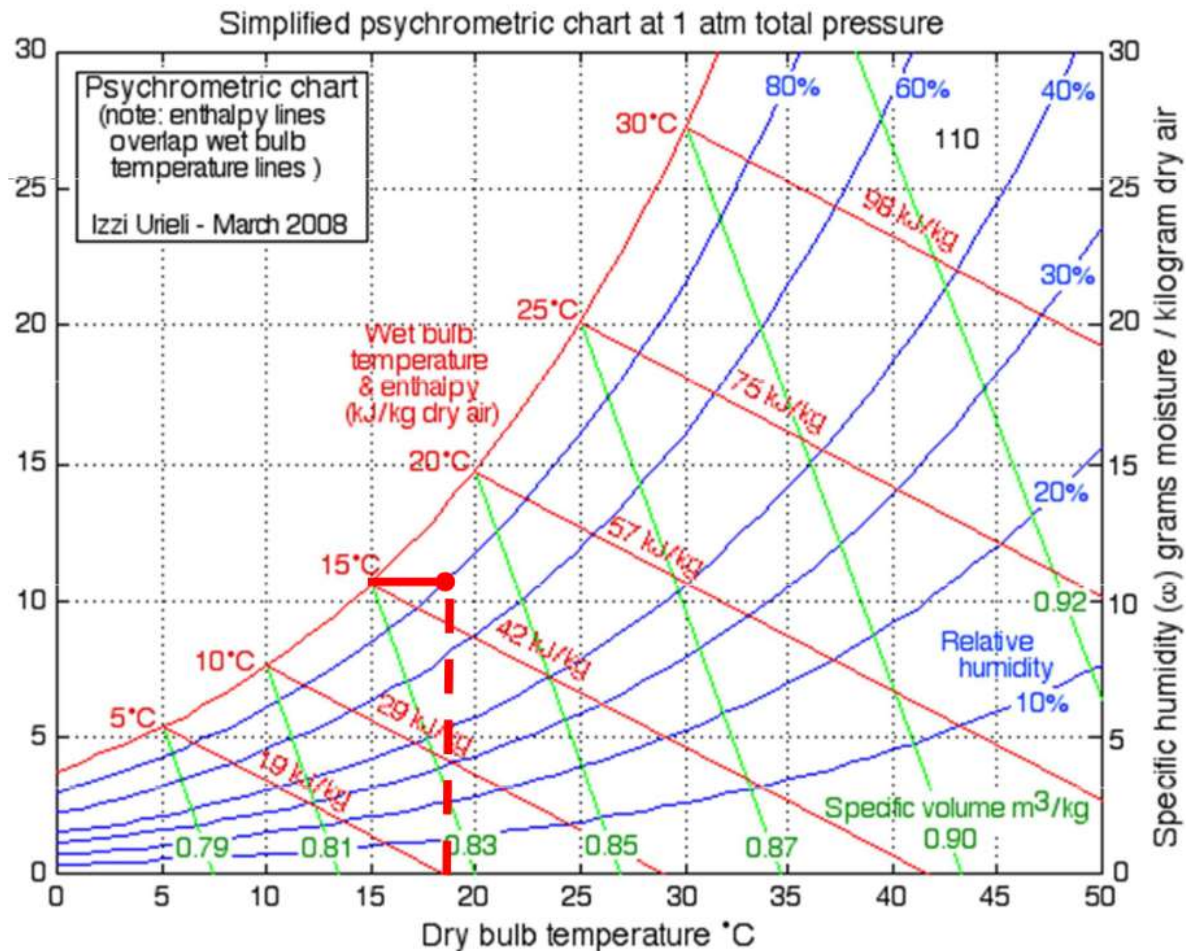


Αφύγρανση με ψύξη



Ψυχρές μεταλλικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται ως σημεία συμπύκνωσης των υδρατμών.

