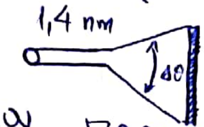
Άσκηση 6 (Photometric Quantities)

α) Σύμφωνα με τις σημειώσεις του μαθήματος OptEng / Gaussian_Beams.pdf (σελ. 8/21): η ισχύς που μεταφέρεται από τη Gaussian δέσμη είναι ανεξάρτητη της απόστασης z και συνεπώς διατηρείται. Μάλιστα, το άνοιγμα της δέσμης από το (minimum) beam waist συμβαίνει ώστε να διατηρείται η ισχύς αυτή σταθερή.

$\Phi_v = 683 (lm/W) \cdot V(\lambda_0) \cdot \Phi_e(\lambda_0)$



(φωτεινή ισχύς (luminous power) που προσπίπτει στο παραπέτασμα.

Παρατίθενται 2 λύσεις που διαφέρουν μόνο ως προς τις τιμές των αποτελεσμάτων:

Α' τρόπος

Εύρεση $V(\lambda_0)$

$$\frac{V(514,5)-V(514)}{V(515)-V(514)} = \frac{514,5-514}{515-514} \Rightarrow$$

$$V(514,5) = 0,586965300 + (0,6082 - 0,586965300)\,\frac{0,5}{1} \Rightarrow$$

$$V(514,5) = 0,59758265 \simeq 0,5976$$

Άρα, $\Phi_v = 683 \cdot 0,5976 \cdot 2,8 \, \frac{lm}{\cancel{W}} \cdot \cancel{W} \Rightarrow \Phi_v = 1142,85024 \Rightarrow \boxed{\Phi_v = 1142,8502 \, lm}$

(β) Άνοιγμα (απόκλιση) της δέσμης από το (minimum) beam waist:

beam divergence: $\Delta\theta = 2\theta \simeq \frac{2\lambda_0}{\pi n w_0} \Rightarrow \Delta\theta = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\lambda_0/n}{D_0}$

$D = 2w_0$: ελάχιστη διάμετρος (minimum beam waist) $\pi \simeq 3,14$

$\Delta\theta = 2\theta$, κενό: $n=1$ $\Delta\theta = \frac{4}{\pi} \frac{514,5 \, \cancel{nm}}{1,4 \cdot 10^6 \, \cancel{nm}} \Rightarrow \Delta\theta = 4,68 \cdot 10^{-4} \, rad \Rightarrow$

$\Delta\theta = 0,468 \, mrad$

ή $4,68 \cdot 10^{-4} \, \frac{180^\circ}{\pi} = 0,0268^\circ$

Διάμετρος κύκλου $D = R \cdot \Delta\theta = 10m \cdot 4,68 \cdot 10^{-4} \, rad \Rightarrow$

$D = 4,68 \cdot 10^{-3} \, m$ ή $D = 4,68 \, mm$

κύκλος $A = \frac{\pi D^2}{4}$

Επιφάνεια κύκλου διαμέτρου D: $A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow A \simeq 1,7193 \cdot 10^{-5} \, m^2$

illuminance: $E_v = \frac{\Phi_v}{A} = \frac{1142,8502}{1,7193 \cdot 10^{-5}} \frac{lm}{m^2} = 66471831,56 \, \frac{lm}{m^2}$ ή lux

ή $E_v \simeq 664,72 \cdot 10^5$ lux

Σύμφωνα με σημειώσεις:
1 footcandle = 10,764 lux $\} \rightarrow E_v = \frac{66471831,56 \, lm}{10,764} = 6175383,831$ footcandles
ή $\simeq 6,1754 \cdot 10^6$ footcandles

Β' τρόπος

Εάν ακολουθήσουμε πιστά το παράδειγμα 4 στη 6/7 του πακέτου λύσεων της σειράς 1 θα έχουμε:

$$\frac{V(514,5) - V(510)}{V(520) - V(510)} = \frac{514,5 - 510}{520 - 510} \Rightarrow$$

$$V(514,5) = 0,503 + (0,710 - 0,503)\underbrace{\frac{514,5 - 510}{520 - 510}}_{0,45} = 0,59615 \text{ ή } 0,5962$$

Άρα, $\Phi_v = 683 \left(\frac{lm}{W}\right) \cdot 2,8\,W \cdot 0,59615 \Rightarrow \Phi_v = 1140,07726$ ή

$\Phi_v = 1140,0773\ lm$

$D = 4,68 \cdot 10^{-3}\,m$

$A = 1,7193 \cdot 10^{-5}\,m^2$

Άρα, $E_v = \frac{1140,0773\ lm}{1,7193 \cdot 10^{-5}\,m^2} = 66310550,81 \frac{lm}{m^2}$ ή lux

ή $\simeq 663 \cdot 10^5$ lux

ή $66310550,81 \frac{lm}{10,764} = 6160400,484$ footcandles

ή $\simeq 6,16 \cdot 10^6$ footcandles

Άσκηση 7 (Blackbody Radiation)

Η θερμοκρασία που χαρακτηρίζει την επιφάνεια του ήλιου είναι η μέση θερμοκρασία του. Το μέγιστο της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος αλλάζει ανάλογα με τη θερμοκρασία (Wien's displacement law).

Η συνολική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας που εκπέμπει ο ήλιος είναι:

$M_s = \sigma \cdot T_s^4$ (Stefan's Law) (θεωρούμε $n=1$ με την υπόθεση/παραδοχή ότι αέρας/κενό περιβάλλει/«περιτριγυρίζει» το μέλαν σώμα.)

