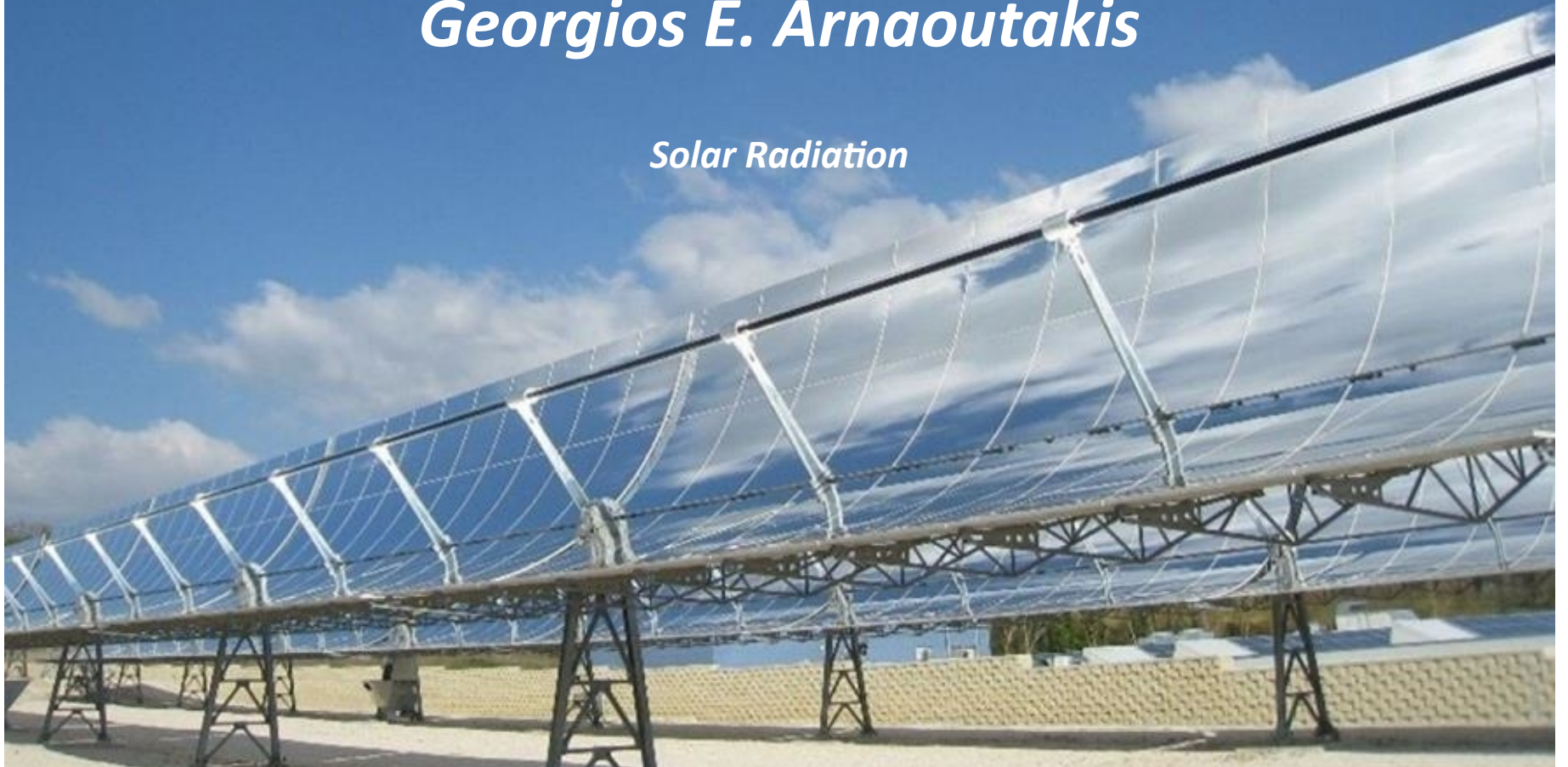


Solar Energy & Applications

Georgios E. Arnaoutakis

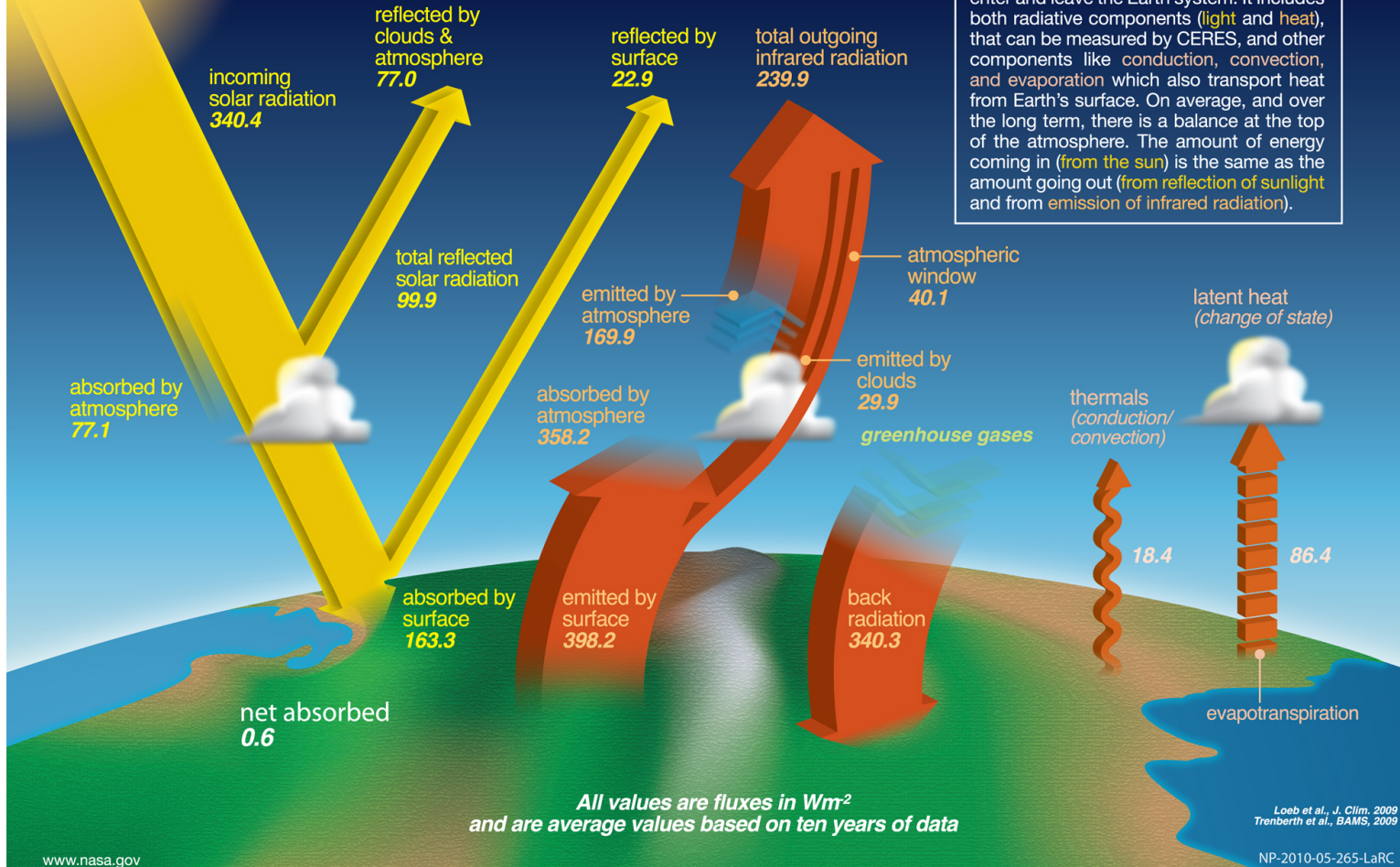
Solar Radiation



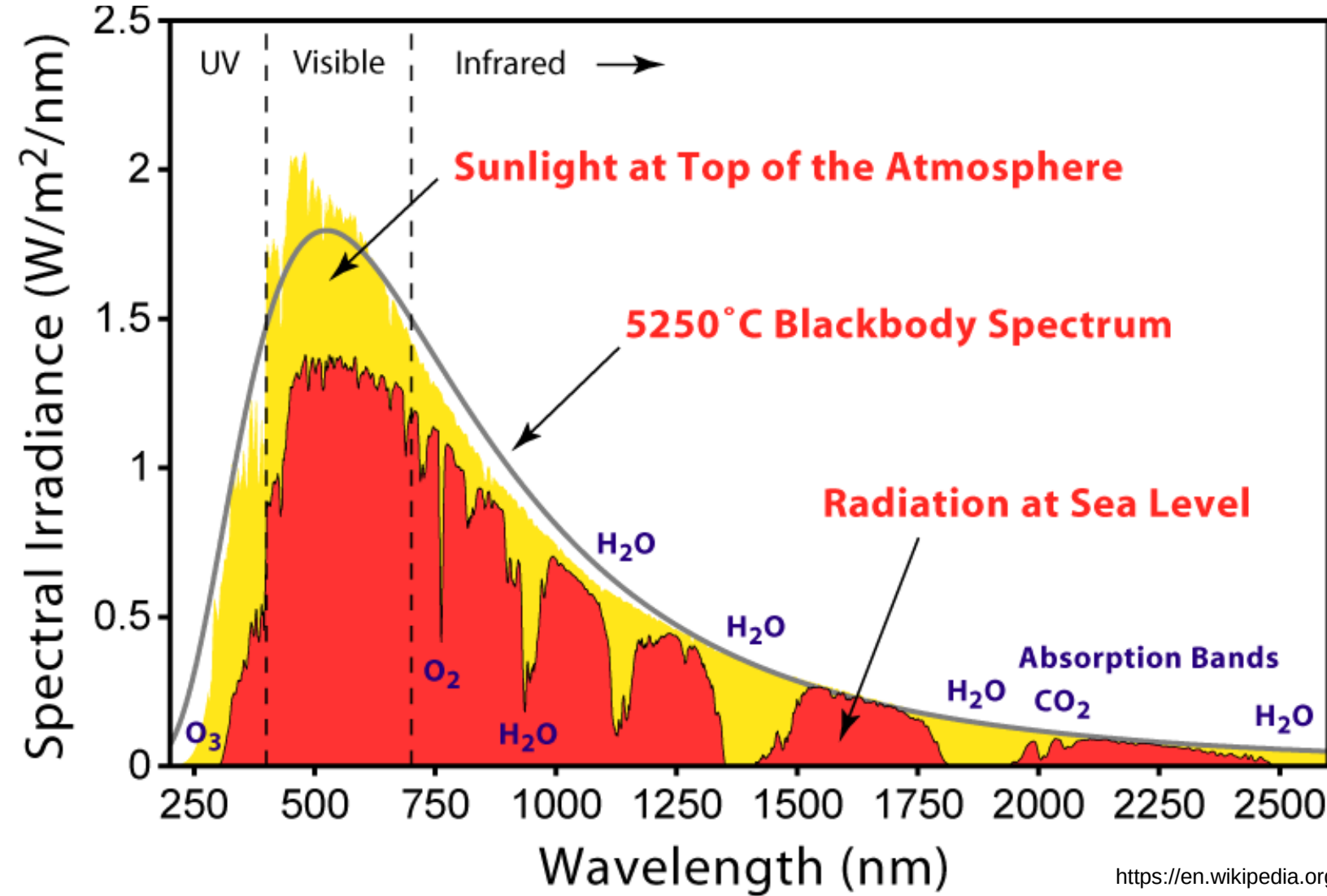


earth's energy *budget*

The Earth's energy budget describes the various kinds and amounts of energy that enter and leave the Earth system. It includes both radiative components (*light* and *heat*), that can be measured by CERES, and other components like conduction, convection, and evaporation which also transport heat from Earth's surface. On average, and over the long term, there is a balance at the top of the atmosphere. The amount of energy coming in (*from the sun*) is the same as the amount going out (*from reflection of sunlight* and from emission of infrared radiation).



