

Εργαστηριακή Άσκηση 4

Υπολογισμός απόδοσης ηλιακού θερμοσίφωνα

Γιάννης Κανάκης

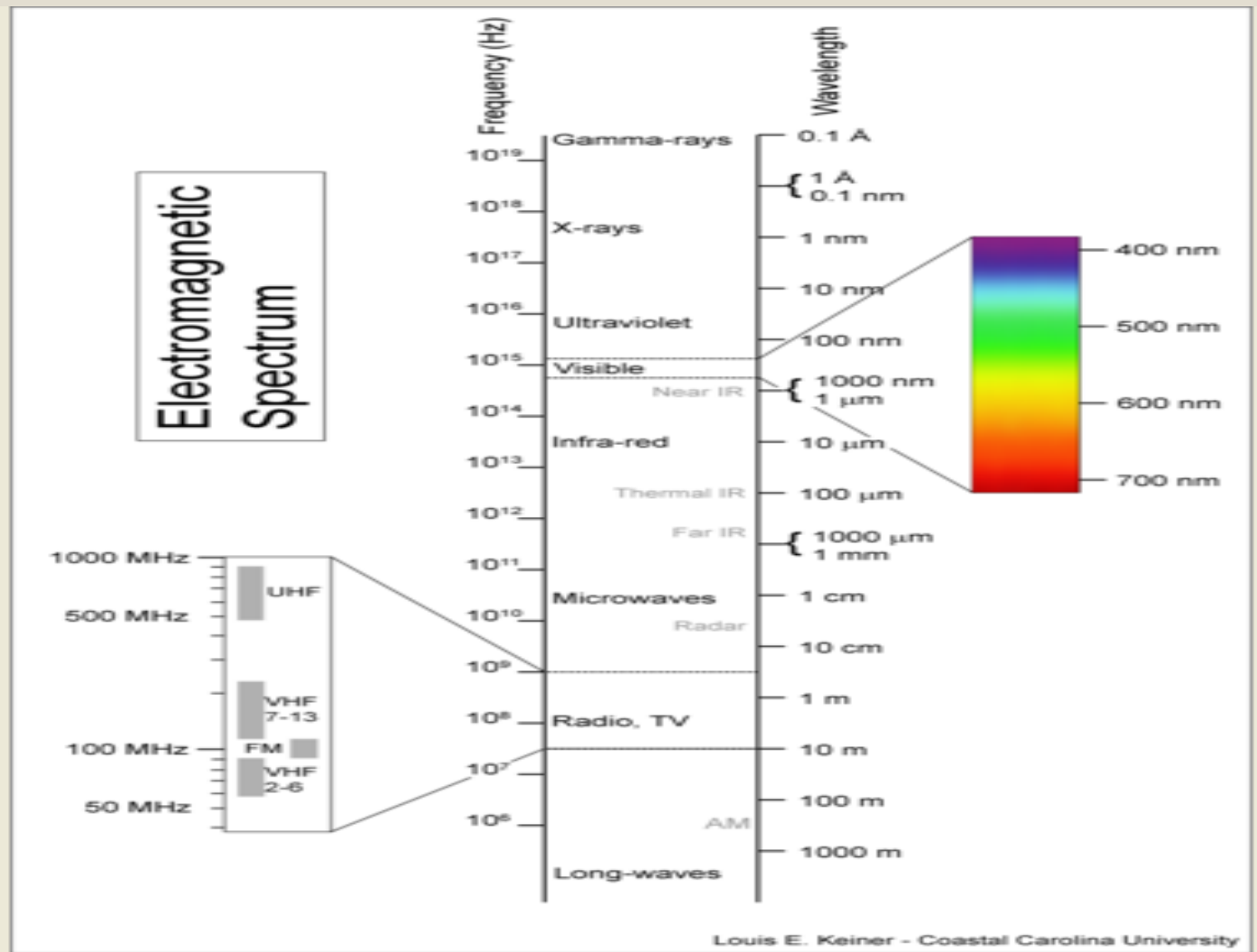
Φυσικός, MSc, ΕΔΙΠ

Δομή παρουσίασης

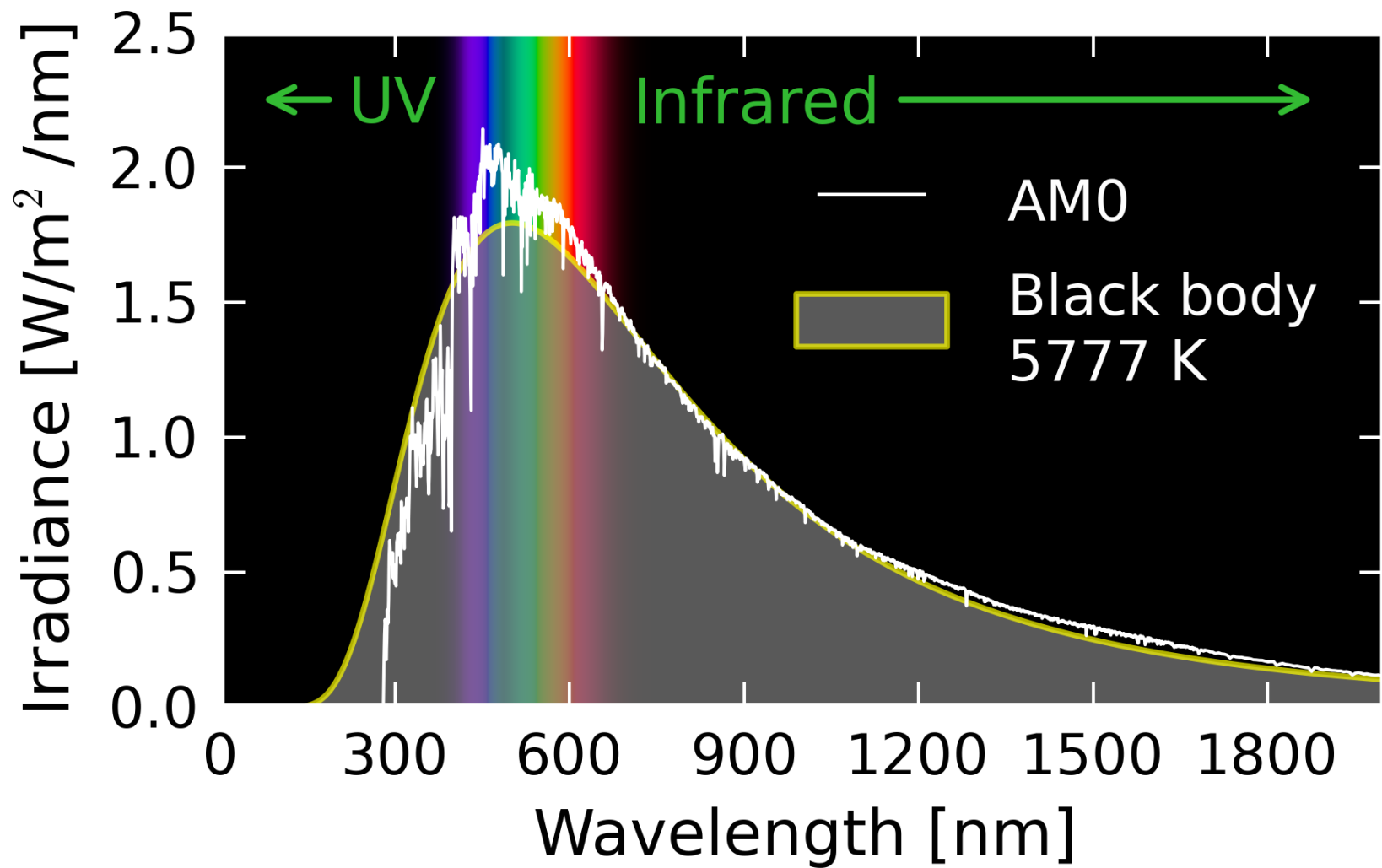
1. Γενικές έννοιες ηλιακής ακτινοβολίας και κατανομής της στην Γη.
2. Βασικές έννοιες για τους ηλιακούς θερμοσίφωνες και την λειτουργία τους
3. Βασικά στοιχεία για το πείραμα(σκοπός, πειραματική διάταξη, πειραματικά όργανα, πειραματική διαδικασία, πειραματικά αποτελέσματα)