Από το Νόμο του Wien έχουμε:

$$\lambda_m \cdot T_s = 2898\,\mu m\,^\circ K \Rightarrow \lambda_m = \frac{2898\,\mu m\,^\circ K}{5778\,^\circ K} \Rightarrow \lambda_m = 0,5016\,\mu m \text{ ή } \lambda_m = 501,6\,nm$$

λ_{max}, emission peak

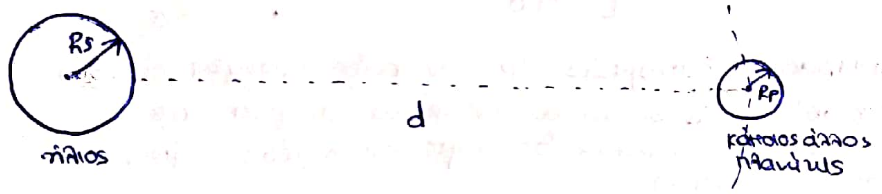
Το μέλαν σώμα (ήλιος) εκπέμπει με μέγιστη ενέργεια ανά μονάδα όγκου ανά μήκος κύματος σε αυτό το λ_{max}, λ_m.

Βαθμοί σε Kelvin = Βαθμοί σε Celsius + 273° ⇒

Βαθμοί σε Kelvin = 5505° + 273° ⇒

$T_s = 5778\,^\circ K$

μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου



p: planet, Rp: ακτίνα πλανήτη

s: sun, Rs: ακτίνα ήλιου

Η συνολική ενέργεια παραμένει πρακτικά σταθερή, M_s^p: ηλεκτρομαγνητική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας που φθάνει από τον ήλιο σε κάποιο πλανήτη. (W/m^2)

$$(4\pi R_s^2)\cdot M_s = (4\pi d^2) M_s^p \Rightarrow M_s^p = M_s (R_s/d)^2, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

$$M_s^p = M_s \left(\frac{R_s}{d}\right)^2 \Rightarrow M_s^p = (\sigma \cdot T_s^4)\left(\frac{R_s}{d}\right)^2 \Rightarrow \quad (1)$$

$$\boxed{M_s^p = 5,67 \cdot 10^{-8} (5778)^4 \left(\frac{695700}{d \cdot 10^6}\right)^2 \ (W/m^2)}$$

Η επιφάνεια της σφαίρας ακτίνας R_s είναι $4\pi \cdot R_s^2$. Η συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος είναι $M_s \cdot (4\pi R_s^2)$. Όταν η ενέργεια που ακτινοβολεί ο ήλιος φτάνει την τροχιά ενός πλανήτη, η σφαιρική επιφάνεια (που όλο και αυξάνει όσο απομακρυνόμαστε από τον ήλιο), στην οποία η ενέργεια διαδίδεται, έχει ακτίνα d που είναι ίση με την απόσταση ήλιου-πλανήτη. Το energy flux σε οποιοδήποτε μέρος αυτής της επιφάνειας, M_s^p είναι μικρότερο απ' ότι ήταν στην επιφάνεια του ήλιου. Όμως η συνολική ενέργεια πάνω σε αυτήν την νοητή επιφάνεια είναι ίση με την ενέργεια που εκπέμπει ο ήλιος. (Διατήρηση της ενέργειας).

Για τη θερμοδυναμική ισορροπία, η ενέργεια (του ηλίου) που απορροφάται από τον πλανήτη ισούται με την ενέργεια που εκπέμπει ο πλανήτης.

Όταν η ακτινοβολία από τον ήλιο φτάσει τον πλανήτη, προκειμένου να βρούμε το ποσό αυτής που προσπίπτει στον πλανήτη, λαμβάνουμε υπόψη τη σκιά της γης. Δηλ. προβάλουμε τη σφαίρα, τον πλανήτη, σε ένα επίπεδο. Η προβολή της σφαίρας είναι ένας δίσκος του οποίου η επιφάνεια είναι πR_p^2. Οπότε, η συνολική ενέργεια που λαμβάνει ο πλανήτης από τον ήλιο, υπολογίζεται από την επιφάνεια της σκιάς της γης. (επιφάνεια πR_p^2, R_p: ακτίνα του πλανήτη)

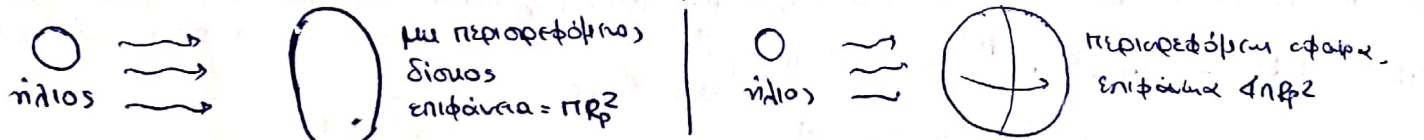
- Συνολική ενέργεια που λαμβάνει ο πλανήτης από τον ήλιο : $\boxed{M_s^P(\pi \cdot R_p^2)}$ (ο πλανήτης λαμβάνει ενέργεια σε επιφάνεια πR_p^2) (προσπίπτουσα ενέργεια από τον ήλιο).
- Συνολική ενέργεια που εκπέμπει ο πλανήτης: (πλανήτης: μέλαν σώμα) $M_p = \sigma \cdot T_p^4$ (W/m^2) $\boxed{M_p \cdot (4\pi \cdot R_p^2)}$ (ο πλανήτης εκπέμπει ενέργεια από επιφάνεια $4\pi R_p^2$ δηλ. όλη η επιφάνεια της σφαίρας εκπέμπει ακτινοβολία)
- Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία = ακτινοβολία που εκπέμπει ο πλανήτης
  λόγω του albedo βλέπουμε τη γη από το διάστημα
- Λαμβάνουμε υπόψη και το albedo (ανακλαστικότητα πλανήτη)