Αφύγρανση με ψύξη



Έστω εσωτερικά:
 $T = 18^{\circ}C$
 $RH = 80\%$

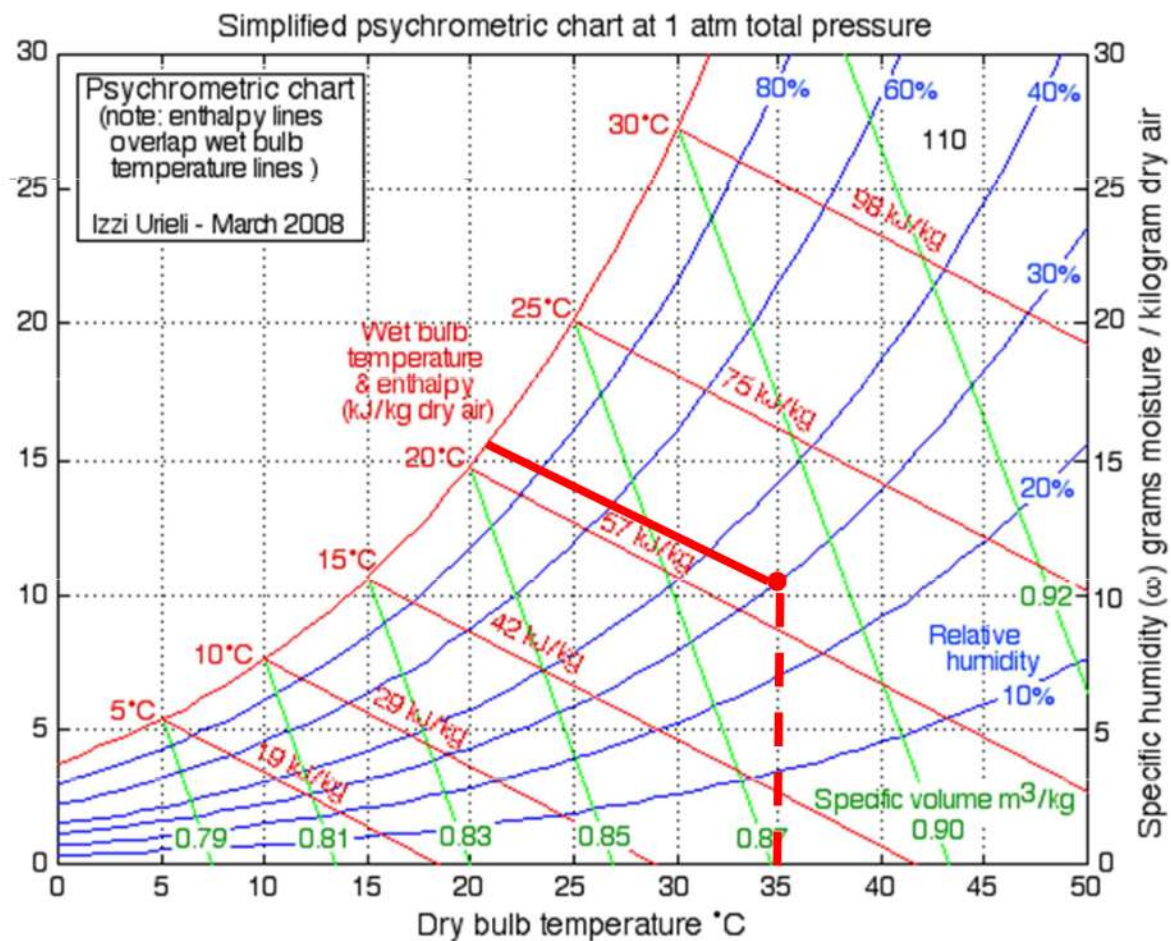


ΨΥΞΗ

Σημείο Δρόσου
 $T = 15^{\circ}C$

Αν η ψυχρή μεταλλική επιφάνεια έχει $T \leq 15^{\circ}C$ θα έχουμε συμπύκνωση υδρατμών

Ψύξη με διαβρεχόμενη παρειά



Έστω εξωτερικά:
 $T = 35^{\circ}C$
 $RH = 30\%$



ΕΞΑΤΜΙΣΗ
ΥΔΡΑΤΜΩΝ

Προσφέρουμε αέρα
θερμοκρασίας
 $T = 21^{\circ}C$

Ο αέρας αυτός θα
αναμειχθεί με τον ζεστό
αέρα εντός του
θερμοκηπίου

Διαπνοή



Η διαπνοή αυξάνει την υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Η εξάτμιση νερού στην επιφάνεια των φύλλων απορροφά θερμότητα