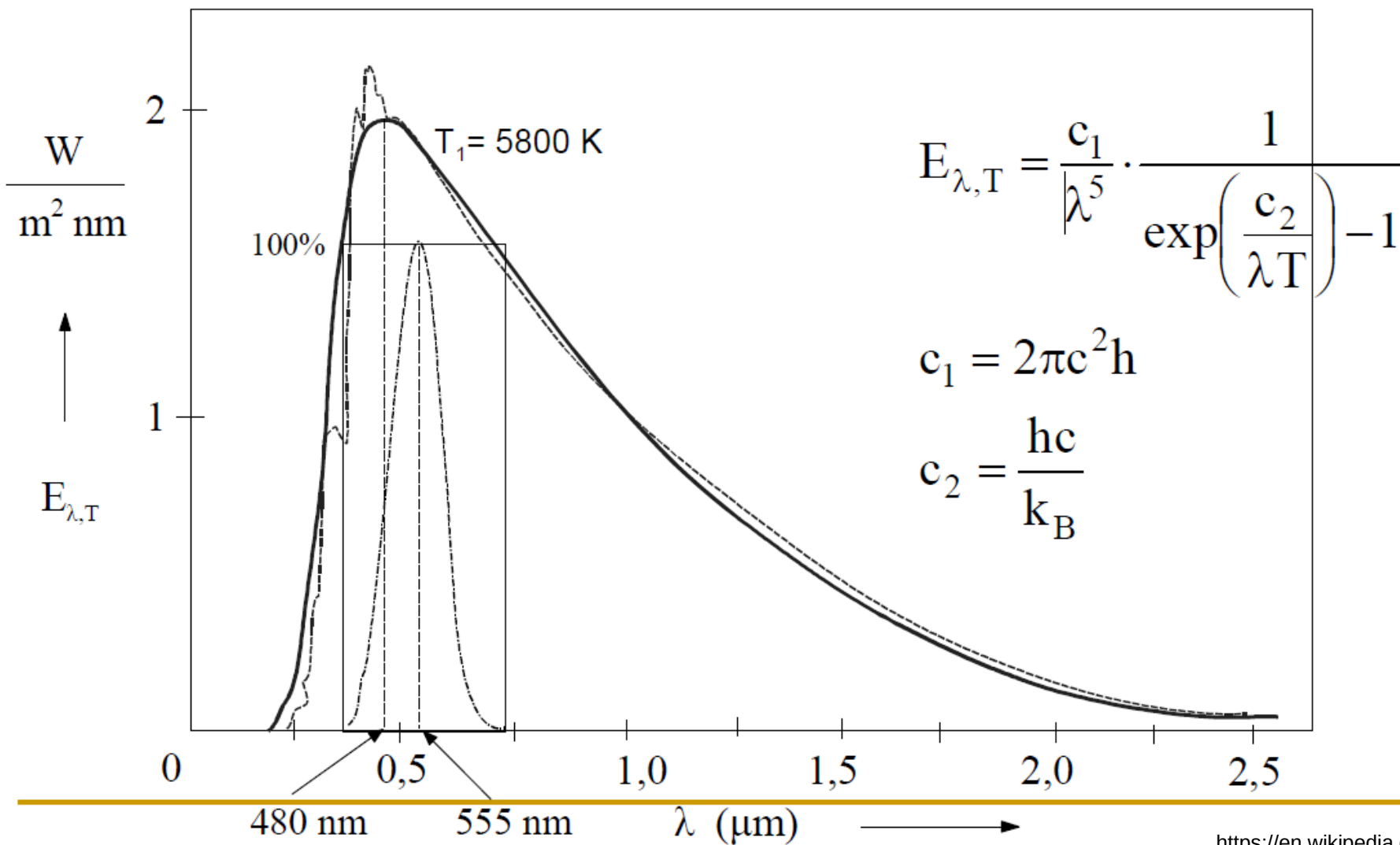
Φάσμα Ηλιακής Ακτινοβολίας



Σύσταση γήινης ατμόσφαιρα (κατ' όγκο)

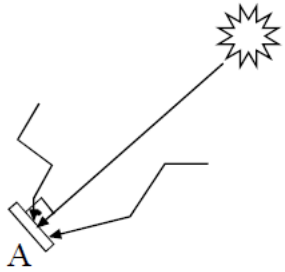
- 78% άζωτο
- 20.9% οξυγόνο
- 0.9% αργό
- 0.33% διοξείδιο του άνθρακα
- Υδρατμούς και σωματία

Φάσμα Ηλιακής Ακτινοβολίας

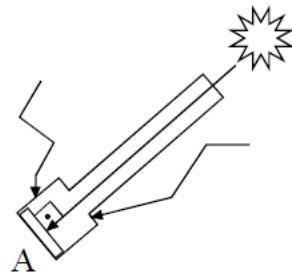


Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας

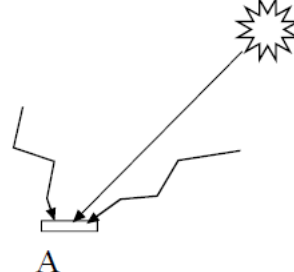
- **Ολική** ηλιακή **κάθετη** ακτινοβολία (Global Normal Irradiance GNI): είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται κάθετα σε μία επιφάνεια
- **Άμεση** ηλιακή ακτινοβολία (Direct Normal Irradiance (DNI): είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση παρά μόνο απορρόφηση στην ατμόσφαιρα
- **Ολική** ηλιακή **οριζόντια** ακτινοβολία (Global Horizontal Irradiance GHI): είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία οριζόντια επιφάνεια
- **Διάχυτη** ηλιακή οριζόντια ακτινοβολία (Diffuse Horizontal Irradiance (DHI): είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα



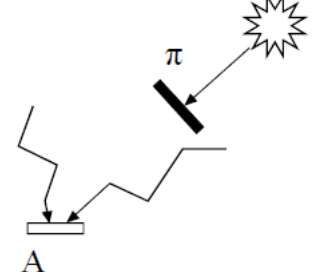
(α)



(β)



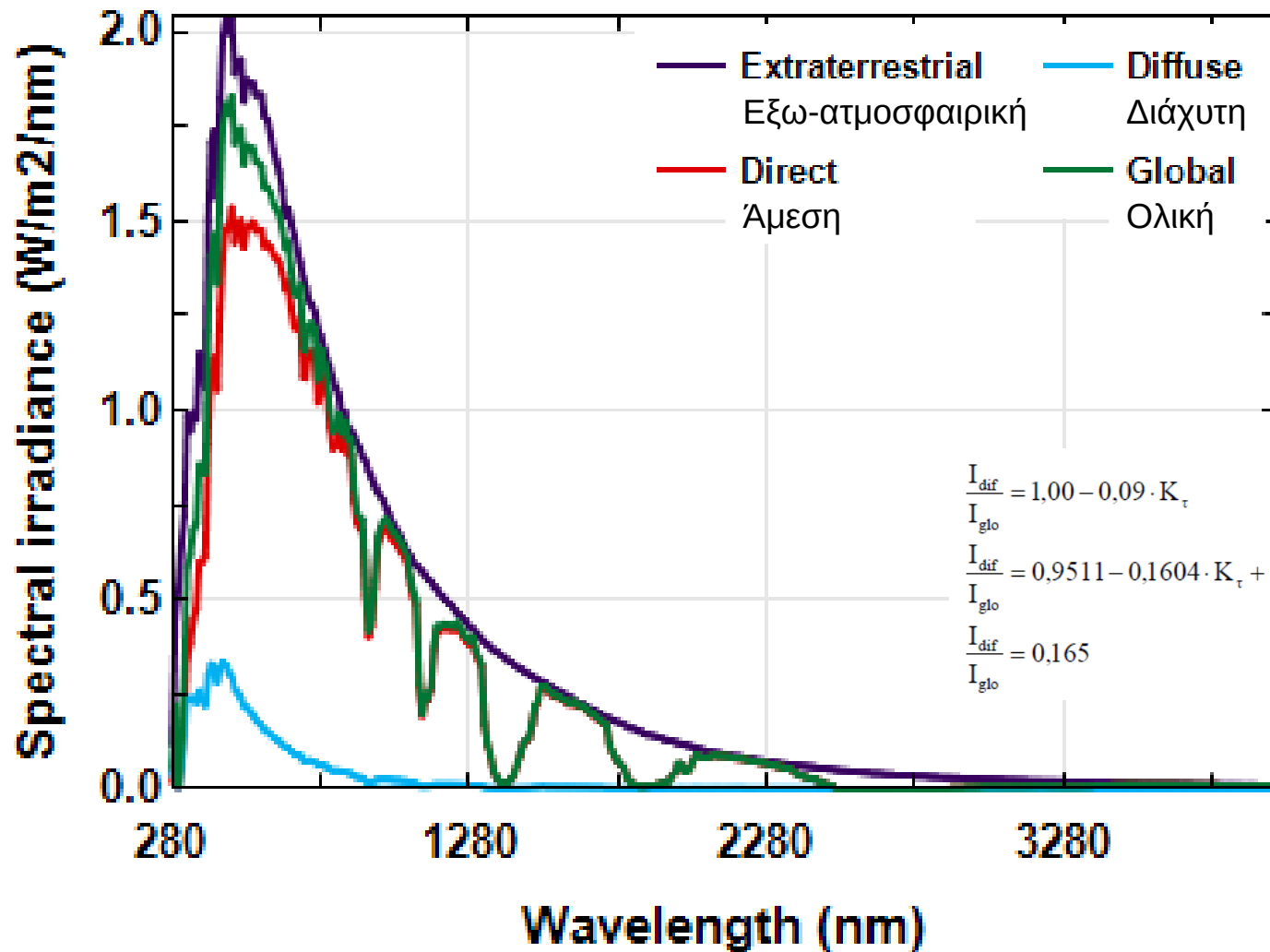
(γ)



(δ)

- Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας **E** (irradiance, W/m^2): είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας
- Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας (irradiation, J/m^2): είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα (1 ώρα, 1 μέρα)

Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας



Δείκτης ωριαίας καθαρότητας

$$K_t = \frac{I_{\text{glo}}}{I_o \cdot \cos(\theta_z)}$$

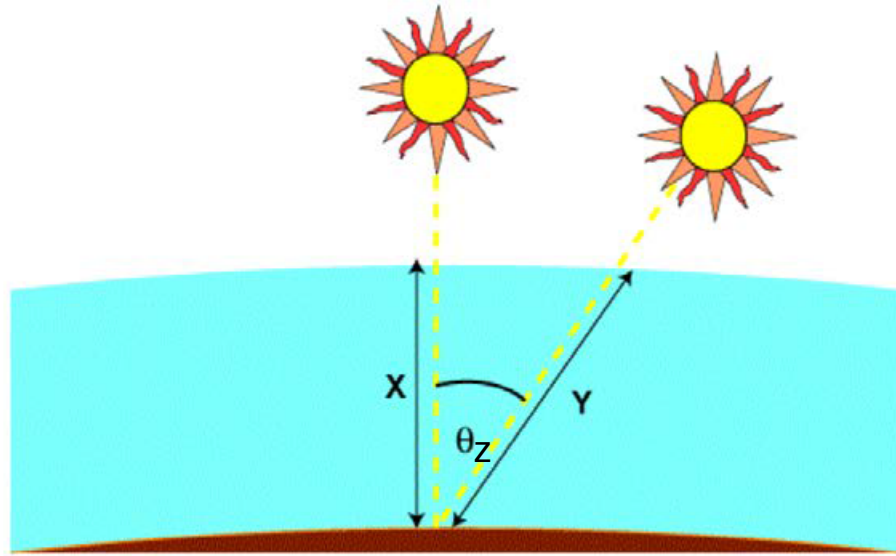
Αν η ολική ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστή σε κάποια θέση, τότε ο υπολογισμός της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τις σχέσεις (Erbs et al., 1982):

$$\frac{I_{\text{dif}}}{I_{\text{glo}}} = 1,00 - 0,09 \cdot K_t \quad \text{για } 0 \leq K_t \leq 0,22$$

$$\frac{I_{\text{dif}}}{I_{\text{glo}}} = 0,9511 - 0,1604 \cdot K_t + 4,388 \cdot K_t^2 - 16,638 \cdot K_t^3 + 12,336 \cdot K_t^4 \quad \text{για } 0,22 < K_t \leq 0,80$$

$$\frac{I_{\text{dif}}}{I_{\text{glo}}} = 0,165 \quad \text{για } K_t > 0,80.$$

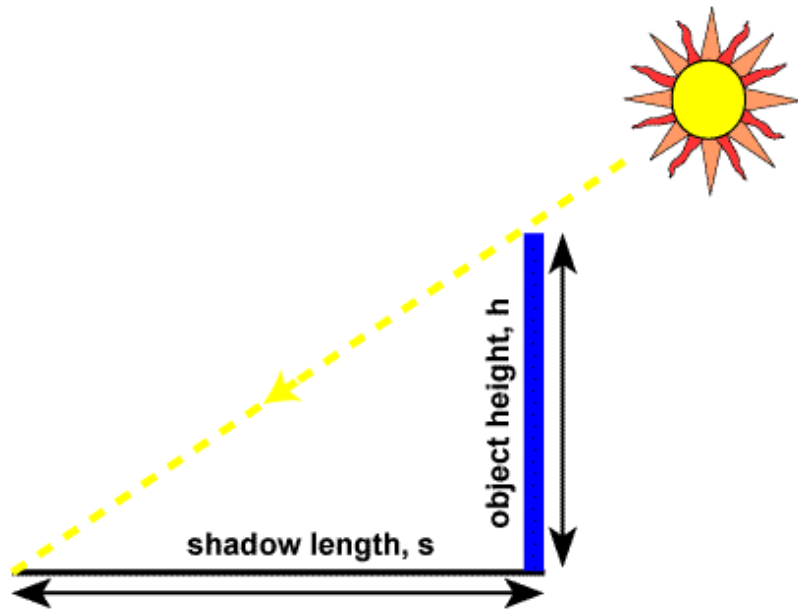
Αέρια μάζα



Μάζα αέρα (AM): Ο λόγος της οπτικής πυκνότητας της ατμόσφαιρας κατά τη διέλευση του ηλιακού φωτός, προς την οπτική πυκνότητα όταν ο ήλιος είναι στο ζενίθ.

$$AM \hat{=} \frac{OD(y)}{OD(x)} = \frac{y}{x} = \frac{1}{\cos \theta_z}$$

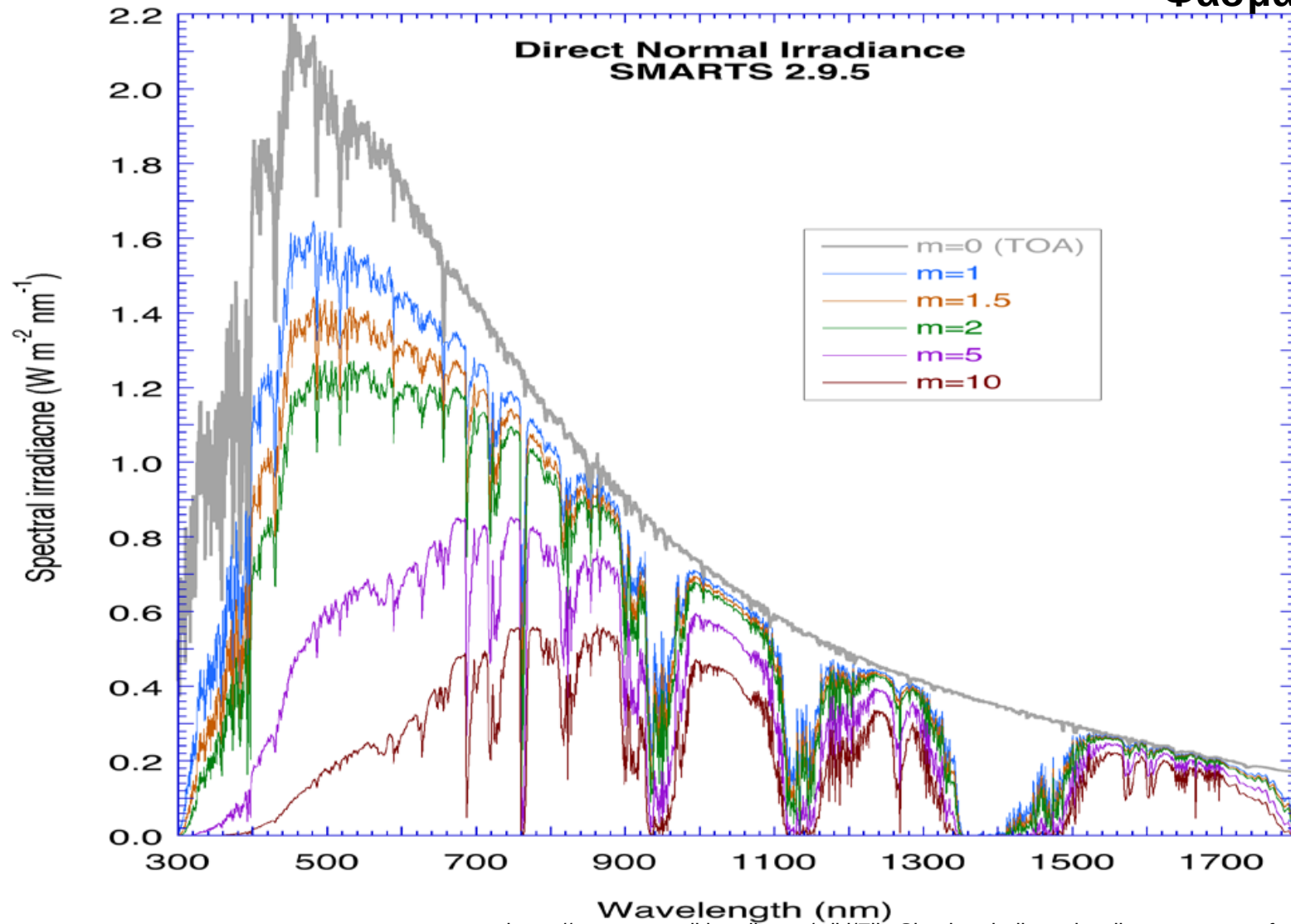
θ_z : γωνία zenith
(αποκορύφωμα)