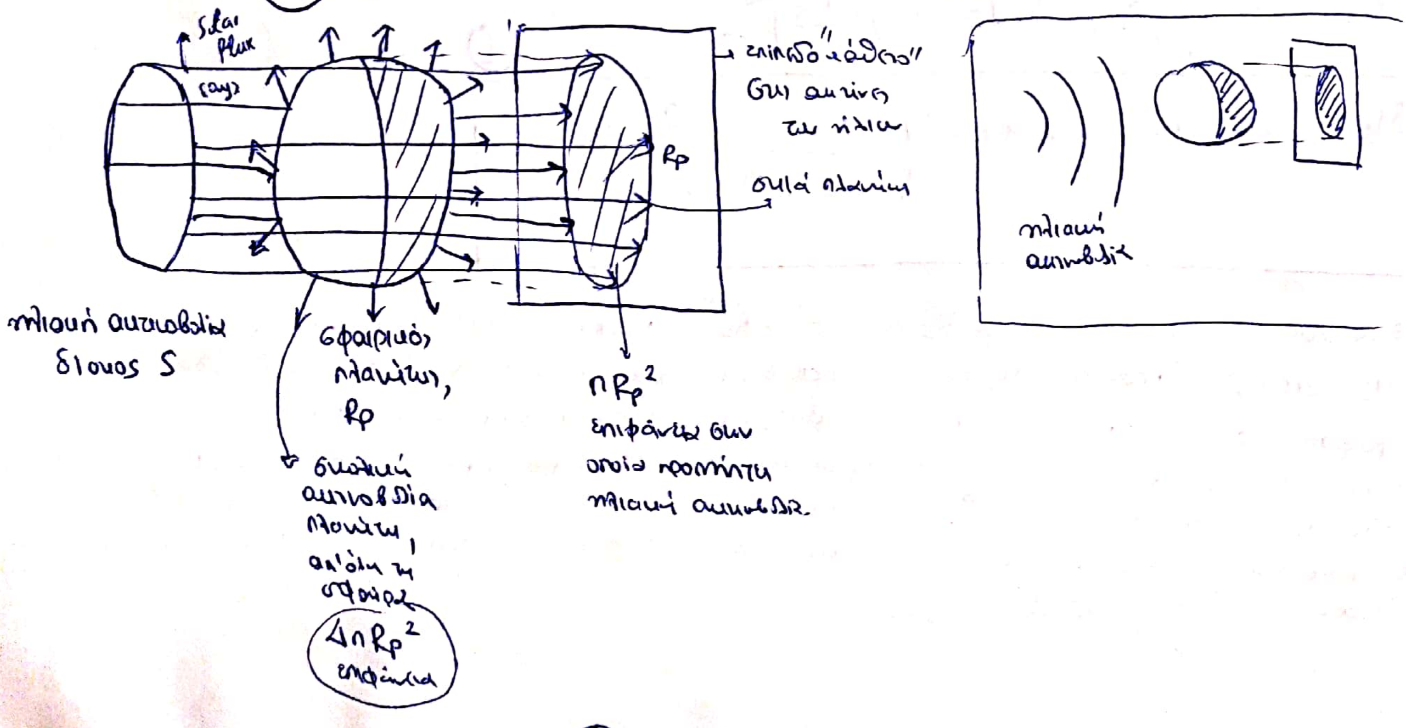
Άρα, λαμβάνοντας υπόψη και το albedo:

$$(1-a)\cancel{\pi}\,\cancel{R_p^2}\,M_s^P = \sigma \cdot T_p^4\, 4\cancel{\pi}\,\cancel{R_p^2} \Rightarrow T_p = \left[\frac{M_s^P(1-a)}{4\sigma}\right]^{1/4} = \sqrt[4]{\frac{M_s^P(1-a)}{4\sigma}}$$

$$\boxed{T_p = \left((1-a)\frac{M_s^P}{4}\cdot\frac{1}{\sigma}\right)^{1/4}} \quad (2)$$

Η θερμοκρασία εκπομπής T_p του κάθε πλανήτη είναι η θερμοκρασία στην οποία θα πρέπει να εκπέμψει ώστε να επιτύχει ενεργειακή ισορροπία. Θεωρούμε ότι η μέση θερμοκρασία κάθε πλανήτη σταθερή)

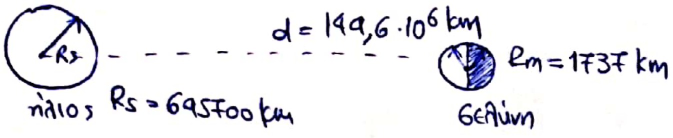




Επομένως, από σχέσεις 1 και 2:

P	ακρίβεια 1 δεκαδικού ψηφίου. M_S^P (W/m^2)	T_P (°K) ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.
Ερμής	9123,9	433,8
Αφροδίτη	2612,7	231,7
Γη	1366,7	254,8
Άρης	588,9	216,1
Δίας	50,5	110,1
Κρόνος	14,9	81,1
Ουρανός	3,7	58,1
Ποσειδών	1,5	46,6
Πλούτων	0,9	39,3

Άσκηση 8 (Blackbody Radiation)



Ψάχνουμε την επιφανειακή θερμοκρασία της φωτεινής πλευράς της σελήνης
Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος προσομοιάζει την ακτινοβολία μέλανος σώματος με μέση θερμοκρασία της επιφάνειάς του 5505°C ή 5778°K.

a)

Η συνολική ενέργεια παραμένει πρακτικά σταθερή.

$$(4\pi \cdot R_S^2)\, M_S = (4\pi \cdot d^2)\, M_S^m$$

M_S^m : ηλεκτρομαγνητική ισχύς ανά μονάδα επιφανείας που φθάνει από τον ήλιο στη σελήνη (W/m^2).

$$\Rightarrow M_S^m = M_S \left(\frac{R_S}{d}\right)^2 \Rightarrow M_S^m = \sigma \cdot T_S^4 \cdot \left(\frac{R_S}{d}\right)^2 \Rightarrow$$

$$M_S^m = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\, W \cdot m^{-2} \cancel{K^{-4}} \cdot 5778^4 \cdot \cancel{K^4} \cdot \left(\frac{695700}{149{,}6 \cdot 10^6}\right)^2 \Rightarrow$$

$$M_S^m = 1366{,}7\ W/m^2$$

Υποθέτουμε ότι όλη η ΗΜ ισχύς του ήλιου που προσπίπτει στη σελήνη ακτινοβολείται σα θερμική ακτινοβολία από τη μισή επιφάνεια της σελήνης, τη φωτεινή επιφάνεια. Λαμβάνουμε υπόψη και το albedo της σελήνης.

Απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία = ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη φωτεινή πλευρά της σελήνης.

$$(1-a)\cancel{\pi}\cancel{R_m^2} M_S^m = \sigma \cdot T_m^4 \cdot 2\cancel{\pi} \cdot \cancel{R_m^2} \Rightarrow T_m = \left((1-a)\frac{M_S^m}{2} \cdot \frac{1}{\sigma}\right)^{1/4} \Rightarrow$$

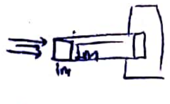
$$T_m = \left((1-0{,}12) \cdot \frac{1366{,}7}{2} \cdot \frac{10^8}{5{,}67}\right)^{1/4} \Rightarrow T_m = 320{,}9\,°K$$

(β)

$$1 \cdot (1-a)\, M_S^m = \sigma \cdot T_m^4 \cdot 1 \Rightarrow$$

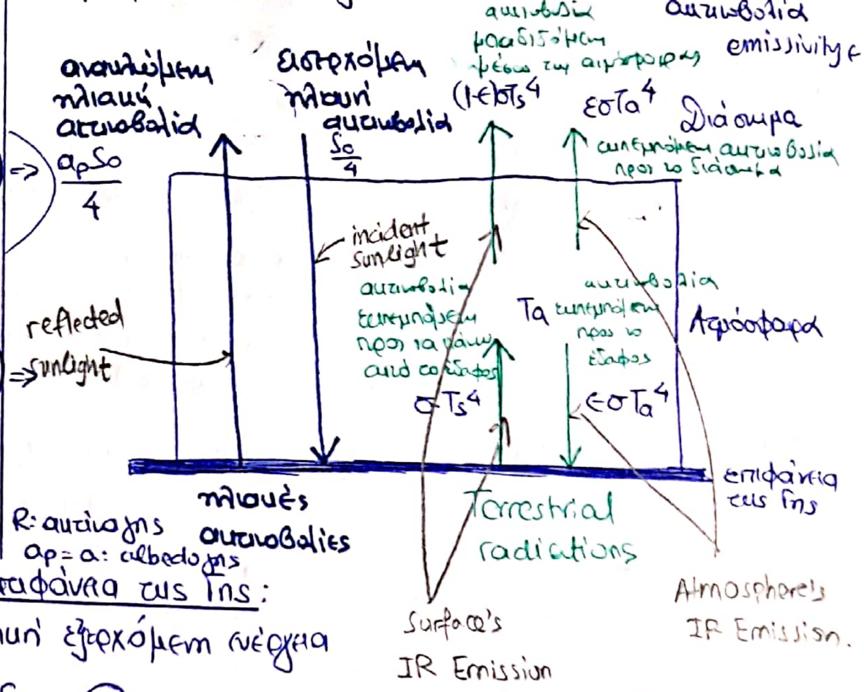
$$T_m = \left(\frac{M_S^m (1-a)}{\sigma}\right)^{1/4} \Rightarrow T_m = \left(\frac{1366{,}7\,(1-0{,}12)}{5{,}67 \cdot 10^{-8}}\right)^{1/4} \Rightarrow T_m = 381{,}6\,°K$$

Θεωρούμε συγκεκριμένο σημείο της φωτεινής πλευράς της σελήνης που δέχεται την ακτινοβολία του ήλιου και την εκπέμπει υπό μορφή θερμικής ακτινοβολίας. Θεωρούμε ένα τετραγωνικό μέτρο της φωτεινής πλευράς της σελήνης που δέχεται σχεδόν κάθετα την ακτινοβολία του ήλιου και μετά την ακτινοβολεί υπό μορφή θερμότητας,
Surface = (1m)·(1 m) = 1m²