Αντίσταση επιφάνειας φύλλου στη διαπνοή

Η διαπνοή εξαρτάται από:

1. Τη προσπίπτουσα **ακτινοβολία**, τη **σχετική υγρασία** και τη θερμοκρασία
2. Τα **φυσιολογικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φύλλου**
3. Το δείκτη επιφάνειας φύλλων του φυτού (LAI)

Ρυθμός διαπνοής

$$qm_{wv} = \frac{I_{sun}}{r_r} + \frac{(1 - RH)}{r_h}$$

qm_{wv} : ένταση ροής υδρατμών ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

RH : σχετική υγρασία (%)

I_{sun} : ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W m^{-2})

r_r : αντίσταση επιφάνειας φύλλου στην ακτινοβολία (J kg^{-1})

r_h : αντίσταση επιφάνειας φύλλου στη διαφορά πίεσης υδρατμών ($\text{kg}^{-1} \text{m}^2 \text{s}$)

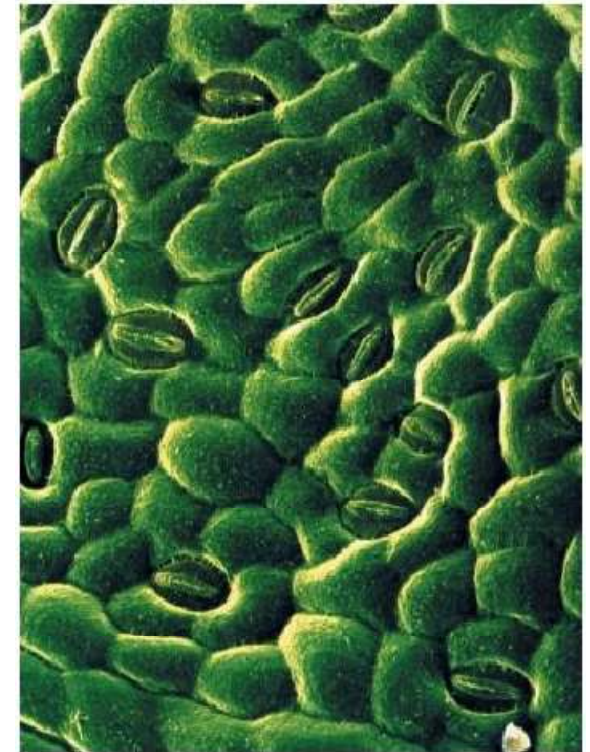
Αντίσταση επιφάνειας φύλλου στη διαπνοή

Οι τιμές των παραμέτρων r_r και r_h εξαρτώνται από το είδος του φυτού και τη πυκνότητα των φύλλων (LAI).

Περίπτωση **ντομάτας**:

$$r_r = \frac{h_L}{0,154 \ln(1 + 1,1LAI^{1,13})}$$

$$r_h = \frac{h_L \gamma}{P_s 1,65LAI \left(0,56 e^{-\frac{I_{sun}}{1,12}} \right)}$$



γ είναι η ψυχομετρική σταθερά (Pa K⁻¹)

Λανθάνουσα θερμότητα λόγω διαπνοής

$$q_L = h_L \frac{I_{sun}}{r_r} + \frac{h_L (1 - RH)}{r_h}$$

q_L : ένταση ροής λανθάνουσας θερμότητας ($J m^{-2} s^{-1}$)

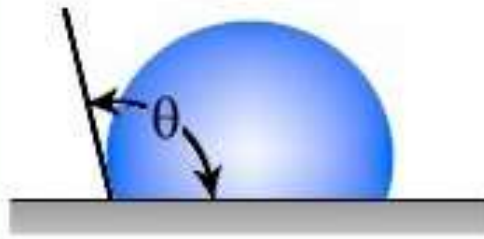
RH : σχετική υγρασία (%)