Υπολογίζεται και από τη σκιά του ήλιου, ως ο λόγος της υποτείνουσας προς την κατακόρυφη πλευρά του ορθογώνιου τριγώνου

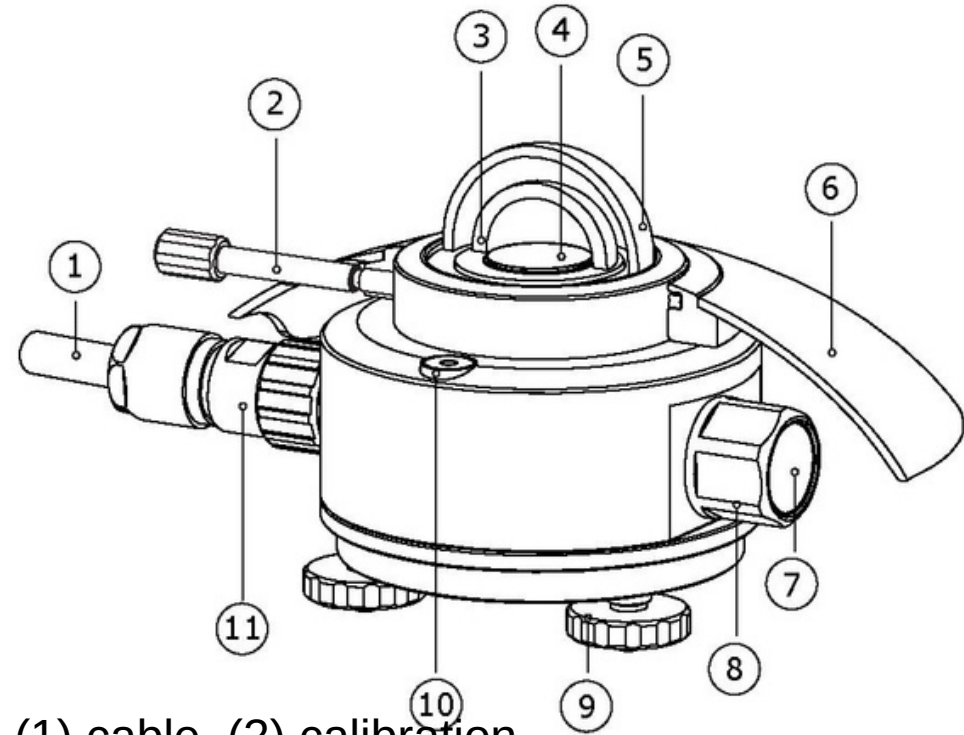
$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2}$$