Άσκηση 9 (Simple Model for Greenhouse Effect)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το heat balance της Γης. Η ατμόσφαιρα έχει 1 layer πλήρως διαφανές στην εισερχόμενη



① $\cancel{\pi R^2} S_o(1-a_p) = 4\cancel{\pi R^2}(\sigma T_s^4 - \epsilon\sigma T_a^4)$

$$\frac{S_o}{4} - \frac{S_o a_p}{4} = \sigma T_s^4 - \epsilon\sigma T_a^4$$

② $\cancel{\pi R^2} S_o(1-a_p) = 4\cancel{\pi R^2}(\epsilon\sigma T_a^4 + (1-\epsilon)\sigma T_s^4)$

$$\frac{S_o}{4} - \frac{S_o a_p}{4} = \epsilon\sigma T_a^4 + (1-\epsilon)\sigma T_s^4$$

Διατήρηση ισοζυγίου ενέργειας στην επιφάνεια της Γης:
Συνολική εισερχόμενη ενέργεια = συνολική εξερχόμενη ενέργεια

$$\frac{S_o}{4} + \varepsilon\sigma T_a^4 = \sigma T_s^4 + \frac{a_p S_o}{4} \quad ①$$

Διατήρηση ισοζυγίου ενέργειας στη διαχωριστική επιφάνεια ατμόσφαιρας - διαστήματος:

$$\frac{S_o}{4} = a_p\frac{S_o}{4} + (1-\epsilon)\sigma T_s^4 + \epsilon\sigma T_a^4 \quad ②$$

$S_o = 1360\ W/m^2$: η ακτινοβολία του ήλιου που φθάνει στη Γη (solar constant S_o)

ε: συντελεστής εκπομπής και απορροφητικότητας

$a_p = a = $ albedo $= 0{,}30$ για τη Γη.

①-②: $\epsilon\sigma T_a^4 = \sigma T_s^4 - (1-\epsilon)\sigma T_s^4 - \epsilon\sigma T_a^4 \Rightarrow$

$$2\cancel{\epsilon}\cancel{\sigma} T_a^4 = \cancel{\sigma T_s^4} - \cancel{\sigma T_s^4} + \cancel{\epsilon}\cancel{\sigma} T_s^4 \Rightarrow 2T_a^4 = T_s^4 \quad ③$$

ισχύει για $\epsilon = 0$ $T_s = T_e$

Αντικαθιστώ την ③ στην ①: $\frac{S_o}{4} + \varepsilon\sigma T_a^4 = \sigma\cdot 2\cdot T_a^4 + a_p\frac{S_o}{4} \Rightarrow$

$$\frac{S_o}{4}(1-a_p) = T_a^4(2-\epsilon)\sigma \Rightarrow \boxed{T_a^4 = \frac{S_o}{4\sigma}\cdot\frac{1-a_p}{2-\epsilon}}$$

T_e^4: θερμοκρασία γης που είχαμε βρει στην Άσκηση 8

και από ③: $T_s^4 = 2\cdot\frac{S_o}{4\sigma}\cdot\frac{1-a_p}{2-\epsilon} \Rightarrow$

a)

$$\boxed{T_s^4 = \frac{S_o}{2\sigma}\cdot\frac{1-a_p}{2-\epsilon}}$$

άρα,

$$T_a = \sqrt[4]{\frac{1360\,\cancel{Wm^{-2}}\cdot(1-0{,}3)}{4\cdot 5{,}67\cdot 10^{-8}\,\cancel{Wm^{-2}}K^{-4}\cdot(2-\epsilon)}} \Rightarrow T_a = \sqrt[4]{\frac{4197530864}{2-\epsilon}}\,(°K)$$

και $T_s = \sqrt[4]{\frac{8395061728}{2-\epsilon}}\,(°K)$ ⑦

Σημείωση

Σχεδόν όλη η ενέργεια που εισέρχεται στο κλιματικό σύστημα προέρχεται από τον ήλιο υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Στην άσκηση υποθέτουμε ότι η ΗΜ ροή φτάνει κάθετα από τον ήλιο στην επιφάνεια της ατμόσφαιρας, και μετέπειτα στην επιφάνεια της γης, και είναι ίση με 1360 W/m^2.
Solar constant = S_0 = 1360° W/m^2 = Total Solar Irradiance (TSI). Κάτι λιγότερο από το μισό αυτής της ενέργειας είναι στη μορφή ακτινοβολίας στο ορατό μέρος του ΗΜ φάσματος, το υπόλοιπο μέρος είναι κυρίως κοντά στο υπέρυθρο (ελάχιστο στο υπεριώδες).

Η ατμόσφαιρα είναι 1 μόνο ομογενές layer, θερμοκρασίας T_a, πλήρως διαφανές στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και τελείως αδιαφανές στην υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης, γι' αυτό και η συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία προς το διάστημα προέρχεται από την ατμόσφαιρα.

Επιπλέον η ατμόσφαιρα δεν είναι τέλειο μέλαν σώμα, λαμβάνουμε υπόψη το συντελεστή emissivity ε που ορίζεται ως το κλάσμα της ενέργειας που ακτινοβολείται από κάποιο αντικείμενο προς την ενέργεια που ακτινοβολείται από το μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία.