**Η γνώση είναι κάτι που οικοδομείται
σταδιακά μέσα από την πράξη**

Δομή παρουσίασης

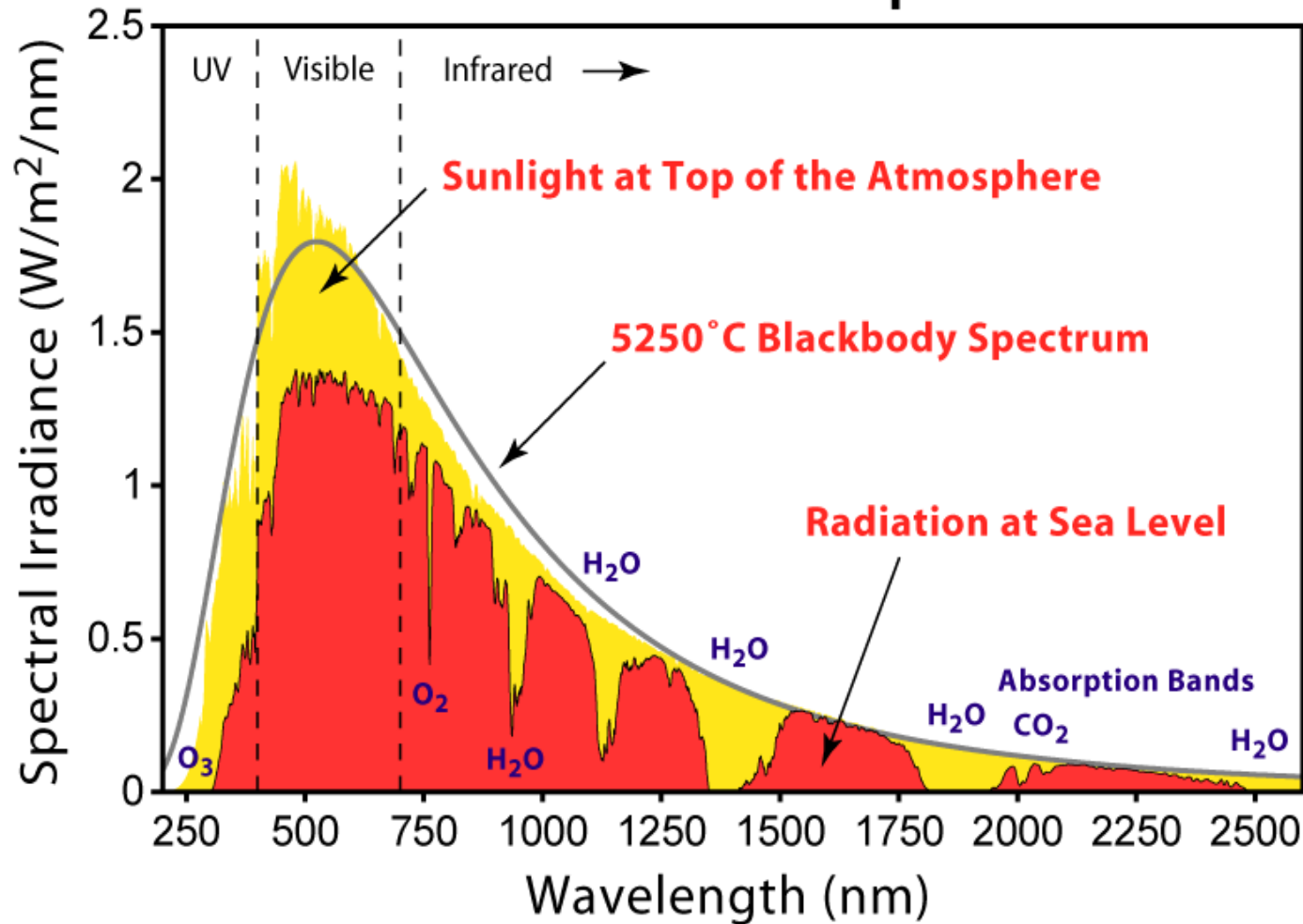


Ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία

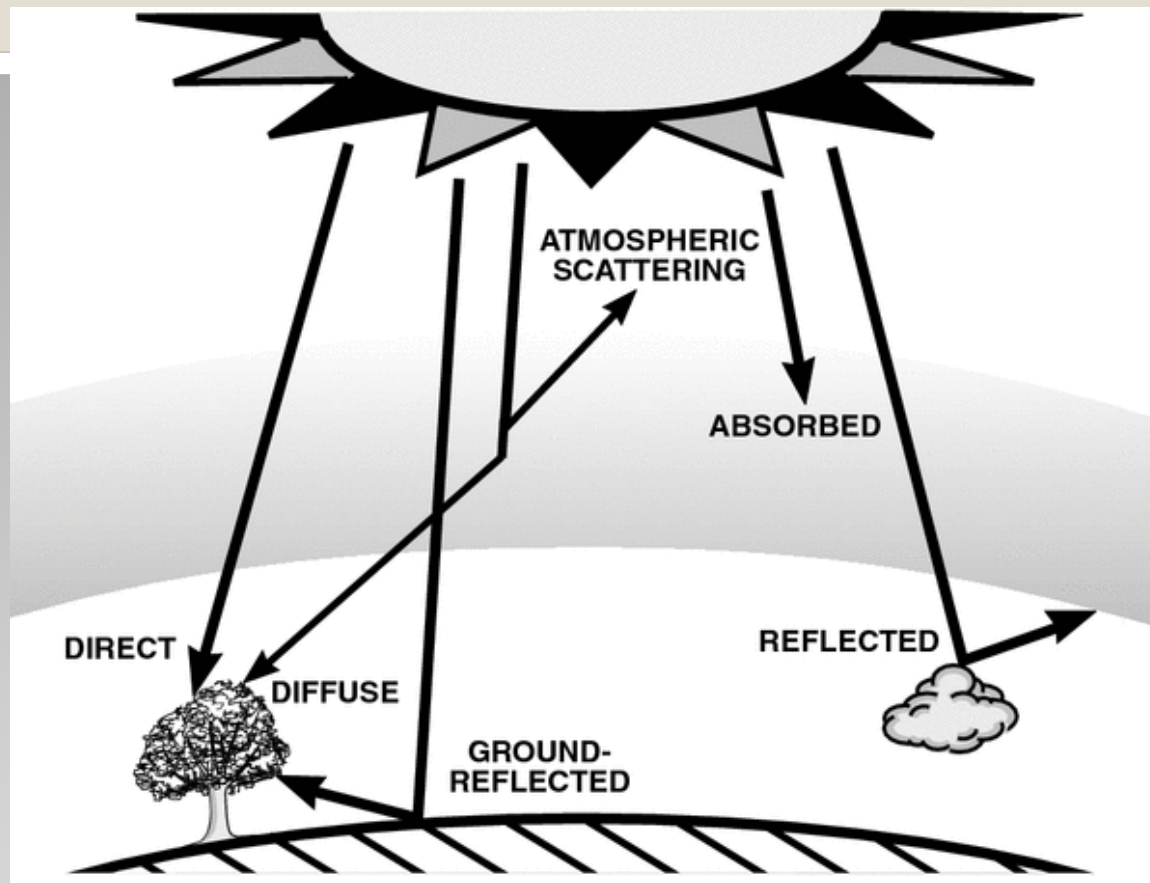


Ηλιακή Ακτινοβολία

Solar Radiation Spectrum



Ηλιακή Ακτινοβολία



Η ολική ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να διαχωριστεί σε δυο συνιστώσες:

- 1. άμεση ("Direct" or "beam" radiation)**
- 2. διάχυτη (Diffuse radiation)**

Τέλος υπάρχει και η ανακλώμενη απ' το έδαφος ηλιακή ακτινοβολία (ή albedo)

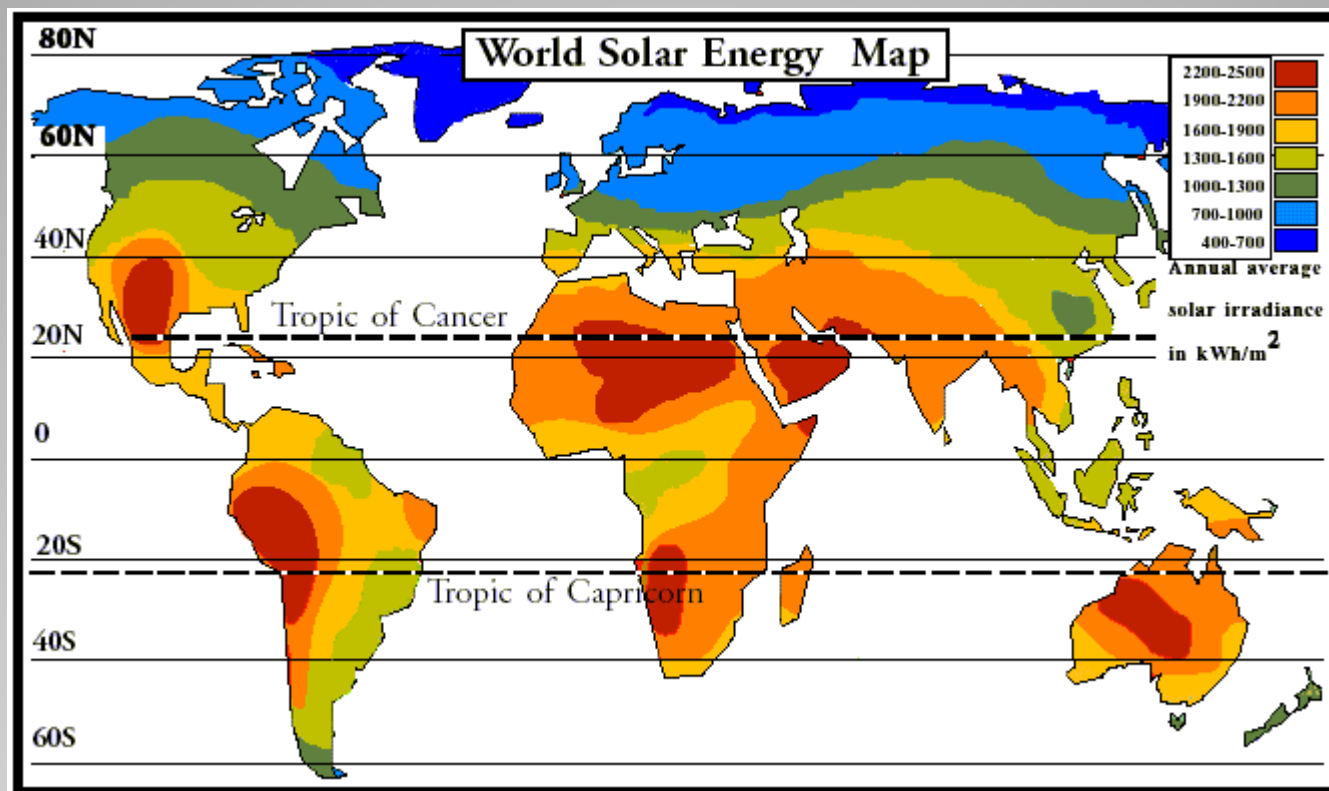
Συνιστώσες ολικής ηλιακής ακτινοβολίας

- **E_{solar} : ηλιακή ακτινοβολία [solar radiation] ή ηλιακή ενέργεια [solar energy]**(μονάδες μέτρησης Joule (J) ,βατώρα (Wh) ή κιλοβατώρα (kWh))
- **J :πυκνότητα ηλιακής ενέργειας [Irradiation]:** «ποσότητα» ηλιακής ακτινοβολίας που «δέχεται» μια επιφάνεια ανά μονάδα μέτρησής της (1Wh/m^2 , 1 kWh/m^2)
- **G :πυκνότητα ηλιακής ισχύος [Irradiance]:** «ρυθμός» με τον οποίο δέχεται ενέργεια μια επιφάνεια ανά μονάδα μέτρησής της (1W/m^2 ή kW/m^2)

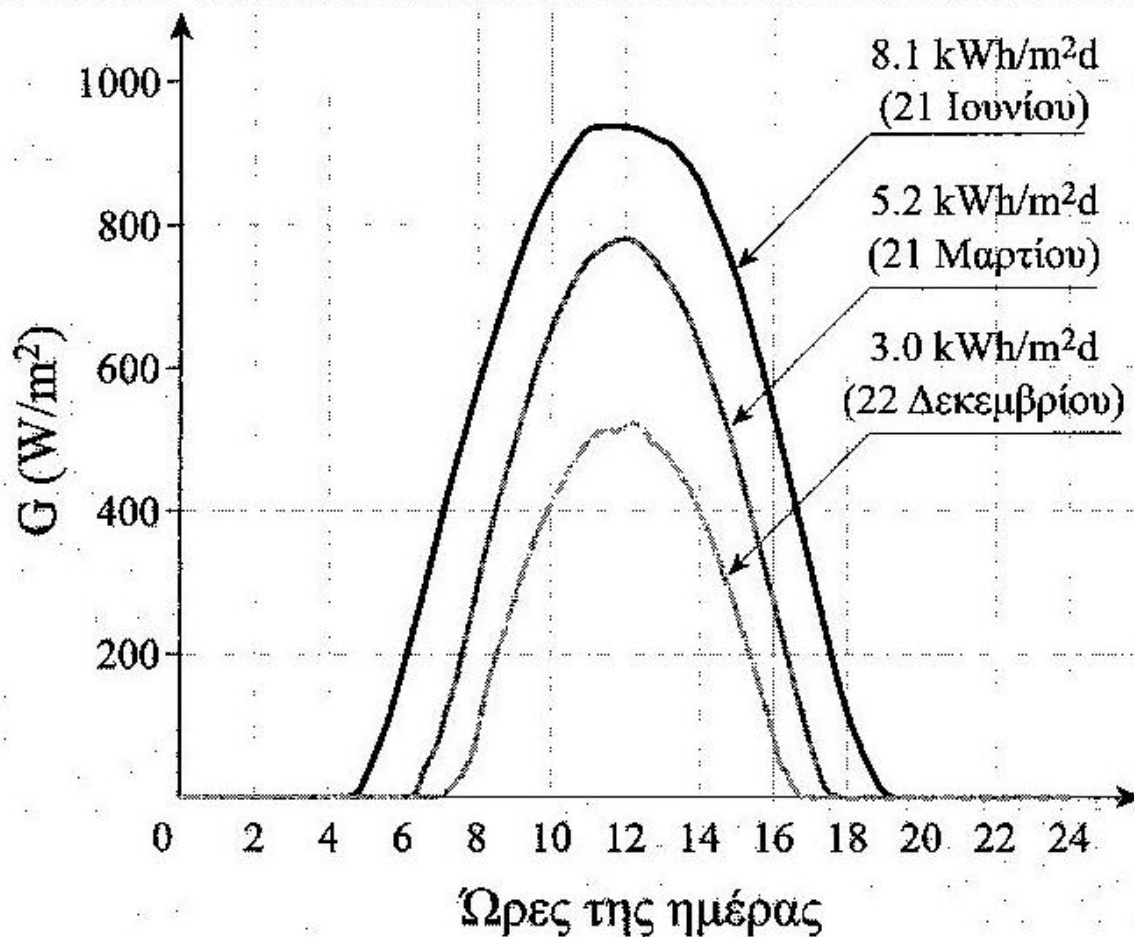


Το πυρανόμετρο μετράει «πυκνότητα ηλιακής ισχύος»!!