I_{sun} : ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ($W m^{-2}$)

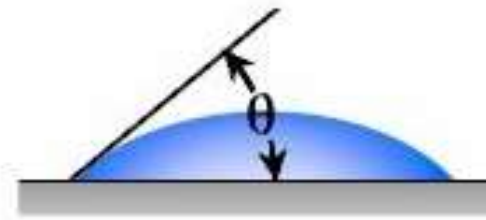
r_r : αντίσταση επιφάνειας φύλλου στην ακτινοβολία ($J kg^{-1}$)

r_h : αντίσταση επιφάνειας φύλλου στη διαφορά τάση υδρατμών ($kg^{-1} m^2 s$)

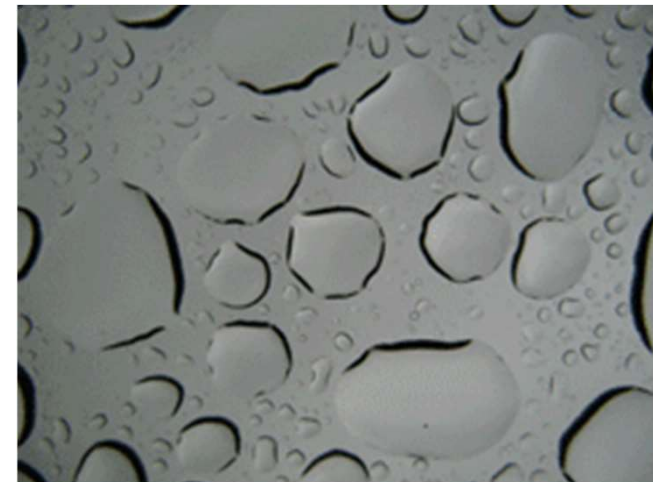
Επιφανειακή τάση



Υδρόφοβη επιφάνεια

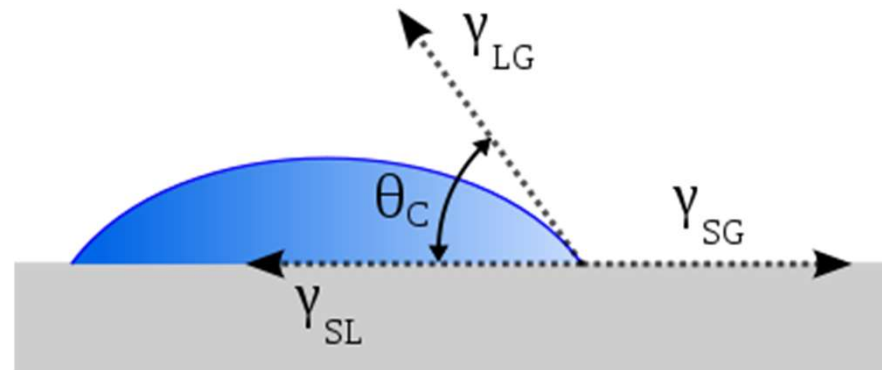


Υδρόφιλη επιφάνεια



Γωνία επαφής

Η τάση μιας επιφάνειας να διαβρέχεται από ένα υγρό (wetting) περιγράφεται από τη γωνία επαφής



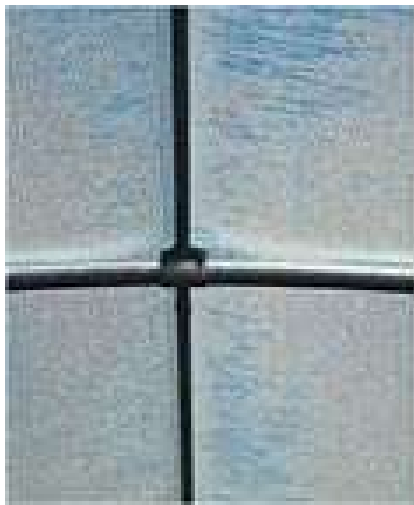
$$\gamma_{SG} - \gamma_{SL} = \gamma_{LG} \cos(\theta_c)$$