ε: ποσοστό ακτινοβολίας που απορροφάται, 1-ε το ποσοστό που διαδίδεται αλλά δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα.

β) $T_s = 273° + 15° = 288°K$

$$288 = 2\cdot\sqrt[4]{\frac{4197530864}{2-\epsilon}} \Rightarrow \underline{\epsilon = 0{,}78}$$

συντελεστής εκπομπής και απορροφητικότητας της ατμόσφαιρας

Άσκηση 10 (Photometric Quantities)

a) $\Phi_{v,total} = 1800\ lm$: ονομαστική φωτεινή ισχύς (rated output)

Η οθόνη παράγει ίση φωτεινή ισχύ (luminous power) σε καθένα από τα 3 βασικά χρώματα.

άρα $\Phi_{v,\text{κόκκινο}} = \Phi_{v,\text{πράσινο}} = \Phi_{v,\text{μπλε}} = \dfrac{1800}{3} = 600\ lm$

Υπολογισμός ακτινοβόλου ισχύς (radiant power) για κάθε χρώμα:

Φ_e: radiant power (σε Watt).

$$\Phi_v = 683 \left(\frac{lm}{W}\right) \cdot V(\lambda_0) \cdot \Phi_e(\lambda_0)$$

το κάθε χρώμα έχει διαφορετική απόδοση στο μάτι $V(\lambda_0)$ γι' αυτό και παίρνω διαφορετικές μεταξύ τους τιμές.

κόκκινο: $V(670nm) = 0{,}032$

$$\Phi_e(670) = \frac{600\ lm}{683\ \frac{lm}{W} \cdot 0{,}032} = 27{,}4524\ W \simeq 27{,}45 W$$

πράσινο: $V(550nm) = 0{,}994950100$

$$\Phi_e(550) = \frac{600\ lm}{683\ \frac{lm}{W} \cdot 0{,}994950100} = 0{,}8829\ W \simeq 0{,}88 W$$

μπλε: $V(440nm) = 0{,}023$

$$\Phi_e(440) = \frac{600\ lm}{683\ \frac{lm}{W}\ 0{,}023} = 38{,}1947\ W \simeq 38{,}19\ W$$

$$\Phi_{e,total} = (27{,}4524 + 0{,}8829 + 38{,}1947)\,W \Rightarrow$$

$$\Phi_{e,total} = 66{,}53\ W$$

(β) Lambertian source

$I = I_0 \cos\theta$

L: Luminance = σταθερό

(σφαιρικές συντεταγμένες) $d\Omega = \sin\theta\, d\theta \cdot d\phi\ (sr)$ και $dA_\perp = dA_{επιφ} \cdot \cos\theta\ (m^2)$

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega\, dA_\perp}$$

παραπέτασμα

ολοκληρώνω στο μισό χώρο, διότι το παραπέτασμα είναι αδιαφανές.

$$L_v = \frac{\Phi_{v,total}}{\int_{\theta=0}^{\pi/2}\int_{\phi=0}^{2\pi} 1{,}8 \cdot 1{,}2 \cdot \cos\theta \sin\theta\, d\theta \cdot d\phi} \Rightarrow L_v = \frac{1800\,lm}{2{,}16\,m^2 \int_{\theta=0}^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta\, d\theta \cdot \int_{\varphi=0}^{2\pi} d\phi\ sr} \Rightarrow$$