**Φυσικά μεγέθη μέτρησης ηλιακής
ακτινοβολίας**

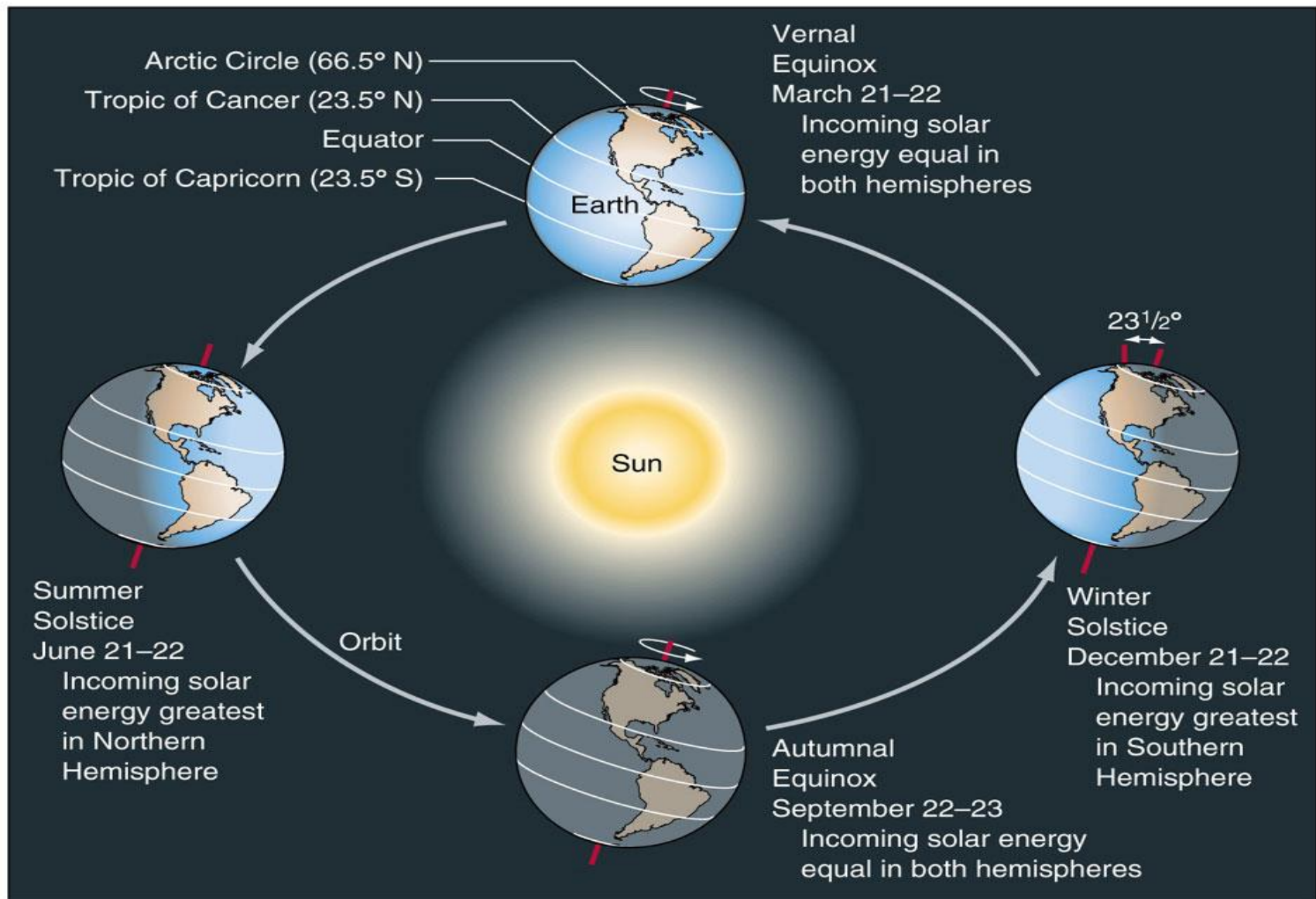


**Παγκόσμια κατανομή πυκνότητας
ηλιακής ενέργειας**



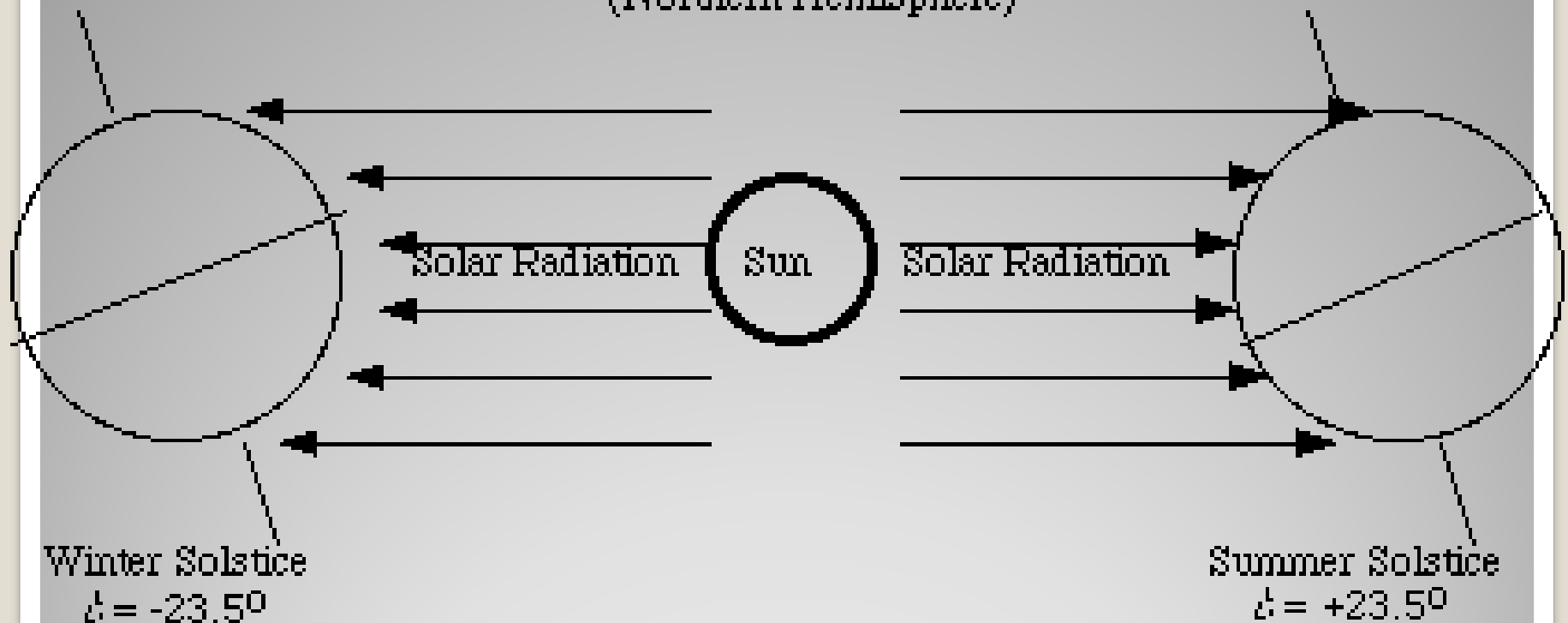
**Κατανομή
πυκνότητας
ηλιακής
ισχύος στην
περιοχή του
Ηρακλείου
Κρήτης**

**Ημερήσια κατανομή πυκνότητας
ηλιακής ενέργειας Ισχύος**



Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στις διάφορες εποχές στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο

Solar Declination Angle
(Northern Hemisphere)



**Η κατανομή της ηλιακής
ακτινοβολίας στα δυο ημισφαίρια
στο χειμερινό και θερινό ηλιοστάσιο**



Ο γενικός σκοπός της άσκησης είναι να κατανοήσουν οι φοιτητές μια απλή εφαρμογή ΑΠΕ όπως είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνα. Ειδικότερα ο στόχος της άσκησης είναι να υπολογίσουν την απόδοση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα.

Γνωσιακοί στόχοι

Μετά την ολοκλήρωση της άσκησης και της εργασίας τους οι φοιτητές θα πρέπει να μπορούν:

1. Να **απαντούν** με **σαφήνεια βασικές ερωτήσεις** που αφορούν στην λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα (πχ «ποια είναι η διαφορά ανάμεσα σε ένα ηλιακό θερμοσίφωνα κλειστού και σε έναν ανοικτού κυκλώματος», «ποιος πρέπει να είναι ο προσανατολισμός και η κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη», κλπ)
2. Να **υπολογίζουν** την **ηλιακή ακτινοβολία/ενέργεια** που δέχεται ένας ηλιακός συλλέκτης με βάση τις ενδείξεις ενός πυρανόμετρου.
3. Να **υπολογίζουν** την **απόδοση** ενός ηλιακού θερμοσίφωνα όταν διαθέτουν το κατάλληλο σετ μετρήσεων.

Σκοπός της άσκησης 4/Γνωσιακοί στόχοι



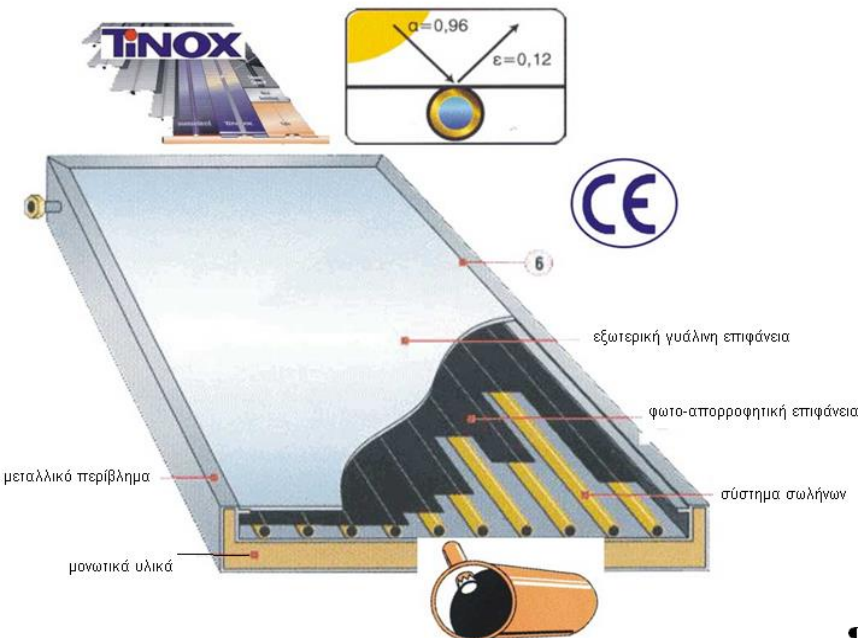
Ο ηλιακός θερμοσίφωνας με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι η πιο απλή διάταξη ενεργειακού ηλιακού συστήματος χαμηλής θερμοκρασίας ($\theta < 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) για την θέρμανση ζεστού νερού.