γ_{SG} : ενέργεια επαφής αερίου - στερεού

γ_{SL} : ενέργεια επαφής υγρού - στερεού

γ_{LG} : ενέργεια επαφής αερίου - υγρού (επιφανειακή τάση υγρού)

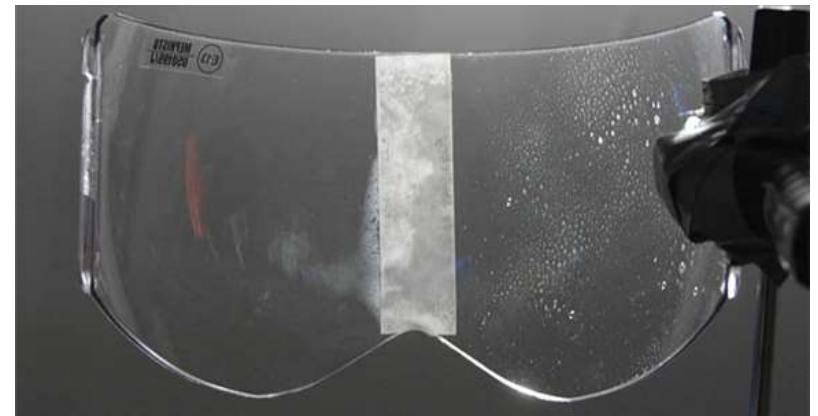
Υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων που διαβρέχονται από το νερό



Χωρίς



Με



Με

Χωρίς

Τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων (φίλμ πολυαιθυλενίου) περιέχουν πρόσθετα που αυξάνουν την ενέργεια επαφής του με το νερό και κάνουν το ΡΕ να διαβρέχεται.

ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ - ΑΦΥΓΡΑΝΣΗ

1. Μείωση της σχετικής υγρασίας με αερισμό
2. Αφύγρανση με ψύξη
3. Αφύγρανση με χημικά μέσα

Αφύγρανση με αερισμό

Ρυθμός
απομάκρυνσης
υδρατμών

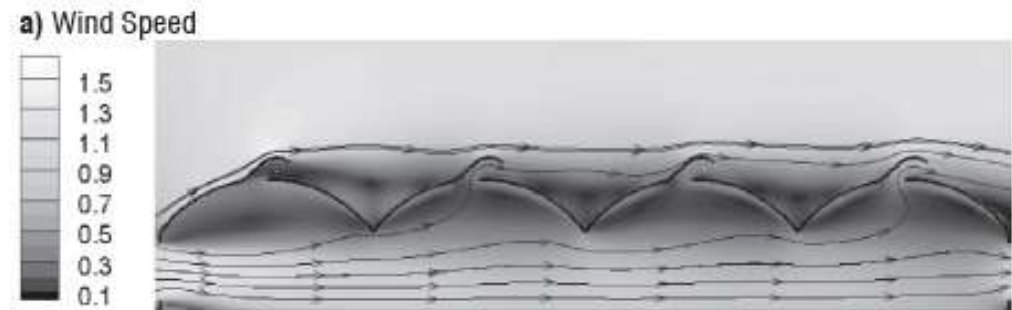
$$F_{\text{gas}} = (C_{\text{gas-in}} - C_{\text{gas-out}}) F_v$$

Ρυθμός
Αερισμού

Διαφορά συγκέντρωσης υδρατμών εντός και εκτός του θερμοκηπίου

Χρησιμοποιούμε τη ροή αερισμού για να διώξουμε τον υγρό αέρα και να τον ανανεώσουμε με ξηρότερο

Ο εισερχόμενος αέρας είναι πιθανόν κρύος, οπότε πρέπει να ζεσταθεί. Αυτό αυξάνει τη κατανάλωση ενέργειας



Σύστημα ανάκτησης μέρους της θερμότητας του εξερχόμενου αέρα



Ο θερμός εξερχόμενος αέρας χρησιμοποιείται για να θερμάνει το εισερχόμενο

Αφύγγρανση με υδρο- απορροφητικά υλικά

1. Γύψος (CaSO_4)
2. Χλωριούχο ασβέστιο (CaCl)
3. Silica (SiO_2)