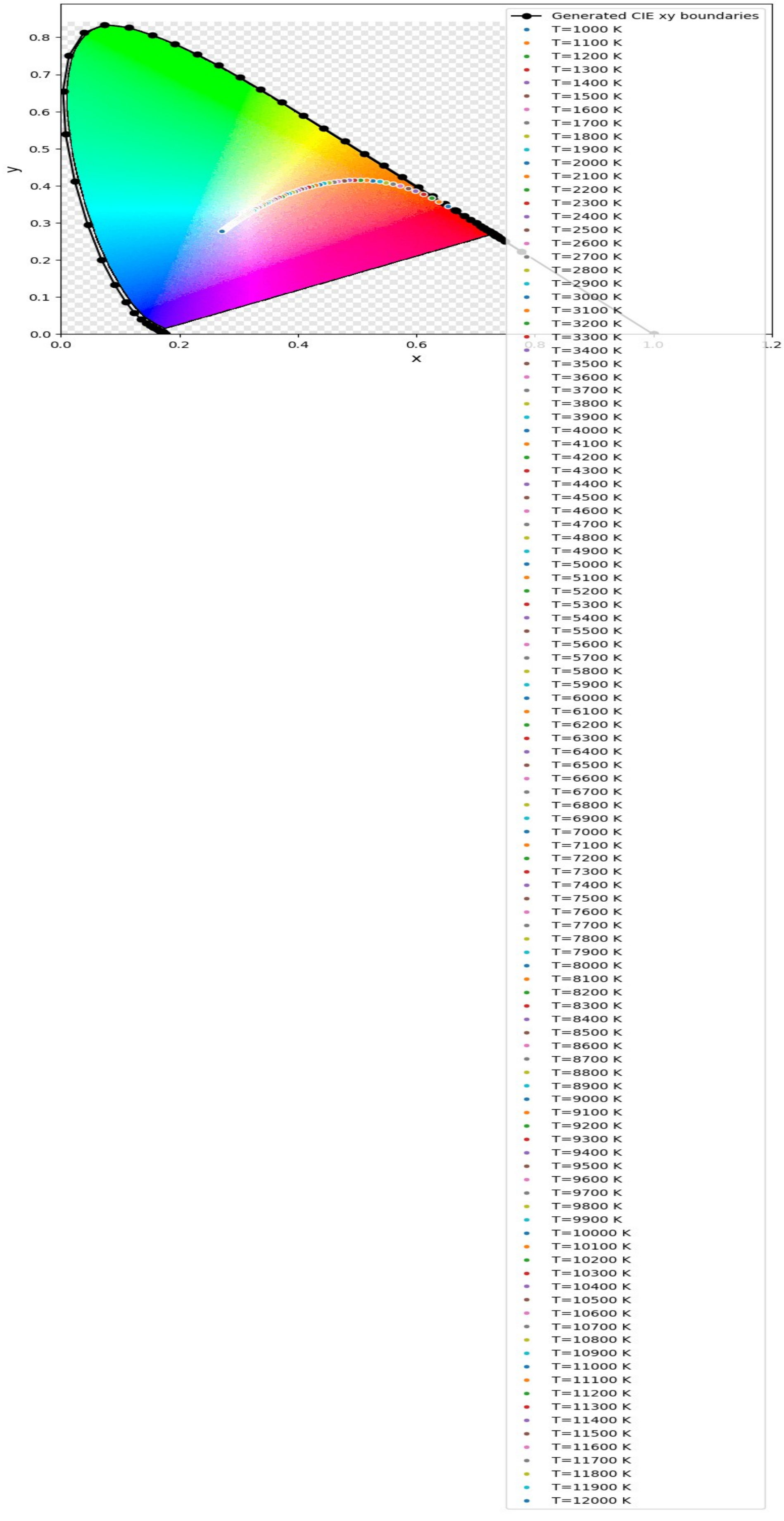
$$L_v = \frac{1800\ lm}{2{,}16 m^2 \cdot 2\pi \int_{\theta=0}^{\pi/2}\left(-\frac{\cos^2}{2}\right) d\theta\, sr} \Rightarrow L_v = \frac{1800\ lm}{2{,}16\ m^2\, 2\pi \cdot \frac{1}{2}\ sr} \Rightarrow L = 265{,}3928\ \frac{lm}{m^2 sr}$$

$\pi = 3{,}14$

$$\Rightarrow L_v \simeq 265{,}4\ \frac{cd}{m^2}$$

Άσκηση 11

α)



Generated CIE xy boundaries
T=1000 K
T=1100 K
T=1200 K
T=1300 K
T=1400 K
T=1500 K
T=1600 K
T=1700 K
T=1800 K
T=1900 K
T=2000 K
T=2100 K
T=2200 K
T=2300 K
T=2400 K
T=2500 K
T=2600 K
T=2700 K
T=2800 K
T=2900 K
T=3000 K
T=3100 K
T=3200 K
T=3300 K
T=3400 K
T=3500 K
T=3600 K
T=3700 K
T=3800 K
T=3900 K
T=4000 K
T=4100 K
T=4200 K
T=4300 K
T=4400 K
T=4500 K
T=4600 K
T=4700 K
T=4800 K
T=4900 K
T=5000 K
T=5100 K
T=5200 K
T=5300 K
T=5400 K
T=5500 K
T=5600 K
T=5700 K
T=5800 K
T=5900 K
T=6000 K
T=6100 K
T=6200 K
T=6300 K
T=6400 K
T=6500 K
T=6600 K
T=6700 K
T=6800 K
T=6900 K
T=7000 K
T=7100 K
T=7200 K
T=7300 K
T=7400 K
T=7500 K
T=7600 K
T=7700 K
T=7800 K
T=7900 K
T=8000 K
T=8100 K
T=8200 K
T=8300 K
T=8400 K
T=8500 K
T=8600 K
T=8700 K
T=8800 K
T=8900 K
T=9000 K
T=9100 K
T=9200 K
T=9300 K
T=9400 K
T=9500 K
T=9600 K
T=9700 K
T=9800 K
T=9900 K
T=10000 K
T=10100 K
T=10200 K
T=10300 K
T=10400 K
T=10500 K
T=10600 K
T=10700 K
T=10800 K
T=10900 K
T=11000 K
T=11100 K
T=11200 K
T=11300 K
T=11400 K
T=11500 K
T=11600 K
T=11700 K
T=11800 K
T=11900 K
T=12000 K
y
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
x
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2

(β)

<u>Τιμές x για T = 1000 – 10000 βαθμοί Kelvin με βήμα 1000 βαθμοί Kelvin:</u>

<u>(1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000)</u>

```
[0.6525636463773752, 0.5266033015484344, 0.4368971391460087, 0.380428283105988,
0.3451027349255433, 0.322092326439881, 0.30638741029606814, 0.2952038505969483,
0.2869445251322218, 0.2806539278868802]
```

<u>Τιμές y για T = 1000 – 10000 βαθμοί Kelvin με βήμα 1000 βαθμοί Kelvin:</u>

```
[0.3446453519806677, 0.4133268115784188, 0.4040727277006569, 0.3767471947400005,
0.35161736706389984, 0.3317721354660433, 0.3165396007855535, 0.30479918966950154,
0.29562316119357784, 0.28833235257392764]
```