Μετατρέπει την **ηλιακή ενέργεια** σε **θερμική ενέργεια** του νερού (ή γενικά του θερμικού ρευστού)

Τα μέρη του ηλιακού θερμοσίφωνα

- 1. ηλιακός συλλέκτης**
- 2. το δοχείο συγκέντρωσης-αποθήκευσης** του νερού (δεξαμενή-θερμική αποθήκη)
- 3. κλειστό υδραυλικό κύκλωμα** (εσωτερικό κύκλωμα) σύνδεσης συλλέκτη-δοχείου

Τι είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας με επίπεδο συλλέκτη

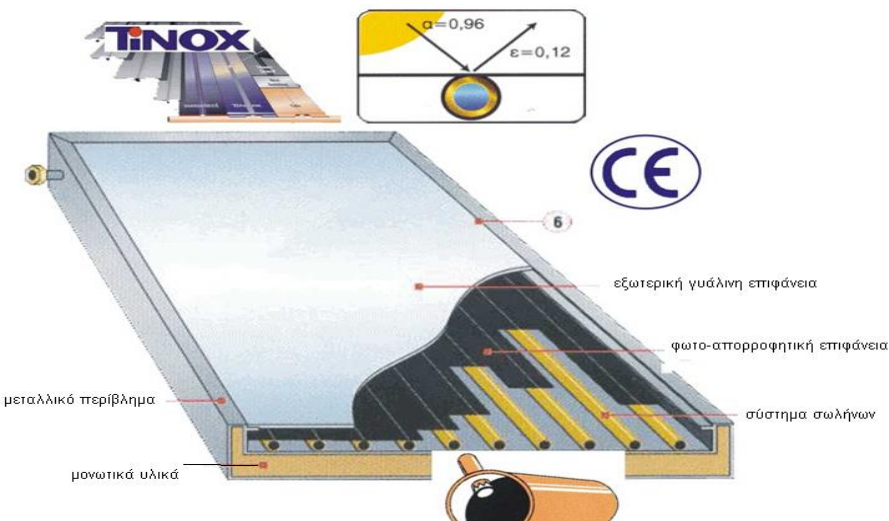


- 1. Εξωτερική διαφανή επιφάνεια :** αποτελείται από μια ή δύο επιφάνειες γυαλιού ή πλαστικού που επιτρέπουν την «είσοδο» της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά εμποδίζουν την «έξοδο» της μεγάλου μήκους κύματος υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια. Επίσης η εξωτερική επιφάνεια εμποδίζει απώλειες θερμότητας εξαιτίας συμμεταφοράς και αγωγής από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια προς τον εξωτερικό αέρα.
- 2. φωτο-απορροφητική επιφάνεια:** είναι κατασκευασμένη από μέταλλο και είναι επιστρωμένη με ειδικό υλικό μαύρου (συνήθως) χρώματος για να απορροφά το μέγιστο ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας (ελαχιστοποιώντας τις ανακλάσεις).
- 3. σύστημα σωλήνων («υδροσκελετός»):** βρίσκεται πίσω από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί το ρευστό (συνήθως νερό) που απάγει την θερμότητα από την επιφάνεια και θερμαίνεται (κύκλωμα απαγωγής της θερμότητας).

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Την εξωτερική διαφανή επιφάνεια (κάλυμμα συλλέκτη)
2. Την φωτο-απορροφητική επιφάνεια (πλάκα-απορροφητής)
3. Το σύστημα σωλήνων («υδροσκελετός» αν περιέχει νερό)
4. Τα μονωτικά υλικά που περικλείουν τον συλλέκτη από όλες τις πλευρές
5. Το μεταλλικό ή πλαστικό περίβλημα που προστατεύει τον συλλέκτη από περιβαλλοντικές φθορές.

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης



Η εξωτερική διάφανη επιφάνεια

αποτελείται από μια ή δύο επιφάνειες γυαλιού ή πλαστικού που επιτρέπουν την «είσοδο» της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά εμποδίζουν την «έξοδο» της **μεγάλου μήκους κύματος** υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια.

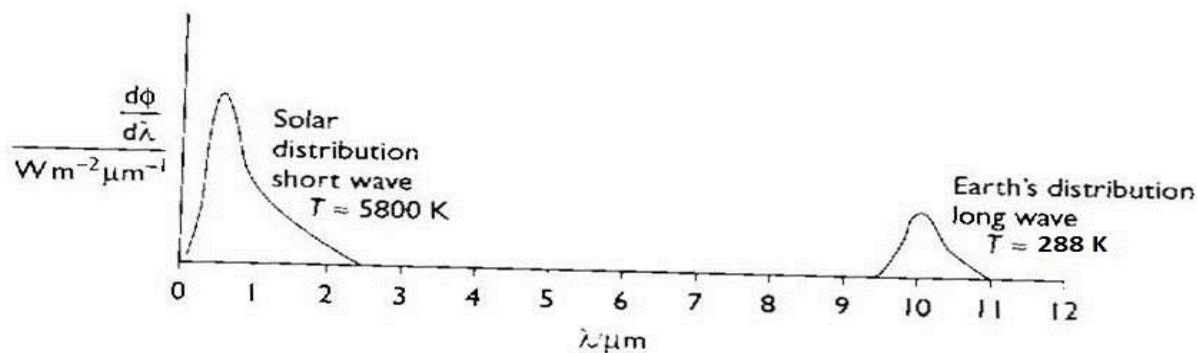
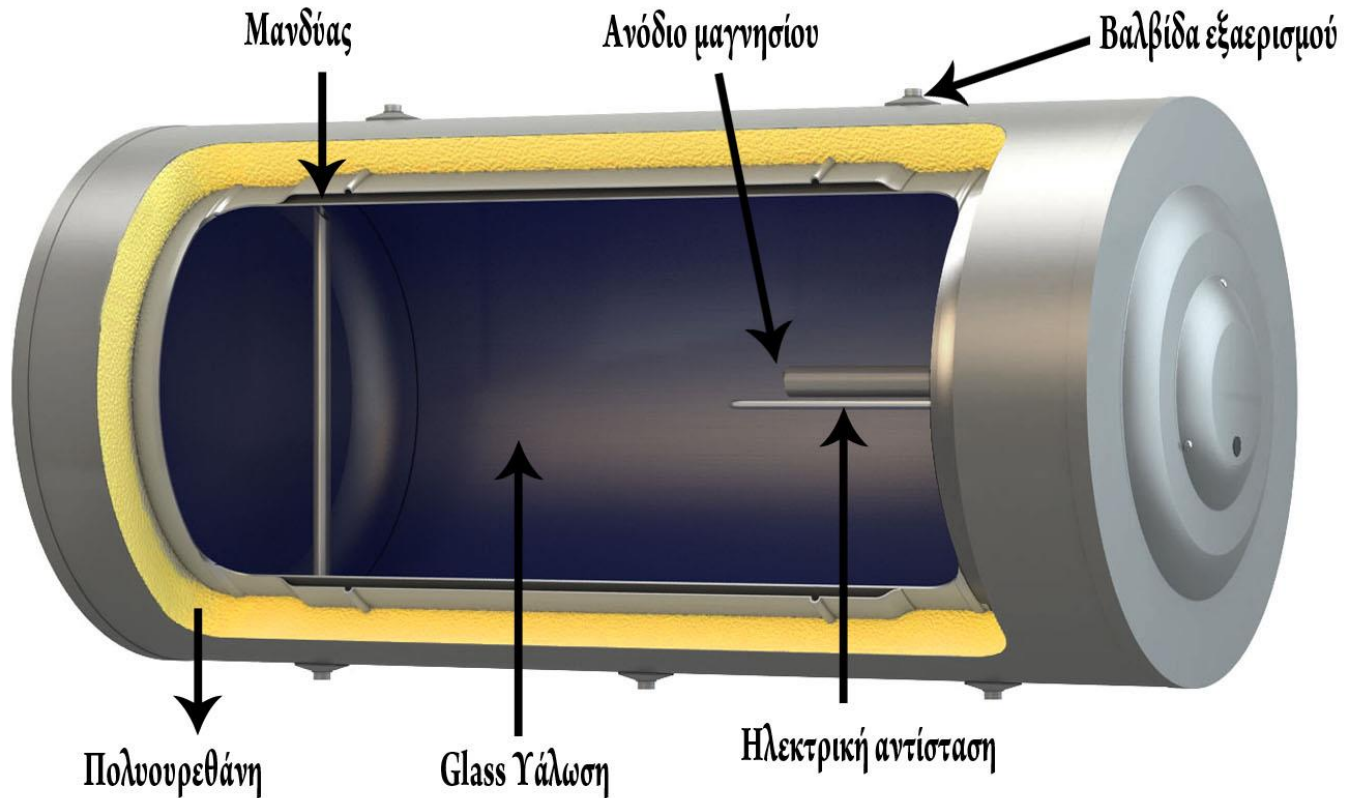


Figure 4.13 Sketch of the short (including visible) and long wave (far infrared) spectral distributions at the top of the atmosphere. See text and Problem 4.8 for further discussion.

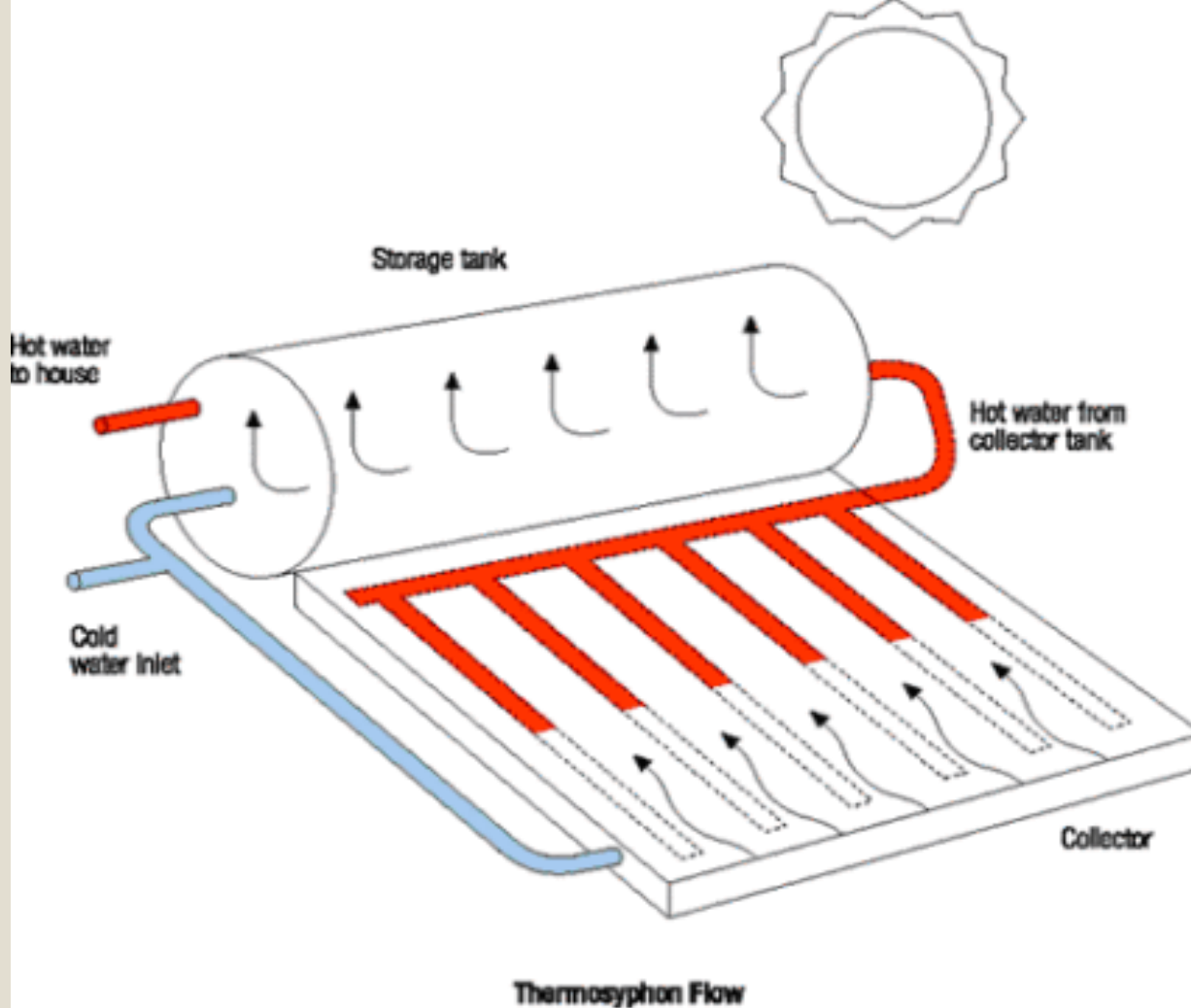
Επίσης η εξωτερική επιφάνεια εμποδίζει απώλειες θερμότητας εξαιτίας συμμεταφοράς και αγωγής από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια προς τον εξωτερικό αέρα.