Φάσμα Ηλιακής Ακτινοβολίας



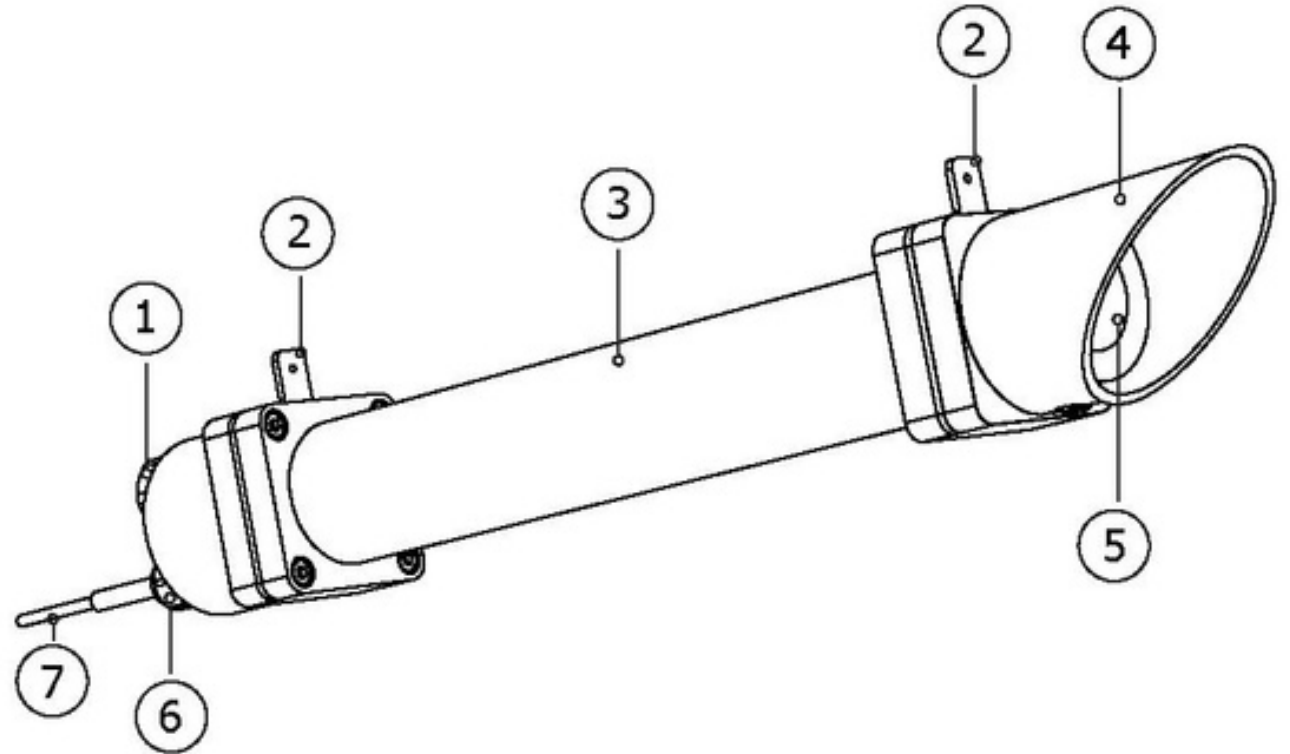
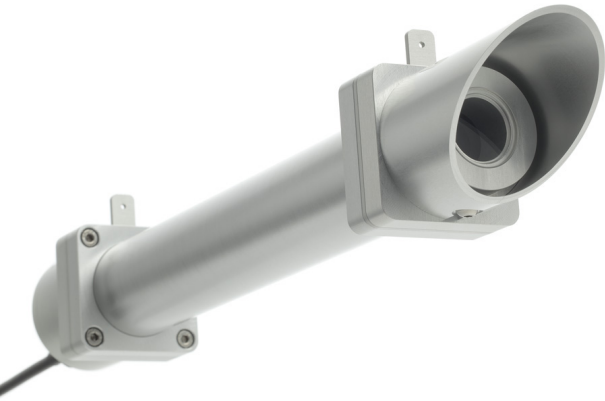


Όργανα μέτρησης: Πυρανόμετρο



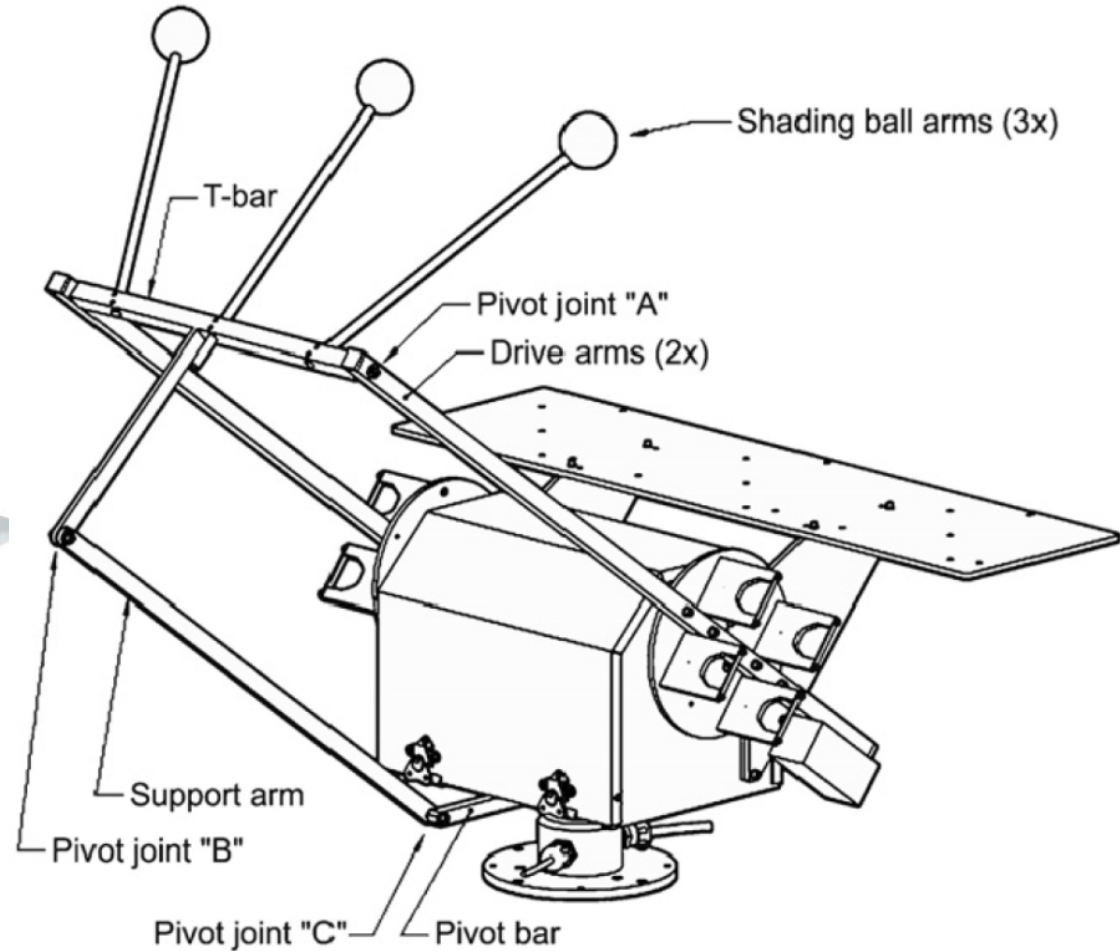
- (1) cable, (2) calibration
- (3) pyranometer
- (4) black detector surface
- (5) glass dome, (6) sun screen
- desiccant (7) indicator, (8) body
- (9) leveling feet
- (10) bubble level, (11) connector