<u>Τιμές z για T = 1000 – 10000 βαθμοί Kelvin με βήμα 1000 βαθμοί Kelvin:</u>

```
[0.0027910016419571138, 0.060069886873146 85, 0.15903013315333442,
0.2428245221540115, 0.3032798980105568, 0.34613553809407577, 0.3770729889183783,
0.39999695973355015, 0.41743231367420036, 0.4310137195391921]
```

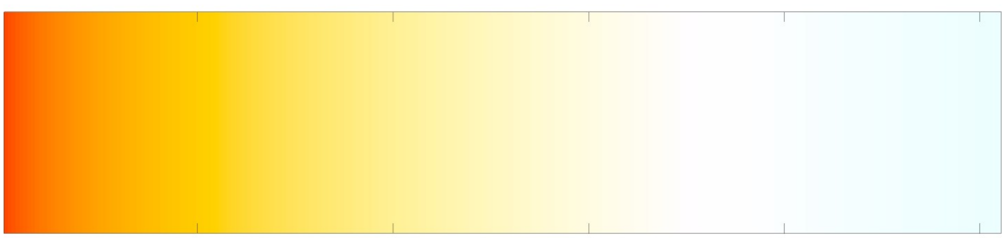
Τα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν από τον πίνακα που επισυνάπτεπαι και βρίσκεται σε ιστοσελίδα στο διαδίκτυο:

Temperature	x	y	z	R	G	B	
1000 K	0.6528	0.3444	0.0028	1.000	0.007	0.000	(Approximation)
1500 K	0.5857	0.3931	0.0212	1.000	0.126	0.000	(Approximation)
2000 K	0.5267	0.4133	0.0600	1.000	0.234	0.010	
2500 K	0.4770	0.4137	0.1093	1.000	0.349	0.067	
3000 K	0.4369	0.4041	0.1590	1.000	0.454	0.151	
3500 K	0.4053	0.3907	0.2040	1.000	0.549	0.254	
4000 K	0.3805	0.3768	0.2428	1.000	0.635	0.370	
4500 K	0.3608	0.3636	0.2756	1.000	0.710	0.493	
5000 K	0.3451	0.3516	0.3032	1.000	0.778	0.620	
5500 K	0.3325	0.3411	0.3265	1.000	0.837	0.746	
6000 K	0.3221	0.3318	0.3461	1.000	0.890	0.869	
6500 K	0.3135	0.3237	0.3628	1.000	0.937	0.988	
7000 K	0.3064	0.3166	0.3770	0.907	0.888	1.000	
7500 K	0.3004	0.3103	0.3893	0.827	0.839	1.000	
8000 K	0.2952	0.3048	0.4000	0.762	0.800	1.000	
8500 K	0.2908	0.3000	0.4093	0.711	0.766	1.000	
9000 K	0.2869	0.2956	0.4174	0.668	0.738	1.000	
9500 K	0.2836	0.2918	0.4246	0.632	0.714	1.000	
10000 K	0.2807	0.2884	0.4310	0.602	0.693	1.000	

- *https://www.fourmilab.ch/documents/specrend/specrend.c*

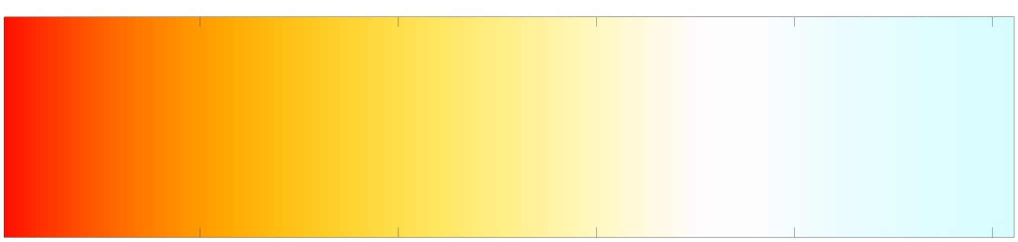
(γ)

1)Με γραμμική διόρθωση:



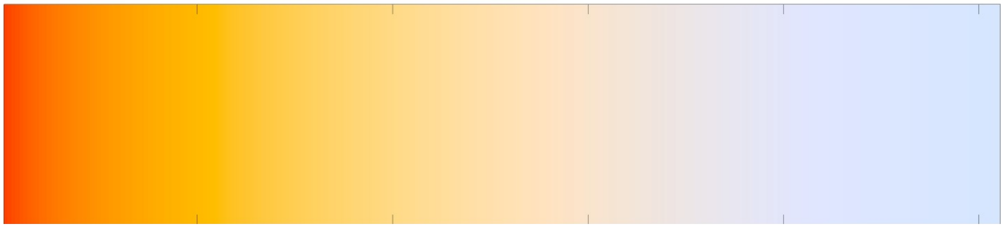
2)Χωρίς γραμμική διόρθωση:

(%CSRGB = @(c) (12.92*c).*(c<=0.0031308) + (1.055*c.^(1/2.4)-0.055) .* (1-(c<=0.0031308));
rgb = rgb * sRGB_M'; % CIE XYZ to sRGB RGB (linear)
%rgb = CSRGB(rgb))



ΘΑ ΕΝΙΣΧΥΣΟΥΜΕ ΤΗ ΦΩΤΕΙΝΟΤΗΤΑ ΩΣΤΕ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΠΙΟ ΕΥΚΡΙΝΗ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

1)



2)

Planck’s Blackbody Equation formula:

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}.$$