Η σημασία και η λειτουργία της εξωτερικής διάφανης επιφάνειας



Πηγή: <https://www.electronic.gr/2FFC0027.el.aspx>

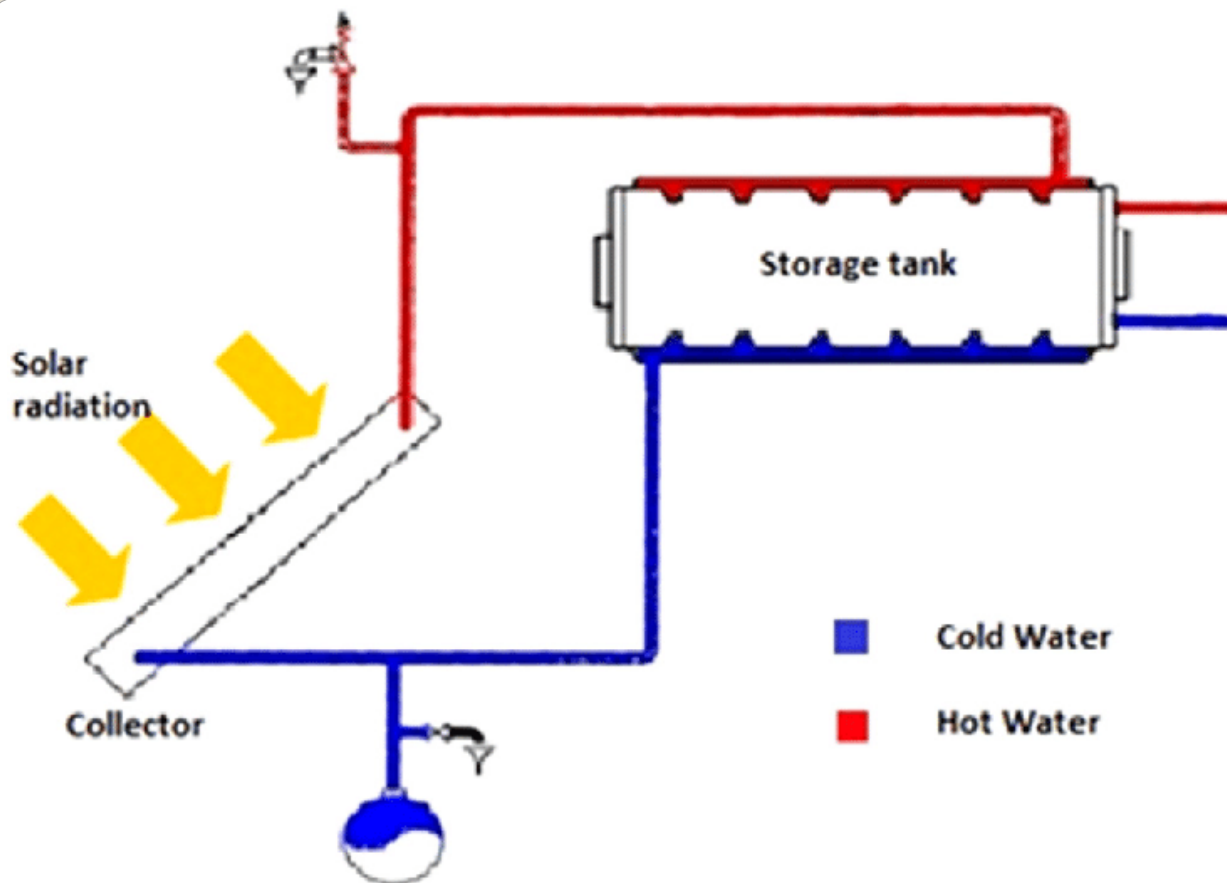
Δοχείο αποθήκευσης



Το υδραυλικό κύκλωμα (που μεταφέρει ζεστό νερό από το δοχείο αποθήκευσης στην κατανάλωση) είναι φυσική συνέχεια του κυκλώματος απαγωγής της θερμότητας (όπως γίνεται στον ηλιακό θερμοσίφωνα του πειράματος).

Πηγή: <https://lifetheexperience.wordpress.com/2015/12/10/solar-water-heating-system/>

Θερμοσίφωνα ανοικτού κυκλώματος



Το υδραυλικό κύκλωμα (που μεταφέρει ζεστό νερό από το δοχείο αποθήκευσης στην κατανάλωση) είναι φυσική συνέχεια του κυκλώματος απαγωγής της θερμότητας (όπως γίνεται στον ηλιακό θερμοσίφωνα του πειράματος).

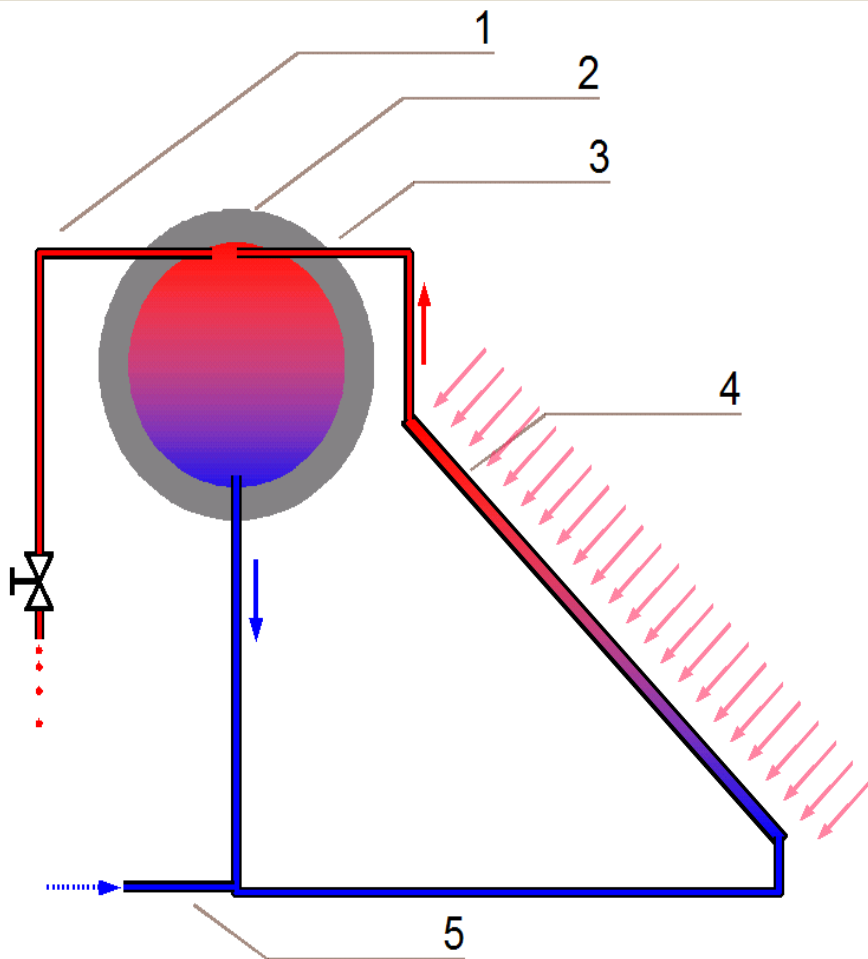
Θερμοσίφωνα ανοικτού κυκλώματος





- **Η ηλιακή ενέργεια** εισέρχεται από την εξωτερική διαφανή επιφάνεια και απορροφάται από την φωτο-απορροφητική επιφάνεια θερμαίνοντας το ρευστό (νερό) που κυκλοφορεί στο σύστημα σωληνώσεων («υδροσκελετός»).
- **Το θερμό ρευστό** μέσω του κλειστού υδραυλικού κυκλώματος οδηγείται στο πάνω μέρος του δοχείου συγκέντρωσης του νερού όπου αποδίδει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας του αυξάνοντας την θερμοκρασία του ρευστού.
- Ταυτόχρονα **ρευστό (ψυχρότερο)** από το κάτω μέρος του δοχείου διοχετεύεται στον «υδροσκελετό» όπου θερμαίνεται και συνεχίζεται η προηγούμενη διαδικασία.
- **Το νερό «ανεβαίνει»** από το κάτω άκρο του συλλέκτη από όπου εισέρχεται σε χαμηλή θερμοκρασία στο άνω άκρο του συλλέκτη και από εκεί στο δοχείο με φυσικό τρόπο (καθώς θερμαίνεται μειώνεται η πυκνότητα του και ανέρχεται ως «ελαφρύτερο»).
- **Το δοχείο** βρίσκεται λίγο πιο ψηλά από τον συλλέκτη και έτσι εξασφαλίζεται η φυσική κυκλοφορία του νερού.
- **Μέσα στο δοχείο** τα ψυχρότερα τμήματα του νερού βρίσκονται «χαμηλά» ενώ τα θερμότερα «ψηλά» (θερμική διαστρωμάτωση του δοχείου).

Λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη (ανοικτού κυκλώματος)



1: το ζεστό νερό από το «πάνω τμήμα» του δοχείου κατευθύνεται στην κατανάλωση

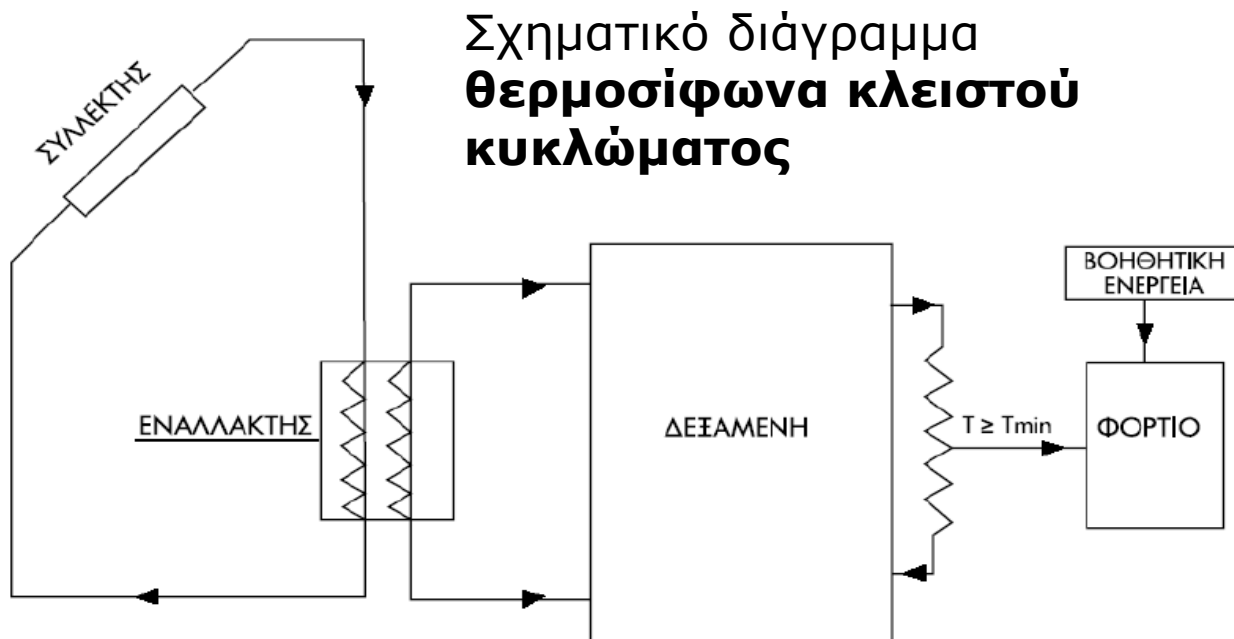
2: το τμήμα του δοχείου που περιέχει την μόνωση

3: το ζεστό νερό από το πάνω τμήμα του ηλιακού συλλέκτη εισέρχεται στο πάνω τμήμα του δοχείου

4: Το κρύο νερό που εισέρχεται στο κάτω τμήμα του ηλιακού συλλέκτη καθώς θερμαίνεται ανέρχεται προς τα πάνω.

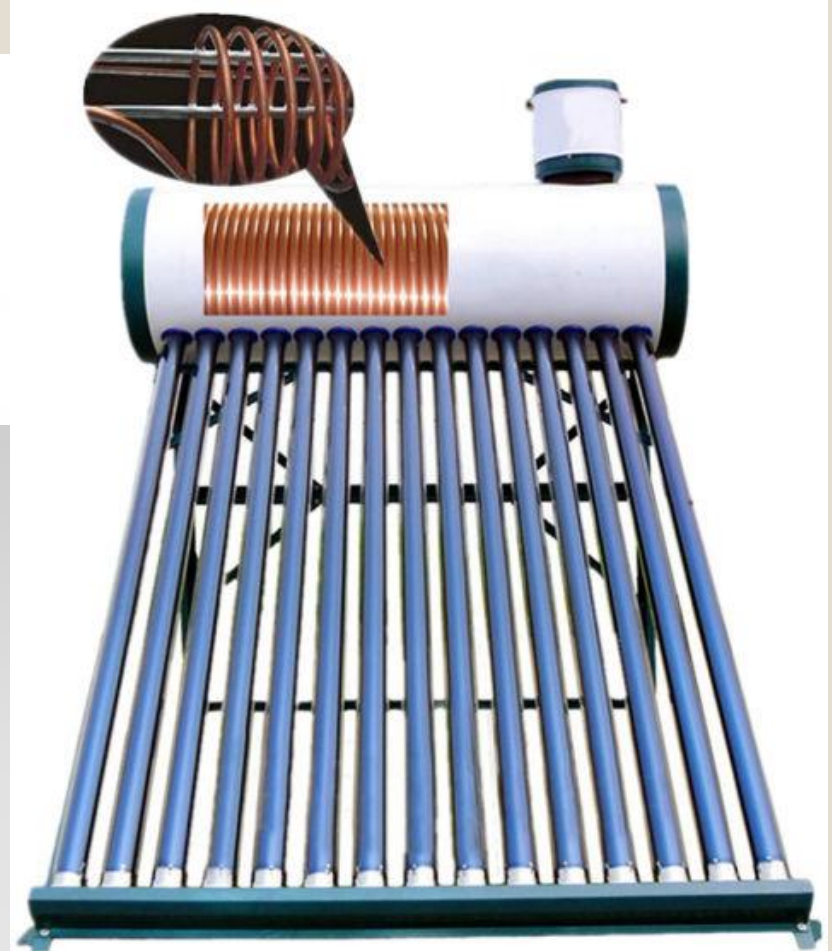
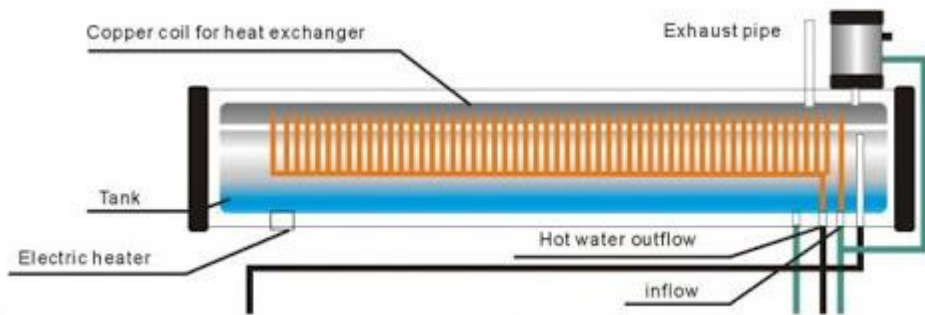
5: Το κρύο νερό εισέρχεται από το κάτω τμήμα του δοχείου προς τον συλλέκτη και επίσης κρύο νερό από την παροχή του δικτύου γεμίζει το δοχείο (στο κάτω τμήμα του) όταν ζεστό νερό φεύγει από το δοχείο προς την «κατανάλωση» από το πάνω τμήμα του.

Λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη (ανοικτού κυκλώματος)



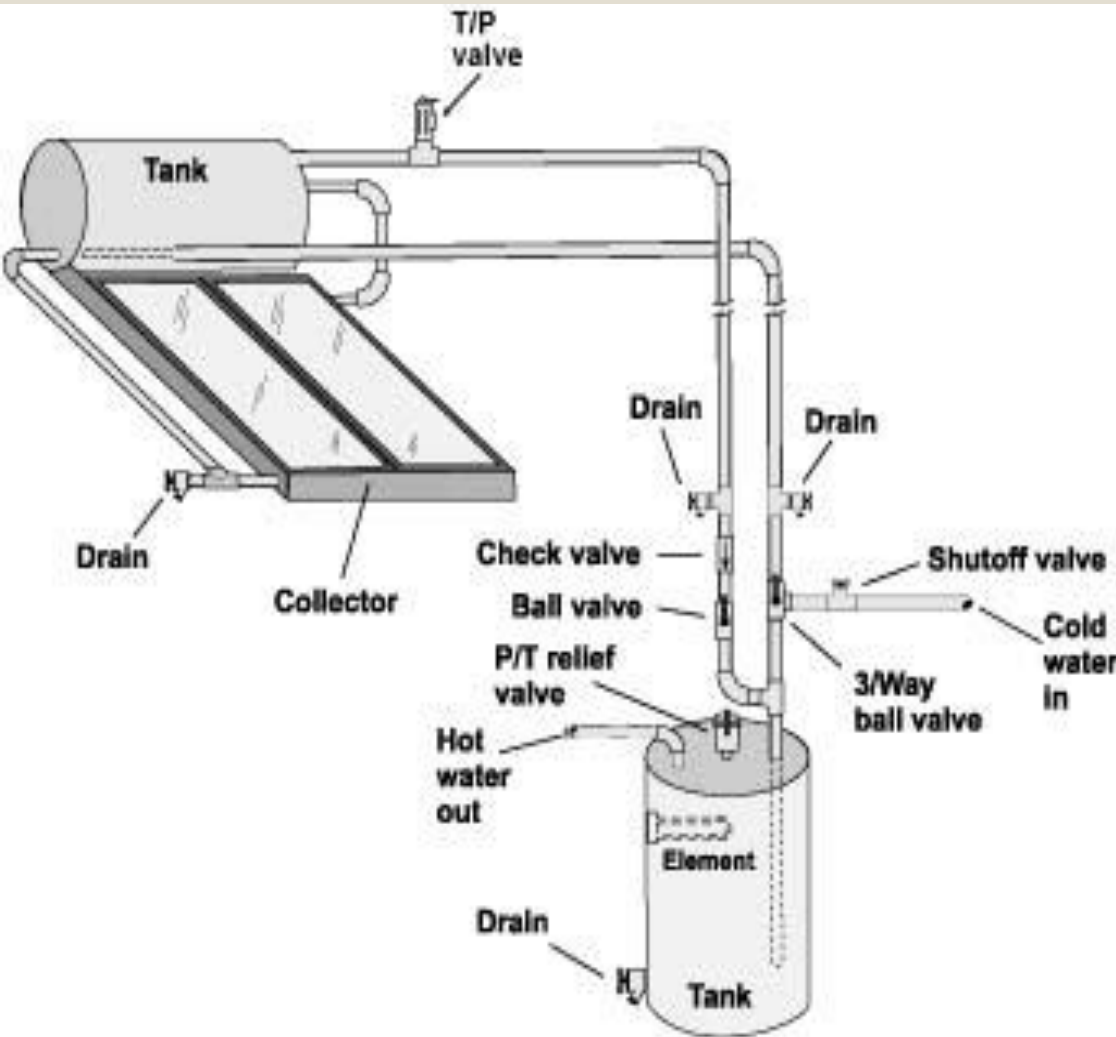
Θερμοσίφοντας κλειστού κυκλώματος : το κύκλωμα απαγωγής της θερμότητας είναι ξεχωριστό από το εσωτερικό υδραυλικό σύστημα (που κυκλοφορεί το ζεστό νερό που χρησιμοποιούμε) καθώς περιέχει άλλο ρευστό ,εκτός του νερού, (συνήθως προπυλενογλυκόλη) που έχει χαμηλότερο σημείο πήξεως και υψηλότερο σημείο ζέσεως από το νερό. Η θερμότητα από το κύκλωμα απαγωγής της θερμότητας στο νερό του κλειστού υδραυλικού κυκλώματος μεταφέρεται με εναλλάκτη θερμότητας.