Όργανα μέτρησης: Πυρηλιόμετρο

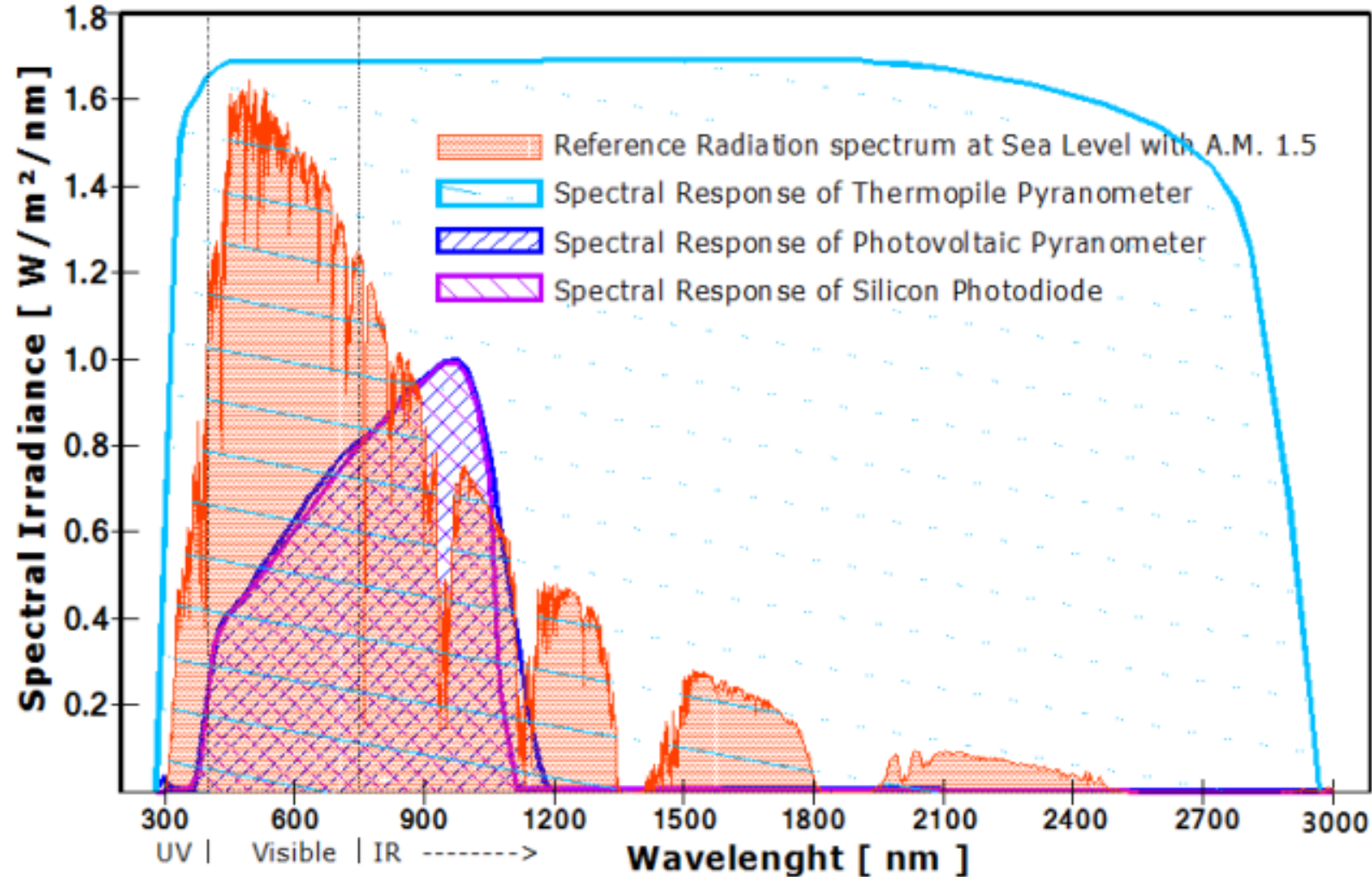


- (1) humidity indicator
- (2) sight
- (3) body
- (4) protection cap
- (5) window with heater
- (6) protection cap
- (7) cable

Όργανα μέτρησης: Ιχνηλάτης παρακολούθησης ηλίου



Spectral Irradiance and Spectral Response



Ηλιακή Σταθερά (solar constant)

Ήλιος: Θερμοκρασία μέλανος σώματος = 5762 °K

Ροή ακτινοβολίας στην επιφάνεια του ήλιου:

- $\sigma T^4 = 5,67 \times 10^8 (5762)^4 = 62,5 \times 10^6 \text{ [W/m}^2\text{]}$

Ποια είναι η ηλιακή ένταση στην τροχιά της γης?

Νόμος $1/R^2$: (από διατήρηση της ενέργειας)

- Απόσταση Ηλίου-Γης (d): $148,6 \times 10^9 \text{ m}$

- Διάμετρος ηλίου (R): $1,39 \times 10^9 \text{ m}$

→ η ένταση σε τροχιά είναι $[(1,39/2)/149,5]^2$
φορές την ένταση στον ήλιο

= **1367 W/m² ηλιακή σταθερά Gsc**

Μέτρηση μέσω δορυφόρων: 1352-1373 W/m²

Διαφορά?