Θερμοσίφοντας κλειστού κυκλώματος



Στον εναλλάκτη θερμότητας (που συνήθως βρίσκεται μέσα στο δοχείο αποθήκευσης) γίνεται η **ανταλλαγή θερμότητας** ανάμεσα στο κύκλωμα σωληνώσεων του ηλιακού συλλέκτη που κυκλοφορεί το θερμικό ρευστό το οποίο θερμαίνεται από τον ήλιο και το κύκλωμα σωληνώσεων του νερού που συνδέεται με την παροχή του ζεστού νερού στο σπίτι/επαγγελματικό χώρο

εναλλάκτης θερμότητας / heat exchanger



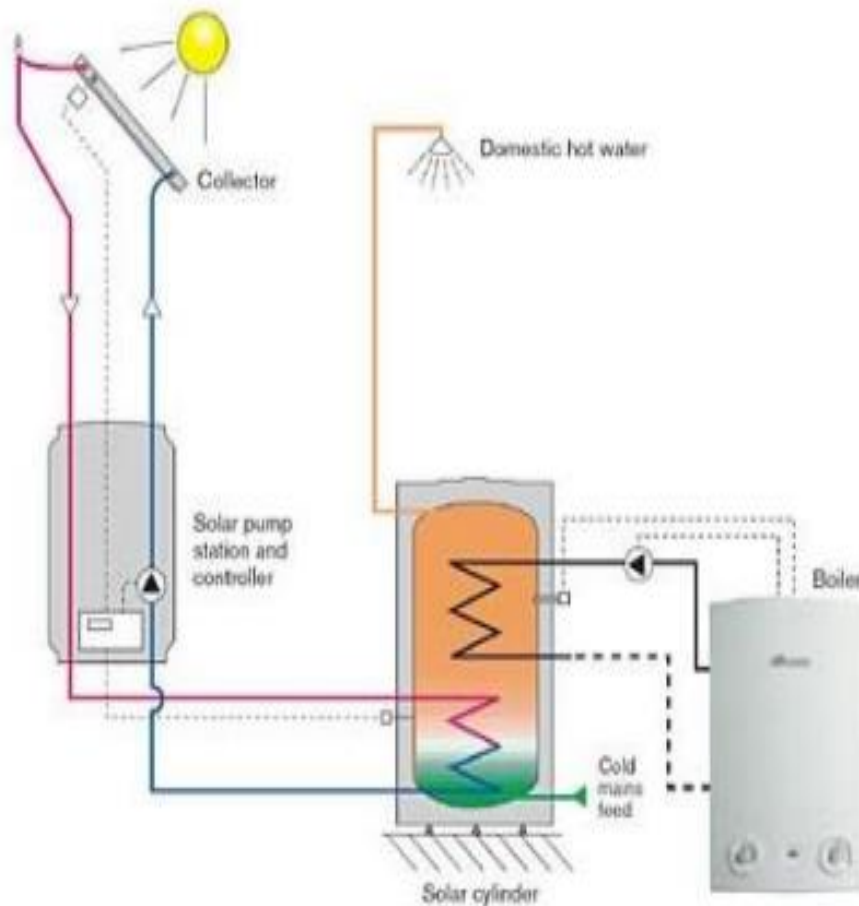
Ο ηλιακός θερμοσίφωνας τριπλής ενέργειας

1^η ενέργεια: θέρμανση του νερού στο δοχείο με ηλιακή ενέργεια

2^η ενέργεια: θέρμανση του νερού στο δοχείο με ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικός αντιστάτης μέσα στο δοχείο)

3^η ενέργεια: θέρμανση του νερού στο δοχείο με ενέργεια από κάποιο υγρό ή στερεό καύσιμο με το οποίο λειτουργεί ο λέβητας του συστήματος θέρμανσης του σπιτιού

Ηλιακός θερμοσίφωνας τριπλής ενέργειας (1)



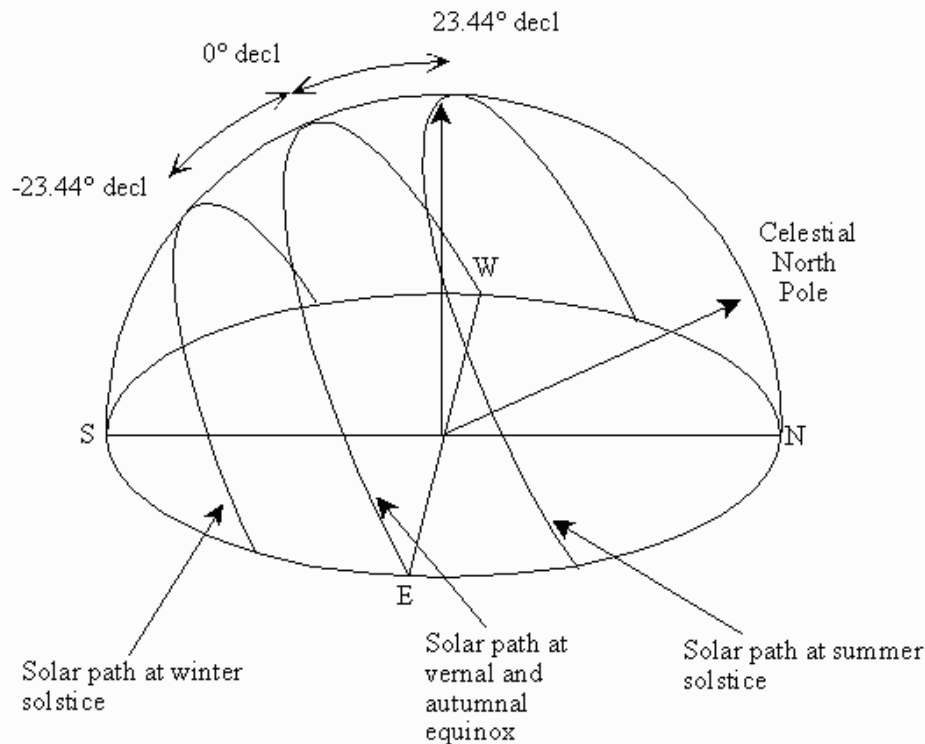
□ Σύστημα στο οποίο το δοχείο αποθήκευσης του νερού δεν είναι πάνω από τον ηλιακό συλλέκτη αλλά στο ισόγειο-υπόγειο(εκεί που βρίσκεται ο λέβητας του συστήματος θέρμανσης του σπιτιού.

□ Για να κυκλοφορήσει το νερό στο σύστημα χρειάζεται «αντλία» (pump)

Ηλιακός θερμοσίφωνας τριπλής ενέργειας (2)

23.44° N latitude

Shadowless noon occurs at summer solstice



Οι ηλιακοί συλλέκτες **προσανατολίζονται** κατά κανόνα σε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό (για το βόρειο ημισφαίριο) και με βόρειο αζιμουθιακό προσανατολισμό (για το νότιο ημισφαίριο)

Στο σχήμα φαίνεται η «φαινομενική» τροχιά του ηλίου σε τρεις συγκεκριμένες ημέρες: χειμερινό ηλιοστάσιο (winter solstice), θερινό ηλιοστάσιο (summer solstice) και φθινοπωρινή ή εαρινή ισημερία (vernal or autumnal equinox). Όπως φαίνεται η τροχιά του ηλίου δεν είναι «κάθετη» στο επίπεδο του τόπου στο οποίο παρατηρούμε την τροχιά αλλά έχει «πλάγια» κατεύθυνση προς το νότο (S, South) όταν βρισκόμαστε στο βόρειο γεωγραφικό ημισφαίριο (και κατεύθυνση προς το βορρά όταν βρισκόμαστε στον νότιο γεωγραφικό ημισφαίριο).

Ο παραπάνω είναι ο λόγος για τον προσανατολισμό των ηλιακών συλλεκτών προς τον νότο (βόρειο ημισφαίριο) και στο βορρά (στο νότιο ημισφαίριο)

Προσανατολισμός του συλλέκτη

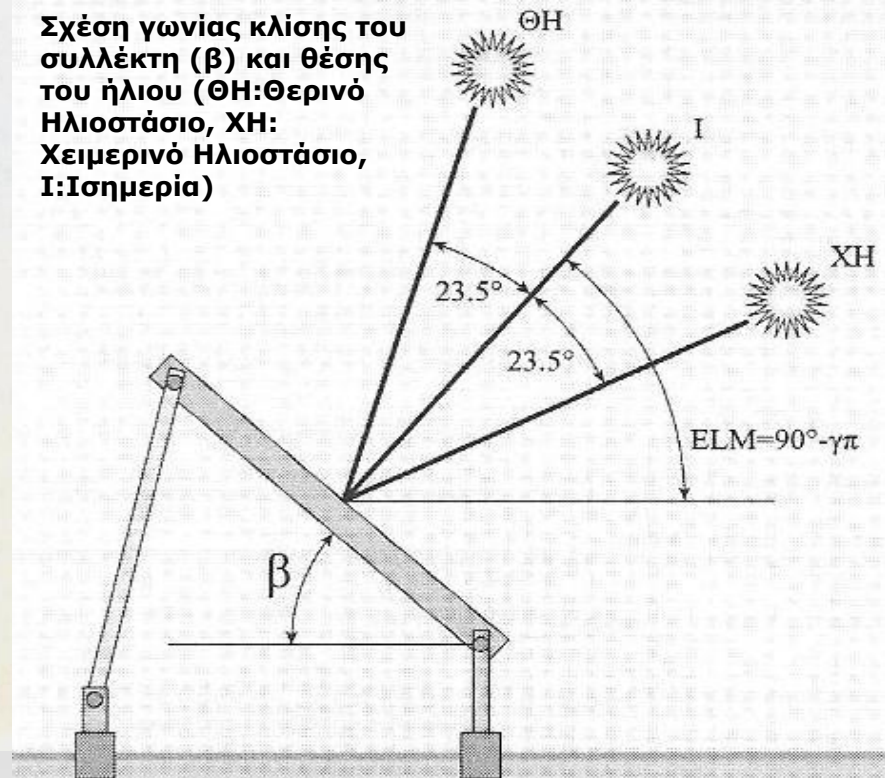
Θέσεις ηλίου και
ηλιακού συλλέκτη
σε τρεις
διαφορετικές
εποχές

A more horizontal
position is better
for summer

A tilt equal to
the latitude gives
best performance in
spring and autumn

A more vertical
position is better
in winter

Σχέση γωνίας κλίσης του
συλλέκτη (β) και θέσης
του ήλιου (Θ H:Θερινό
Ηλιοστάσιο, ΧΗ:
Χειμερινό Ηλιοστάσιο,
Ι:Ισημερία)



Η γωνία κλίσης $+10^\circ$ περίπου πάνω από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (για το βόρειο ημισφαίριο) για να έχουμε μέγιστη απόδοση καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου με ιδιαίτερη έμφαση στην απόδοση του συλλέκτη τον χειμώνα όπου η ηλιοφάνεια είναι μικρότερη (Οι τυπικές θέσεις ενός ηλιακού συλλέκτη είναι δύο: μια για το **θερινό εξάμηνο** 21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου με **κλίση 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου** και μια για το **χειμερινό εξάμηνο** 22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου με **κλίση 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου**). Για την Κρήτη (με γεωγραφικό πλάτος $\sim 35^\circ$ Βόρειο) αυτό σημαίνει μια γωνία κλίσης $\sim 45^\circ$.

Κλίση του συλλέκτη



Σκοπός του πειράματος είναι ο υπολογισμός της απόδοσης (ή του συντελεστή απόδοσης) ενός ηλιακού θερμοσίφωνα με επίπεδο ηλιακό συλλέκτη.

Πειραματική διάταξη

- **Ηλιακός θερμοσίφωνας ανοικτού τύπου** με διαστάσεις ενεργής επιφάνειας 93,5cm X 94.5cm και δοχείο 60 L. Ο όγκος του εσωτερικού υδραυλικού κυκλώματος («υδροσκελετός») του ηλιακού συλλέκτη είναι περίπου 1L.
- **Ψηφιακό θερμόμετρο ακριβείας**
- **Φορητό πυρανόμετρο**
- Χρονόμετρο
- Πυξίδα
- Κλισιόμετρο

Πειραματική διάταξη



**Το πυρανόμετρο στο επίπεδο του
συλλέκτη**



Μέτρηση (έμμεση) της θερμοκρασίας του νερού σε τρία σημεία



**Μέτρηση θερμοκρασίας στην έξοδο
του συλλέκτη**



**Μέτρηση θερμοκρασίας στο
εσωτερικό του δοχείου**



1. Προσανατολίζεται ο ηλιακός συλλέκτης με την βοήθεια της πυξίδας προς τον νότο ή σε προσανατολισμό προς την κατεύθυνση του ηλίου την χρονική περίοδο εκτέλεσης του πειράματος. Με το κλισήμετρο ελέγχουμε την ορθή κλίση του συλλέκτη.
2. Τοποθετούνται οι αισθητήρες του θερμομέτρου σε τρία διαφορετικά σημεία του λιακού θερμοσίφωνα για να μπορεί να μετρηθεί η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη, η θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη και η θερμοκρασία του νερού στο εσωτερικό του δοχείου.
3. Αρχίζει η διαδικασία λήψεων μετρήσεων με το πυρανόμετρο ανά χρονικό διάστημα $\Delta t_i = 1 \text{ min}$ (ή σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα) της πυκνότητας ηλιακής ισχύος που προσπίπτει στο επίπεδο του ηλιακού συλλέκτη. Οι μετρήσεις καταγράφονται στο φύλλο μετρήσεων.
4. Στα ίδια χρονικά διαστήματα λαμβάνονται μετρήσεις για την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη, την θερμοκρασία εξόδου από τον συλλέκτη και την θερμοκρασία του νερού στο εσωτερικό του δοχείου.
5. Μετά από ένα χρονικό διάστημα ($\Delta t = 1 \text{ h}$ ή σε λιγότερο ή περισσότερο χρονικό διάστημα που προσδιορίζει ο επιβλέπων καθηγητής) ολοκληρώνεται η καταγραφή των πειραματικών μετρήσεων.

Εκτέλεση του πειράματος,



Ο (μέσος) συντελεστής απόδοσης του ηλιακού θερμοσίφωνα δίνεται από την σχέση :

$$\eta = Q_{\text{coll}} / E_{\text{inp}}$$

Q_{coll} : η ενέργεια που προσδίδει ο συλλέκτης στο νερό για να ανυψωθεί η θερμοκρασία του κατά $\Delta\theta$

E_{inp} : Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στο συλλέκτη στο χρονικό διάστημα Δt

Επεξεργασία των μετρήσεων (1)



Για τον υπολογισμό του Q_{inp}

$$E_{inp} = \Sigma (G_i A \Delta t_i)$$

(όπου G_i Πυκνότητα ηλιακής ισχύος στο επίπεδο του συλλέκτη σε Watt/m^2 κατά το χρονικό διάστημα Δt_i .

Θεωρώντας ότι στο χρονικό διάστημα των $\Delta t_i = 1, 5$ ή 10 min ή άλλου χρονικού διαστήματος (ανάλογα με τον ρυθμό που λήφθηκαν οι μετρήσεις με το πυρανόμετρο στο φύλλο μετρήσεων) η πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι σταθερή, μπορείτε να υπολογίσετε την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στον συλλέκτη για $1, 5$ ή 10 min και στην συνέχεια την ηλιακή ενέργεια για το χρονικό διάστημα Δt της μίας ώρας $1h$ (ή του χρονικού διαστήματος που μετρήσατε).

Επεξεργασία των μετρήσεων (2)



**Για τον υπολογισμό
του Q_{coll}**

$$Q_{coll} = mc\Delta\theta$$

όπου

m : η μάζα του νερού που κυκλοφορεί
στο κύκλωμα συλλέκτη -δοχείου (gr)
 c : η ειδική θερμότητα του νερού = 4,18
J/gr °C

$\Delta\theta$: η μεταβολή της θερμοκρασίας του
νερού στο δοχείο ($\Delta\theta = \theta_{2\delta\sigma\chi} - \theta_{1\delta\sigma\chi}$)

$\theta_{1\delta\sigma\chi}$: η αρχική θερμοκρασία του νερού
στο δοχείο

$\theta_{2\delta\sigma\chi}$: η τελική θερμοκρασία του νερού
στο δοχείο μετά από χρονικό διάστημα
μιας ώρας 1h (ή του χρονικού
διαστήματος που μετρήσατε)

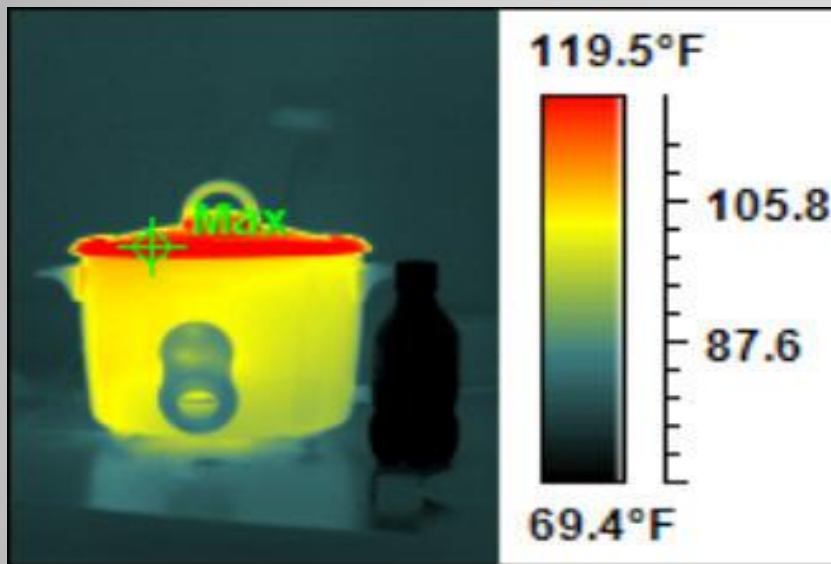
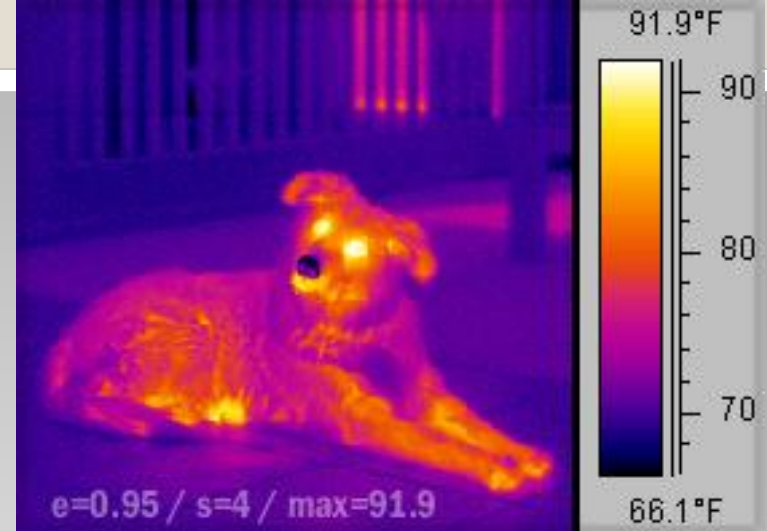
$$1\text{cal} = 4,18 \text{ Joule}$$

Επεξεργασία των μετρήσεων (3)

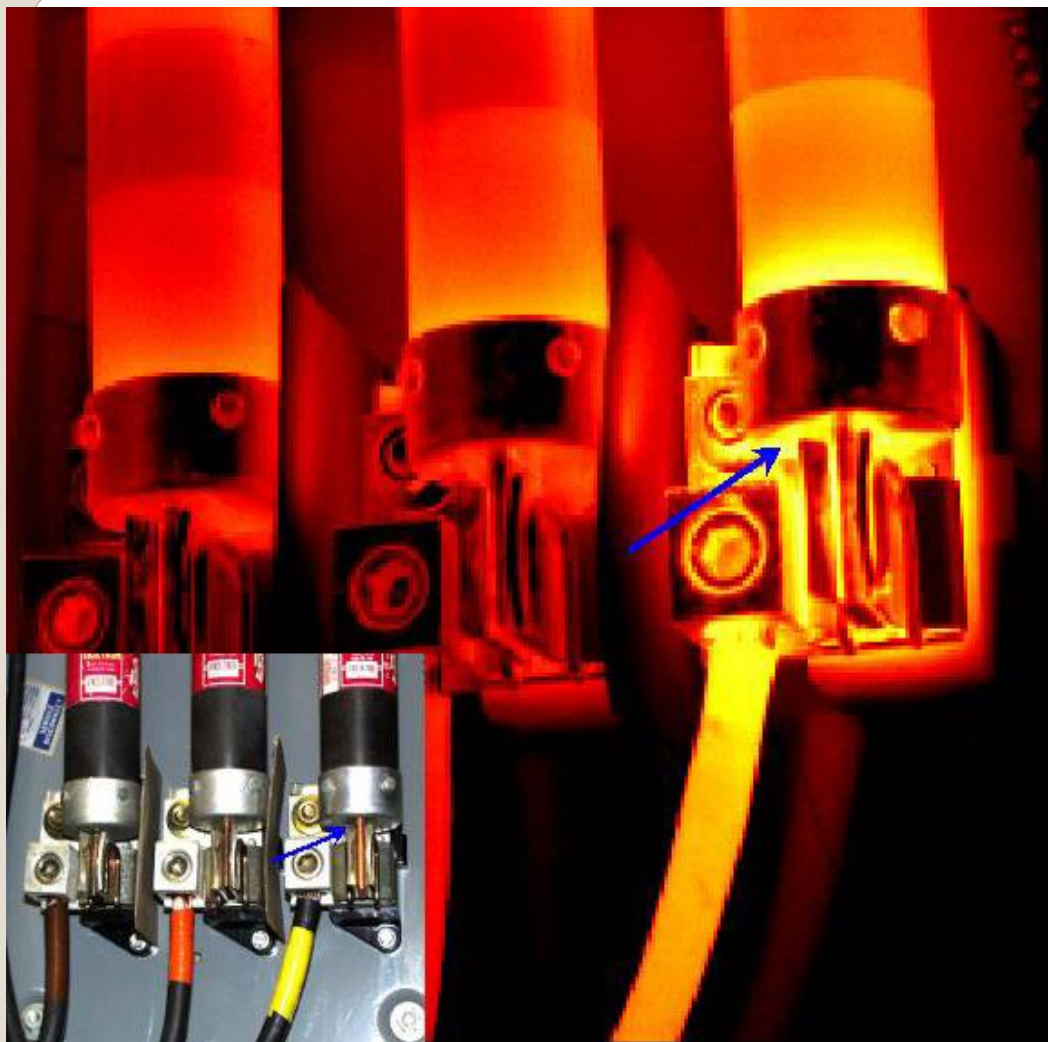
Από τον κανονισμό του μαθήματος (eclass)

- Οι φοιτητές πρέπει να προσέρχονται **προετοιμασμένοι** κατά την εκτέλεση κάθε εργαστηριακής άσκησης, δηλαδή να έχουν **μελετήσει** αντίστοιχη άσκηση από το εργαστηριακό φυλλάδιο και να μπορούν να **απαντούν σε ερωτήσεις** κατά την διάρκεια της προφορικής εξέτασης που θα προηγείται του πειράματος.
- Σε περίπτωση που κάποιος (κάποια) έρχεται **απροετοίμαστος-αδιάβαστος** για την διεξαγωγή της εργαστηριακής άσκησης **χρεώνεται απουσία** για την συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση και **μηδενίζεται ο προφορικός βαθμός του**. Στην περίπτωση αυτή, αν ο φοιτητής επιθυμεί να παραμείνει και να συμμετάσχει στην πειραματική διαδικασία βαθμολογείται κανονικά η εργαστηριακή αναφορά του.

**Προετοιμασία για την διεξαγωγή
του πειράματος**



Εικόνες θερμοκάμερας (1)



Εικόνες θερμοκάμερας (2)

**Ευχαριστώ
για την
Προσοχή σας !**

**Γιάννης Κανάκης
Φυσικός, MSc, ΕΔΙΠ**